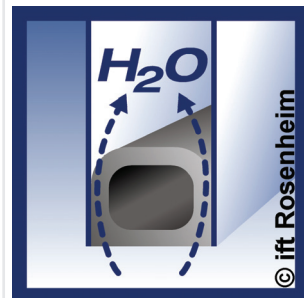
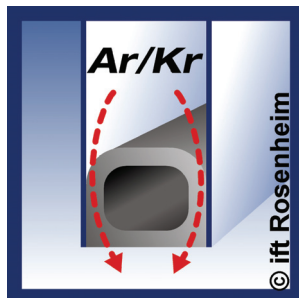
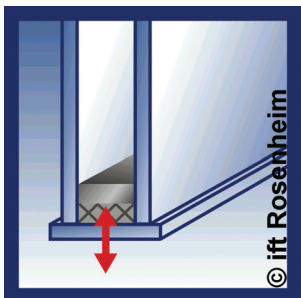
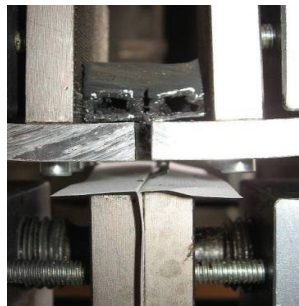
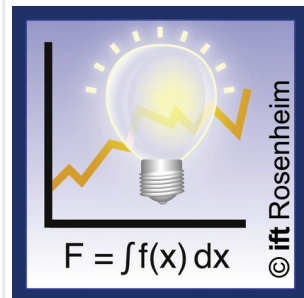


Forschung & Entwicklung

Kurzbericht

Flächengewicht Mehrscheiben-Isolierglas

<
Dezember 2012



Kurzbericht Flächengewicht Mehrscheiben-Isolierglas

Thema	Energieeffizientes Mehrscheiben-Isolierglas – Untersuchungen von technischen Maßnahmen zur Reduzierung des Flächengewichtes
Kurztitel	Flächengewicht Mehrscheiben-Isolierglas
Gefördert durch	Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raum- forschung (Aktenzeichen: SF-10.08.18.7–10.13 / II 3 – F20-10-1-017)
Forschungsstelle	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwick- lungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7–9 83026 Rosenheim
Projektleitung	Dipl.-Phys. Norbert Sack
Projektbearbeitung	Dr. Ansgar Rose

Rosenheim, Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Motivation und Projektziel	1
2 Vorgehensweise	3
2.1 Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern	3
2.2 Mehrscheiben-Isolierglas mit Folie	4
2.3 Mehrscheiben-Isolierglas mit Kunststoffplatte	5
2.4 Bauphysikalische Kennwerte	6
3 Ergebnisse	7
4 Danksagung	10

1 Motivation und Projektziel

Durch die Novellierung der Energieeinsparverordnung EnEV 2009 und weitere Verschärfungen der energetischen Anforderungen an Gebäude in der EU-Richtlinie 2010/31 ist zu erwarten, dass in naher Zukunft Dreifach-Isolierglas in Fenstern und Fenstertüren zum Standard werden wird. Ebenso werden auch die Anforderungen an den Schallschutz, die Einbruchhemmung, den Feuerwiderstand etc. zunehmen. Der Trend zu größeren, offenbaren Fenstern/Fenstertüren und Fassadenelementen wird durch die moderne Architektur vorangetrieben. Geschosshohe Elemente wie z.B. Fenstertüren werden mehr und mehr auch im privaten Wohnungsbau eingesetzt.

Durch die genannten Entwicklungen erhöht sich das Gewicht des verwendeten Mehrscheiben-Isolierglases und infolgedessen des kompletten Bauelementes signifikant. Diese Gewichtserhöhung hat u.a. folgende Auswirkungen:

- Erhöhte Belastungen der Rahmenkonstruktionen
- Erhöhte Belastungen der Beschläge und damit die Notwendigkeit für aufwändigere Konstruktionen sowie eine Erhöhung der Gefahr des Versagens von Beschlägen
- Erhöhter Bedarf an Hebwerkzeugen zur Verteilung und Installation der Bauelemente auf der Baustelle
- Erhöhte Belastungen der Bauarbeiter und Monteure bei der Handhabung der Bauelemente und die sich hieraus ergebenden gesundheitlichen Gefährdungen sowie die Erhöhung des Risikos von Unfällen

