

Beitrag zum Tragverhalten hybrider Träger aus Glas und Kunststoff

Contribution to studies on the structural behavior
of hybrid beams made of glass and plastics

Von der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Kristina Härth-Großgebauer

geboren am 07.01.1980 in Würzburg.

Erster Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller Technische Universität Dresden
Zweiter Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider Technische Universität Darmstadt
Tag der Verteidigung	21.02.2013

Beitrag zum Tragverhalten hybrider Träger aus Glas und Kunststoff

Kurzfassung

Glasträger sind in einer auf Transparenz ausgerichteten Bauweise zunehmend gefragt. Üblicherweise bestehen diese lastabtragenden Elemente aus mehreren Glasscheiben, verbunden mit Polyvinylbutyral-Folie (PVB-Folie), und gleichen in ihrem Aufbau somit Verbund-Sicherheitsglas (VSG). VSG-Träger besitzen bei vollständigem Glasbruch keine Resttragfähigkeit und werden daher in Dicke und Aufbau mit dem Ziel ausgelegt, vollständigen Glasbruch zu vermeiden.

Hybride Glasträger kombinieren in der Regel Glas mit einem duktilen Material und besitzen im Falle des vollständigen Glasbruchs ein duktileres Versagensverhalten. Sie stellen damit eine vielversprechende Option zur Erfüllung des geforderten Sicherheitsniveaus bei Glasträgern dar. Die in der vorliegenden Arbeit betrachteten hybriden Träger entstehen durch die flächige Verklebung von Glas- und transparenten Kunststoffscheiben mit einem ebenfalls transparenten Klebstoff. Bei vollständigem Glasbruch stellt sich ein Tragverhalten ein, bei dem infolge des Klebstoffverbunds der Kunststoff die Zugspannungen und das gebrochene Glas weiterhin Druckspannungen aufnimmt.

Die erste Auswahl von Klebstoff und Kunststoff basiert auf Voruntersuchungen an kleinformatigen Prüfkörpern. Die erforderliche Kantenqualität von Floatglas wurde anhand von Vierpunkt-Biegeuntersuchungen bestimmt. Zur weiteren Beurteilung der Eignung des Klebstoffs dienen Klimawechseltests an kleinformatigen Hybridbauteilen, da zwischen Glas und Kunststoff deutliche Unterschiede in der Temperaturexpansion vorliegen. Aufbauend auf den durchgeführten Untersuchungen wurden das Kunststoffmaterial Polycarbonat und ein niedrigviskoser UV- und strahlungshärtender Acrylatklebstoff, der im ausgehärteten Zustand über hohe Nachgiebigkeit verfügt, für die weiteren mechanischen Untersuchungen an Prüfkörpern im Bauteilformat ausgewählt.

Kurzzeitversuche mit kraftgesteuerter Belastungsaufbringung und unter Variation von Polycarbonatdicke, Trägerhöhe und Glasart geben Aufschluss über das Trag- und Resttragfähigkeitsverhalten. Sie stellen die prinzipielle Wirkweise der Hybridträger vor und nach Bruch dar. Vergleichende Versuche an VSG-Trägern demonstrieren die fehlende Resttragfähigkeit dieser Elemente. Belastungsversuche an reinen Polycarbonatscheiben verdeutlichen die Notwendigkeit der Stabilisierung der Hybridträger durch das gebrochene Glas.

Langzeitversuche fanden bei statischer Belastung der intakten und gebrochenen Hybridträger statt. Lasthöhe und Belastungsdauer der gebrochenen Träger orientieren sich an realistischen Einsatzbedingungen. Die Versuche zeigen die Unterschiede bei der Entwicklung des Bruchbilds aufgrund der geringeren Last und ermöglichen die Untersuchung des Resttragfähigkeitsverhaltens unter Dauerlast sowie des Ablaufs und der Hintergründe des Trägerversagens.

Aufbauend auf den durchgeführten Versuchen erfolgt eine Einteilung der unterschiedlichen Trägerzustände in drei Stadien mit Angaben zu einer einfachen analytischen Betrachtung. Die Diskussion der erhaltenen Ergebnisse sowie ein Ausblick auf weiteren Untersuchungsbedarf schließen die Arbeit ab.

