

Zukunft Bau

KURZBERICHT

Titel

Langfassung Titel: Untersuchungen zum Tragverhalten von kleinteiligen Elastomerlagern im Glasbau

Anlass/ Ausgangslage

Die Steifigkeit der Kunststoffzwischen­schicht von geklemmten Glasscheiben ist maßgeblich für die Spannungen und Verformungen der Glasscheibe verantwortlich. In der DIN 18008-3 werden für die Zwischen­schichten bei Klemmhalterungen nur grobe Richtwerte für die Berechnung der Spannungen in der Glasscheibe angegeben. Eine genaue Kenntnis der Steifigkeit der Kunststoffzwischen­schichten würde jedoch eine genauere, wirtschaftlichere und ressourcenschonendere Bemessung der Glasscheiben erlauben.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsvorhabens war die Ermittlung realitätsnaher Steifigkeitswerte der Kunststoffzwischen­schichten, um eine wirtschaftlichere und ressourcenschonendere Bemessung von geklemmten Glasscheiben zu ermöglichen. Somit könnten Glasscheiben dünner ausgeführt werden, wodurch der Verbrauch von Ressourcen reduziert und graue Energie eingespart wird.

Es wurden neben den gängigen Zwischen­schichtmaterialien Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk und Silikon auch Thermoplastisches Elastomer und Thermoplastisches Polyurethan untersucht. Für jedes Material wurden drei Härtegrade zwischen den Grenzen ShA 40 und 80 experimentell analysiert.

Zur Materialkennwertermittlung wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Versuchsprogramm bestand aus monotonen, uniaxialen Zug- und Druckversuchen, zyklischen uniaxialen Zugversuchen und einer Dynamisch-Mechanischen Thermoanalyse (DMTA). Um den baupraktischen Bereich besser abschätzen zu können, wurde eine Vorversuchsreihe durchgeführt. Dies half das Versuchsprogramm einzuschränken und sinnvolle Parameterkombinationen (Härte, Dicke etc.) zu identifizieren. Unter realen Last-Verformungsbedingungen konnte eine erste Abschätzung des Materialverhaltens erreicht werden.

Die monotonen, uniaxialen Zug- und Druckversuche dienten zur Ableitung hyperelastischer Materialmodelle. Sie eignen sich aufgrund ihres einachsigen Spannungszustands für die Identifikation der Materialparameter. Zur Festlegung der Versuchsgeschwindigkeit wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der für dehnratenabhängige Materialien sicherstellt, dass der Energieeintrag bei unterschiedlichen Versuchen gleich ist. Für die Druckversuche wurden die Prüfgeschwindigkeiten nach diesem neuen Ansatz bestimmt und über Vergleichsstudien mit der Finiten-Elemente-Methode verifiziert. Eine Vergleichbarkeit der Zug- und Druckversuche war somit stets gewährleistet. Zusätzlich wurden zyklische, uniaxiale Zugversuche durchgeführt, um Schädigungseffekte und Steifigkeitsminderungen zu erfassen. Darüber hinaus wurden DMTA durchgeführt, um auf die Temperaturabhängigkeit der Materialien bei statischen und dynamischen Lasten Rückschlüsse ziehen zu können.

Bei den uniaxialen Druckversuchen wurden unterschiedliche Probengeometrien (Kreis, Quadrat, Rechteck) und Probendicken verwendet. Diese Probengeometrien, ausgelegt auf eine möglichst breite Streuung des Formfaktors nach BATTERMANN und KÖHLER, zeigten, dass ein Einfluss des Formfaktors bei den im Glasbau üblichen Abmessungen so nicht bestätigt werden konnte.

Neben den experimentellen Untersuchungen wurde ein Ablauf entwickelt, der die Erstellung und Überprüfung von numerischen Modellen beinhaltet. Dabei wurden zunächst die technischen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen aus den uniaxialen Zug- und Druckversuchen aufbereitet und daraus hyperelastische Materialmodelle abgeleitet. Es wurden alle gängigen hyperelastischen Materialmodelle erstellt und auf ihre Anpassungsgüte hin untersucht. Neben der Verwendung von kommerziellen FEM-Programmen wurde eine EXCEL-Datei geschrieben, die die Erstellung hyperelastischer Materialmodelle ermöglicht und überprüfbar macht. Die Übereinstimmung der Materialmodelle und der Experimente wurde über Determinationskoeffizienten quantitativ ermittelt. Die erstellten Materialmodelle zeigten sehr gute Übereinstimmung der technischen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen, sowohl für die Zug- als auch die Druckversuche.

