

Entwicklung von Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten für das Bauwesen

Development of Thin Glass-Plastic-Composite Panels
for the Building Industry

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

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Julian Hänig

geboren am 22. 01. 1993 in Würzburg

Erster Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller Technische Universität Dresden
Zweiter Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Markus Feldmann Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Dritter Gutachter	Prof. Dr.-Ing. Steffen Feirabend Hochschule für Technik Stuttgart
Tag der Verteidigung	26. 06. 2023

Kurzfassung

Moderne architektonische Fassadengestaltungen und Ganzglaskonstruktionen fordern immer häufiger entmaterialisiert wirkende Ansichten mit maximaler Transparenz für eine edle Erscheinung und einen hohen Grad an natürlicher Belichtung. Damit gehen große Spannweiten einher. Diese führen zu stark dimensionierten Glasaufbauten und bringen hohes Eigengewicht in die Konstruktion ein. Die Verfügbarkeit von Dünnglas in bautechnisch relevanten Abmessungen ermöglicht neue gewichtssparende Konstruktionsprinzipien und innovative Materialkombinationen.

Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten bestehen aus einem leichten transparenten Kunststoffkern mit außenliegenden kratzbeständigen und dauerhaften Deckschichten aus Dünnglas. Sie bieten eine hohe Steifigkeit, Dauerhaftigkeit und volle Transparenz bei geringem Eigengewicht. Die Aushärtung der Ausgangskomponenten des Kunststoffkerns erfolgt direkt zwischen den Deckschichten und erzeugt dadurch einen vollflächigen Verbund zwischen Glas und Kunststoff ohne zusätzliche Zwischenschichten.

Im Bauwesen sind Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten bislang unbekannt. Es liegen weder ausreichend Kenntnisse zu den Material- und Verbundeigenschaften vor noch sind die Eigenschaften als Bauprodukt entsprechend den hohen strukturellen und sicherheitstechnischen Anforderungen sowie den Ansprüchen an die Dauerhaftigkeit und an die optischen Eigenschaften nachgewiesen. Darüber hinaus fehlen konkrete Verbindungskonzepte zur Integration in das Bauwesen, um das Leichtbaupotenzial für entmaterialisiert wirkende transparente Konstruktionen auszunutzen.

Im Rahmen dieser Arbeit werden erstmals Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten als innovatives Leichtbauprodukt systematisch untersucht und in das Bauwesen eingeordnet. Experimentelle und numerische Untersuchungen charakterisieren die Material- und Verbundeigenschaften mit zwei, am Markt verfügbaren, Kunststoffkernmaterialien – Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyurethan (PU), die jeweils für ein unterschiedliches Eigenschaftsspektrum stehen. Darüber hinaus werden zur Umsetzung maximaler Transparenz, eine

materialgerechte Verbindungstechnik entwickelt und deren mechanische Tragfähigkeiten charakterisiert.

Zunächst werden in experimentellen Kleinteilprüfungen die thermophysikalischen und mechanischen Kennwerte der reinen Kunststoffkernmaterialien für die Beschreibung des Tragverhaltens im Verbund ermittelt. Anhand der Ergebnisse werden das PMMA als steifes, dauerhaftes, aber sprödes Material und das PU als vergleichsweise flexibles, zähes Material charakterisiert. Die experimentellen Untersuchungen zum Verbundverhalten fokussieren sich auf die Anforderungen für den Einsatz im Bauwesen. Eine numerische Strukturanalyse erweitert die Ergebnisse zum Tragverhalten und klärt offengebliebene Fragestellungen zum thermischen Ausdehnungsverhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten ein effizientes Tragverhalten und eine signifikante Gewichtsreduktion gegenüber herkömmlichem monolithischem Glas und Verbundglas erreicht wird. Anhand der spezifizierten Verbundeigenschaften werden resultierende Anwendungspotenziale entsprechend der Materialkombination abgeleitet.