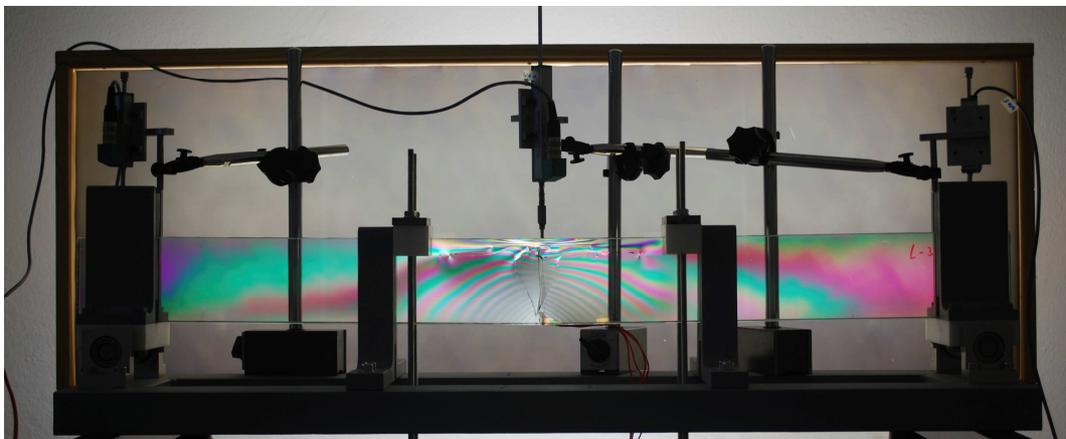


Bild 1: Hybridträger aus Glas und Polycarbonat mit gebrochenen Glasscheiben im Langzeitversuch. Das hybride Tragverhalten wird durch die Verwendung von Polarisationsfiltern visualisiert. Der Hybridträger verfügt aufgrund des Verbunds zwischen Glas und duktilem Kunststoff über Resttragfähigkeit nach vollständigem Glasbruch.

Contribution to studies on the structural behavior of hybrid beams made of glass and plastics

Abstract

In transparency-oriented architecture, glass beams are increasingly in demand. These load-bearing elements usually consist of multiple glass panes, bonded with polyvinyl butyral foil (PVB foil), and are comparable to laminated safety glass. These glass beams do not assure any level of post-breakage performance after complete glass breakage. Therefore glass thickness and assembly of the beams are chosen with the objective of avoiding complete glass breakage at all costs.

Hybrid glass beams typically combine glass with a ductile material and offer a ductile failure mode in case of complete glass breakage. For this reason they represent a promising solution to meet the required safety levels for glass beams. This study deals with hybrid glass beams which are made by bonding panes of glass and transparent plastics using a transparent adhesive. In case of complete glass breakage the plastic material, which is connected to the glass by the adhesive bond, bears the tensile stress whereas the glass is still able to carry the compressive stress.

The pre-selection of plastic and adhesive is based on preliminary tests on small specimens. The required quality of the edges of annealed glass was determined by specific four-point bending tests. Because of the considerable difference in thermal expansion between glass and plastics, alternating climate tests were executed on small hybrid components to further evaluate the suitability of the adhesive. Based on the research conducted, the plastic material polycarbonate and a UV- and light-curing acrylate adhesive, which shows a very flexible behavior when hardened, were chosen for further mechanical tests on larger specimens.

Short-term tests with constantly increasing load and varying polycarbonate thickness, beam height and glass type provide information on the load-bearing capacity before and the residual load-bearing capacity after glass breakage of the hybrid beams. Comparative tests on laminated glass beams demonstrate the missing residual load-bearing capacity of these components. Loading tests on polycarbonate panes illustrate the need for stabilization of the hybrid beams by the broken glass.

Long-term tests were executed by static loading of the intact and broken hybrid beams. The load level and the load duration of the broken beams are based on realistic working conditions. The tests show the difference in the development of the fracture pattern resulting of the lower load and allow the examination of the residual load-bearing capacity at continuous load as well as the process and the reasons behind the beam failure.

Based on the tests conducted, three different states of the hybrid beams are categorized and detailed for their easy analytical approach. A discussion of the obtained results and an outlook on further needed research complete the study.

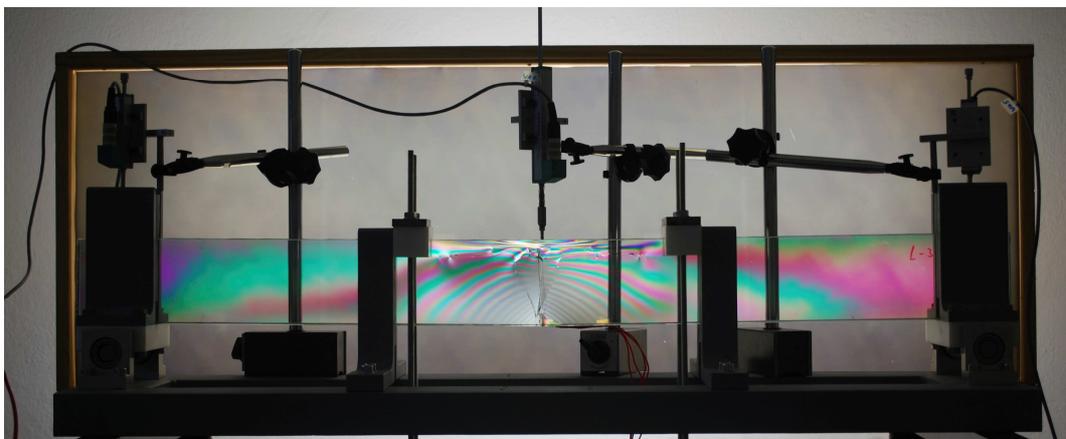


Figure 2: Hybrid beam made of glass and polycarbonate with broken glass panes under long-term loading. By the use of polarisation filters the hybrid load-bearing behaviour is visualized. Because of the bond between the glass and the ductile polycarbonate the hybrid beam offers a residual load-bearing capacity after complete glass breakage.