Um die Ergebnisse der Anpassung zu verifizieren, wurden zahlreiche Zug- und Druckversuche mit verschiedenen hyperelastischen Materialmodellen in FEM-Simulationen nachgerechnet. Dabei wurden die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen aus der Simulation

mit der wahren Spannungs-Dehnungs-Beziehung aus den Experimenten verglichen. Die gebildeten Determinationskoeffizienten bestätigten die genaue Anpassung der hyperelastischen Materialmodelle.

Fazit

Die gewonnenen Ergebnisse wurden in einem ingenieurmäßig vereinfachten Bemessungsansatz gebündelt. Hierbei wurden die komplexen, hyperelastischen Materialmodelle soweit vereinfacht, dass sie in gängige Statiksoftware (RFEM, SOFiSTiK, SJ Mepla, etc.) implementiert werden können. Dabei ist es über ein multilineares, isotropes Elasto-Plasto Modell (MISO-Modell) möglich, das nichtlineare Materialverhalten der Kunststoffe abzubilden.

Das entwickelte MISO-Modell wurde in mehreren Vergleichsrechnungen verifiziert und hatte gegenüber den komplexen hyperelastischen Materialmodellen nur geringfügige Abweichungen. Somit steht ein einfaches und trotzdem genaues Modell zur Bemessung von geklemmten Glasscheiben zur Verfügung.

Eckdaten

Kurztitel: Elastomerlager

Forscher / Projektleitung: Universität Stuttgart (Antragsteller), Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK), Pfaffenwaldring 14, 70569 Stuttgart
Dr.-Ing. Walter Haase (Projektleiter)
Dipl.-Ing. Christian Kelleter

TU Darmstadt (Mitforschende Stelle), Institut für Statik und Konstruktion (ISM+D), Franziska-Braun-Straße 3, 64287 Darmstadt
Michael Drass M.Eng.

Gesamtkosten: 346.455,30 €

Anteil Bundeszuschuss: 243.959,00 €

Projektlaufzeit: 24 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

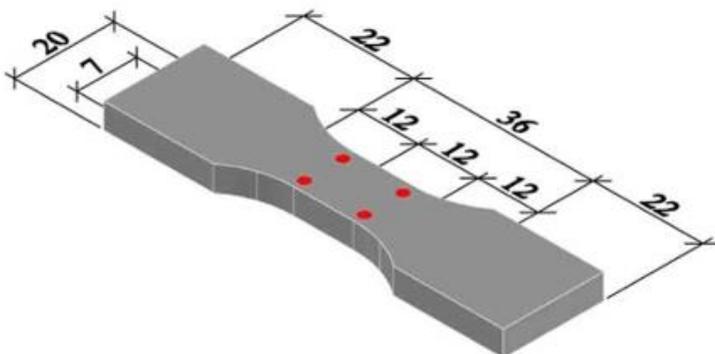


Bild 1: uniaxiale Zugprobe.png

Probekörpergeometrie der uniaxialen Zugversuche mit aufgebrachtten optischen Messmarken

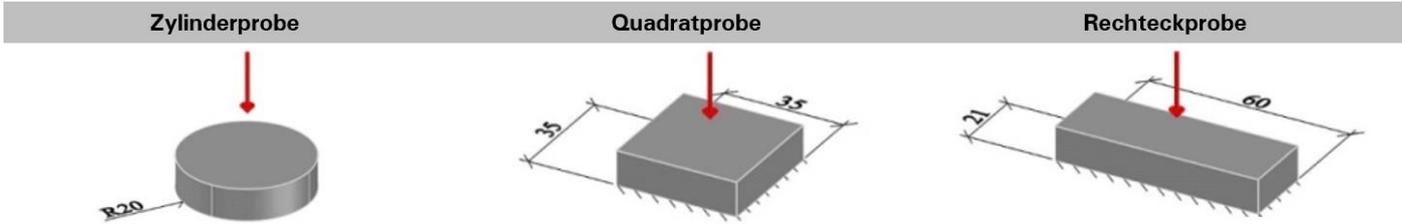


Bild 2: uniaxiale Druckproben.png
 Probekörpergeometrien der uniaxialen Druckversuche

