

**Alterungsverhalten von polymeren
Zwischenschichtmaterialien im Bauwesen**

Ageing Behaviour of Polymeric Interlayer Materials
in Civil Engineering

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

Dissertation

von

Dipl.-Chem. Michael Kothe

geboren am 20.08.1982 in Schmölln

Kurzfassung

Verbund- und Verbundsicherheitsgläser zeichnen sich durch ein breites Anwendungsspektrum im Bauwesen, im Automobilbau und der Photovoltaikindustrie aus. Dabei werden insbesondere an Verbundsicherheitsglas hohe Anforderungen hinsichtlich der Sicherheitseigenschaften gestellt. Diese Eigenschaften, wie Splitterbindung und Resttragfähigkeit, werden durch einen Verbund aus mindestens zwei Glasscheiben mit einem polymeren Zwischenschichtmaterial realisiert. Aktuell werden in etwa 95 % aller Fälle Zwischenschichten aus Polyvinylbutyral für die Herstellung von Verbundsicherheitsglas eingesetzt, da einzig dieses Material bauaufsichtlich geregelt ist. Dabei sind aber auch verschiedene andere Materialien, wie Ethylen-Vinylacetat, thermoplastische Polyurethane oder Ionomere als Zwischenschichten einsetzbar. Aufgrund ihrer Eigenschaften erweisen sich diese für spezielle Anwendungsgebiete als besonders geeignet.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung verschiedener polymerer Zwischenschichtmaterialien hinsichtlich ihrer Eignung für die Herstellung von Verbund- und Verbundsicherheitsgläsern, speziell im Vergleich zur Polyvinylbutyral-Folie. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf das Alterungsverhalten der Zwischenschichten gelegt, um deren Eignung auch für mehrere Jahrzehnte Standzeit, wie sie für Bauwerke zu erwarten ist, einschätzen zu können. Um das Alterungsverhalten der verschiedenen polymeren Zwischenschichtmaterialien beurteilen zu können, werden zunächst die Materialeigenschaften der verschiedenen Zwischenschichten im ungealterten Zustand an reinen Substanzprüfkörpern beziehungsweise ungealterten Verbundgläsern ermittelt.

Als Alterungsszenarien werden eine Temperaturlagerung, eine Beanspruchung durch wechselnde klimatische Bedingungen, sowie eine Lagerung unter aggressiven Medien und eine Bestrahlungsprüfung zur Beurteilung der Langzeitstabilität durchgeführt. Die verschiedenen Alterungstests mit kleinformigsten Verbundglas-Prüfkörpern wirken sich dabei sowohl auf das optische Erscheinungsbild der Verbundgläser, als auch auf die Materialeigenschaften aus. Neben der Bildung von Blasen, Delaminationen oder Trübungen, führen diese Tests durch chemische Reaktionen oder physikalische

Umlagerungen zur Veränderung des Steifigkeits- und Abbauverhaltens der polymeren Zwischenschichtmaterialien.

Auf Grundlage der Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten Alterungstests erscheinen das untersuchte Ionomer (DuPont SentryGlas) und ein thermoplastisches Polyurethan (Huntsman Krystalflex PE399) am besten für einen dauerhaften Einsatz als Zwischenschichtmaterial für Verbund- und Verbundsicherheitsgläser als geeignet. Durch eine Anpassung der Einbausituation oder eine Beschränkung der Einsatzgebiete und der damit einhergehenden klimatischen Beanspruchungen können auch die anderen Materialien vorteilhaft eingesetzt werden.

Summary

Laminated glass and laminated safety glass are used in a wide range of applications, for example in construction, automotive and photovoltaic industry. High demands on security properties are made, especially to laminated safety glass. These properties, such as binding glass fragments in case of breakage and the residual bearing capacity, will be realized by a composite of at least two panes of glass with a polymeric interlayer material. Currently, in about 95 % of all cases, interlayer of polyvinyl butyral are used for the production of laminated safety glass, because this is the only material, which is approved by the building authorities. Various other polymeric materials such as ethylene vinyl acetate, ionomers and thermoplastic polyurethanes can also be used as interlayers. Based on their properties, these materials are suitable for special applications.

Subject of this thesis is the study of various polymeric interlayer materials in reference to their suitability for the production of laminated glass and laminated safety glass, especially in comparison to the polyvinyl butyral interlayer. Especially the ageing behaviour of the interlayer is investigated to estimate their suitability over the lifetime of several decades, which is expected for building structures. To evaluate the ageing behaviour, the material properties of the different polymeric interlayer materials are first determined on the pure, unaged material or unaged laminates.

Different ageing scenarios are carried out to assess the long-term stability, such as a temperature storage test, a climatic stress test as well as test under aggressive media and high irradiation. These ageing tests with small-scale test specimens will affect both the appearance of the laminated glass, as well as the material properties. In addition to the formation of bubbles, delamination or haze, these tests lead to changes in stiffness and degradation behaviour of the polymeric interlayer materials by chemical reactions or physical rearrangements.

Based on the results of the ageing tests in this thesis, the investigated ionomer (DuPont SentryGlas) and a thermoplastic polyurethane (Huntsman Krystalflex PE399) are best suited

for a long-term use as interlayer material for laminated glass or laminated safety glass. By changing the structural design or limiting the range of applications, the other investigated materials can also show their advantages for different applications.