Die weiterführende Entwicklung einer tragfähig in den Kunststoffkern integrierten Verbindungstechnik bietet innovative Anbindungsmöglichkeiten für Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten im Strukturleichtbau. Die Funktionsweise wurde anhand eines Konstruktionsbeispiels auf der „glasstec 2022“ demonstriert.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine strukturierte Kennwertsammlung zur erstmaligen ingenieurmäßigen Beschreibung des Material- und Verbundverhaltens von Dünnglas-Kunststoff-Hybridplatten mit zwei unterschiedlichen Kunststoffkernmaterialien. Die Materialkombination aus Dünnglas und PMMA-Kunststoffkern erzielt die größte Materialeffizienz für eine effektive Gewichtsreduktion und erfüllt die grundlegenden Anforderungen aus dem Bauwesen. Anhand der weiterführend entwickelten konstruktiven Verbindungstechnik wird ein breiter Anwendungsbereich erschlossen. Mit den Ergebnissen dieser Arbeit werden somit die Grundlagen für die Einführung als Bauprodukt und für eine gewichtssparende Konstruktionsweise zur Umsetzung maximaler Transparenz geschaffen.

Abstract

Modern façade designs and all-glass construction are increasingly calling for dematerialisation and maximum transparency for a sophisticated appearance and a high degree of natural lighting. This is accompanied by large glass spans leading to increasing thickness of glass panels that introduce a high dead load into the supporting structure. The availability of thin glass in architecturally relevant dimensions permits new lightweight design principles and innovative material combinations.

Innovative thin glass-plastic-composite panels consist of a lightweight and transparent polymeric interlayer core with scratch-resistant and durable cover layers of thin glass. They offer high stiffness, durability and full transparency at a low specific weight. The raw components of the polymer core are directly cured between the cover layers resulting in a chemical bond between glass and polymer over the entire surface without the need for additional interlayers.

The thin glass-plastic-composite panels are currently unknown in the building industry. There is a lack of knowledge about the material and its composite behaviour. It has not been verified as a building product in accordance with the high structural and safety requirements as well as the requirements for durability and optical properties. In order to employ the lightweight design potential for dematerialised and transparent construction suitable for the building industry, there is a need for specific and material-appropriate connection techniques.

In the context of this thesis, the novel thin glass-plastic-composite panels are systematically investigated in order to assess them as an innovative lightweight product. For the first time, they are classified in detail for application in the building industry. Material and composite properties using two different polymeric interlayer core materials – polymethyl methacrylate (PMMA) and polyurethane (PU) – are characterised by means of experimental and numerical investigations. Moreover, to achieve maximum transparency, a material-specific connection technique is developed and a wide range of mechanical load-bearing capacities are specified.

First of all, the thermophysical and mechanical parameters of the pure polymer core materials are determined in experimental small part tests for the description of the composite load-bearing behaviour. The results identify the PMMA as a stiff, durable but brittle material and the PU as a fairly flexible, viscoelastic material. The investigations on the composite behaviour focus on the demands for use in the building industry and include experimental tests on the durability, the adhesion, the composite load-bearing behaviour as well as the response to hard and soft body impacts. A numerical analysis extends the results of experimental investigations on the structural load-bearing behaviour and examines the thermal expansion behaviour. The results indicate that the new material combination achieves a highly efficient structural load-bearing behaviour and a significant weight reduction compared to conventional monolithic and laminated glass. Application possibilities are derived based on the observed interlayer core material and composite characteristics.

Further development of a connection technique as an integrated design into the polymeric interlayer core offers wide-ranging concepts of connecting thin glass-plastic-composite panels. Its functionality and practicability have been demonstrated in a construction prototype exhibited at “glasstec 2022” fair.

The present work contains a well-structured material dataset to describe the material and composite behaviour of thin glass-plastic-composite panels comprehensively with two different polymeric interlayer core materials in engineering methodology. The material combination of thin glass and PMMA interlayer core achieves outstanding material efficiency with an effective weight reduction and fulfils the general requirements for application in building industry. A wide range of applications is facilitated thanks to the further development of a slim and integrated structural connection technique. The results of this work provide the framework for the introduction of a new lightweight building product with an innovative structural design to realise maximum transparency of façades and all-glass structures.