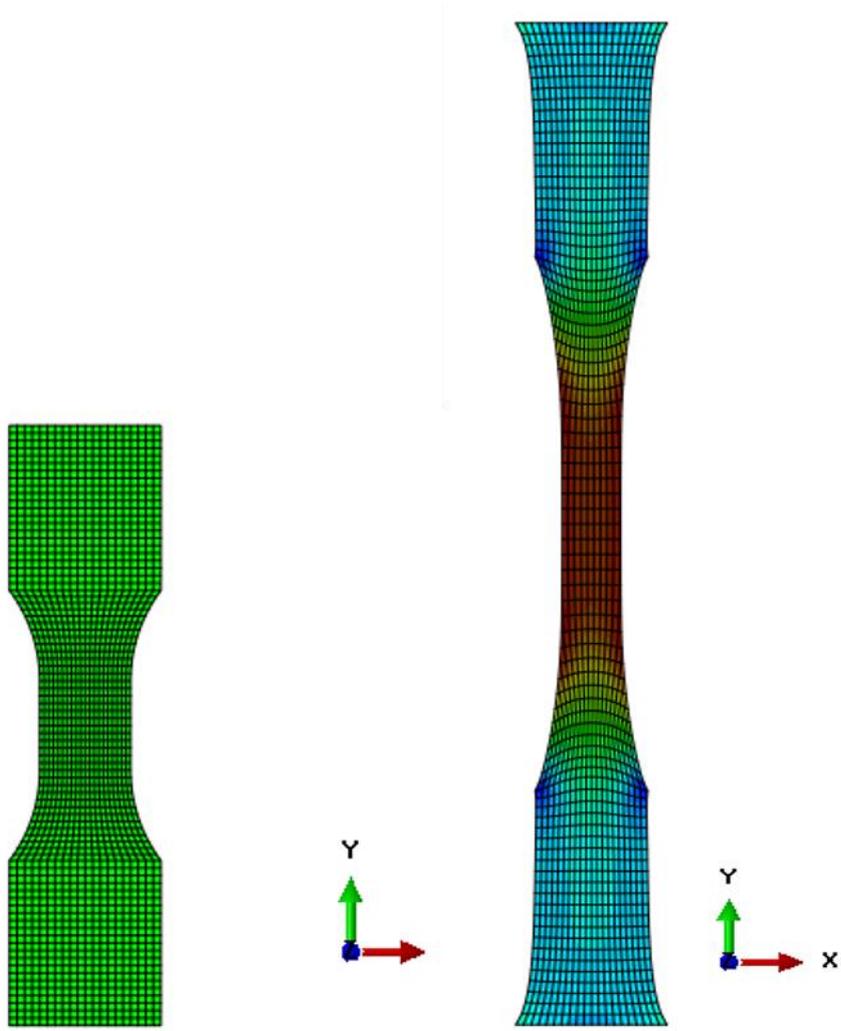


Bild 3: FEM Zugprobe.png
 FEM-Modell zum uniaxialen Zugversuch unbelastet (links) und belastet (rechts)

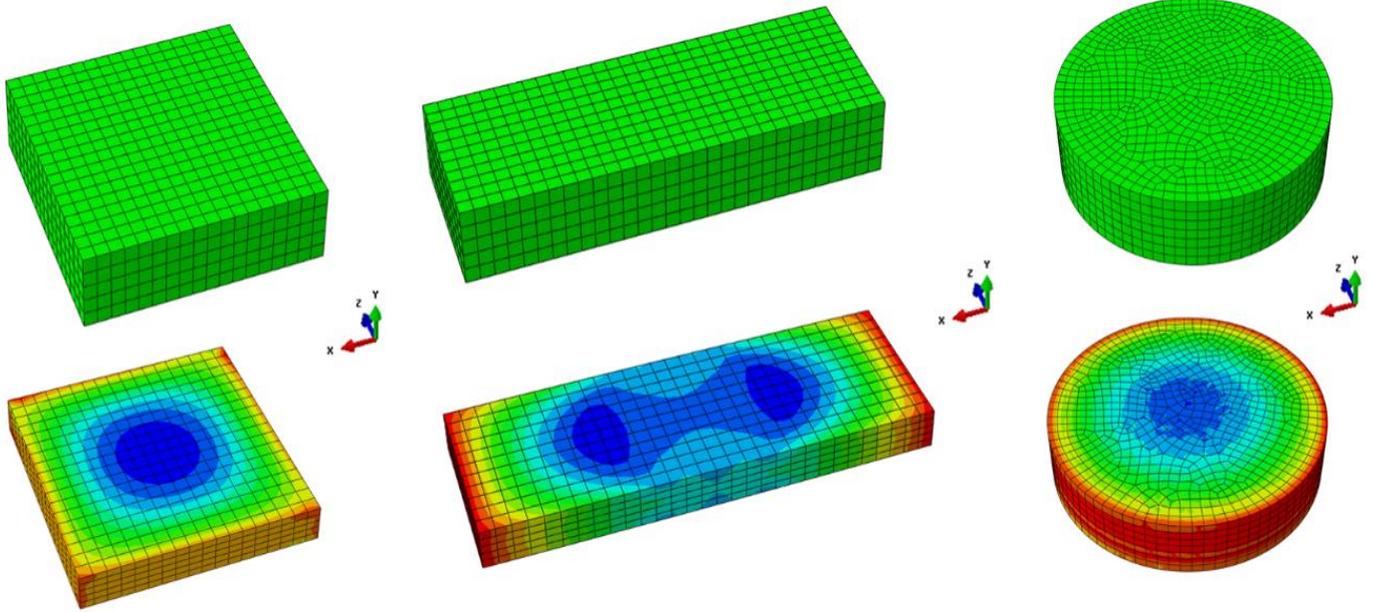


Bild 4: FEM Druckprobe.png

FEM-Modelle zum uniaxialen Druckversuch unbelastet (oben) und belastet (rechts)

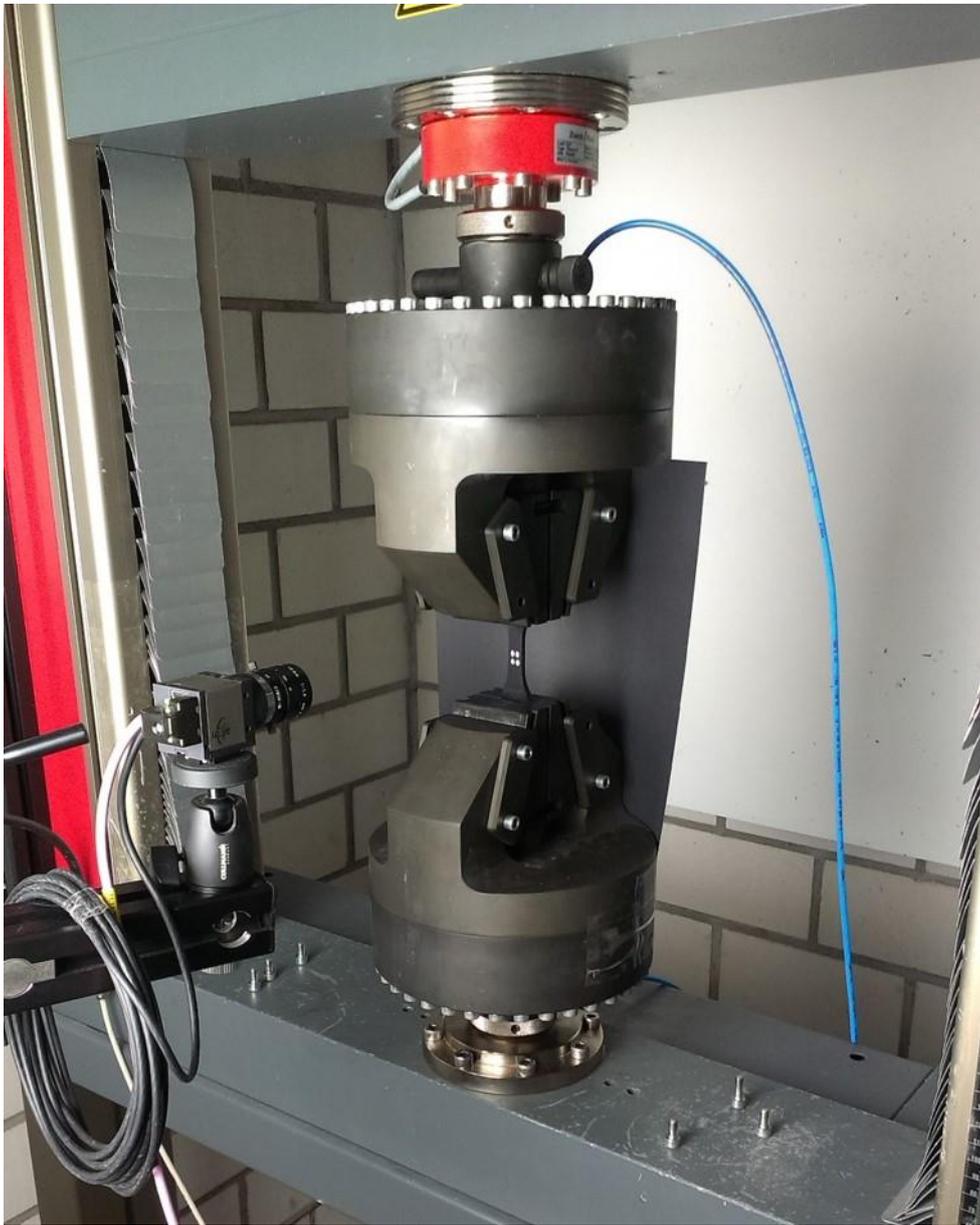


Bild 5: Versuch Zugprobe.jpg
Versuchsaufbau des uniaxialen Zugversuches mit optischem Messsystem