Ein Reduzierung des Flächengewichts von Mehrscheiben-Isolierglas und somit eine Reduzierung der o.g. Belastungen scheint sinnvoll und wäre prinzipiell über zwei Strategien realisierbar:

1. Einsatz von dünnerem Glas
2. Einsatz von transparenten Kunststoffen, entweder als Platte oder als Folie

Dünneres Glas könnte in allen drei Ebenen eingesetzt werden, d.h. auf der Außenseite, der Raumseite sowie als mittlere Scheibe. Dies gilt prinzipiell auch für Kunststoffe. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass beim Außen- bzw. raumseitigen Einsatz von Kunststoffen glasinhärente Eigenschaften wie Gasdichtheit oder Kratzfestigkeit sichergestellt werden müssten. Außerdem ist die



thermische Ausdehnung von Kunststoffen ein Mehrfaches der von Glas, was insbesondere bei der Kombination von Glas und Kunststoff Probleme verursachen könnte. Neben diesen sehr materialspezifischen Anforderungen sind weitere Fragestellungen zu adressieren:

- Einfluss der flächengewichtreduzierenden Maßnahmen auf die Gültigkeit der Dimensionierungsregeln für Mehrscheiben-Isolierglas
- Einfluss der Maßnahmen auf die Dauerhaftigkeit des Isolierglases
- Einfluss auf den generellen Aufbau des Isolierglases (Scheibendicke, Randverbund etc.)
- Einfluss auf weitere Leistungseigenschaften wie z.B. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert), Luftschalldämmung, Lichttransmission, optische Erscheinung

Dieses Forschungsvorhaben hatte daher das Ziel zu untersuchen, welche technischen Maßnahmen das Flächengewicht von Mehrscheiben-Isolierglas reduzieren könnten und welche Auswirkungen sich hieraus ergäben. Die im Rahmen des Vorhabens aufgegriffenen Fragestellungen wurden im Wesentlichen experimentell angegangen. Dies betrifft z.B. Fragen zur Dauerhaftigkeit, Verträglichkeit, Luftschalldämmung, Lichttransmission etc. Wo es möglich und sinnvoll erschien, wurden die experimentellen Untersuchungen durch numerische Simulationen ergänzt.

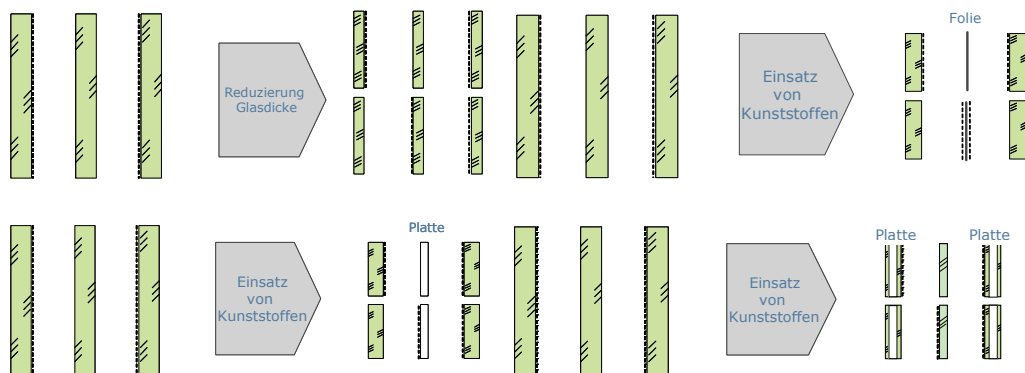


Abbildung 1 Prinzipielle Möglichkeiten zur Reduzierung des Flächengewichtes

2 Vorgehensweise

2.1 Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern

Eine der Kernfragen bei der Verwendung von dünnen Glasscheiben in Mehrscheiben-Isolierglas ist die nach der Gültigkeit der Bemessungsregeln. Um dies zu entscheiden, wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Die Grundidee war, MIG-Probekörper zu belasten, dabei die Durchbiegung der Scheiben und den Druck in den Scheibenzwischenräumen zu messen, und dann die experimentellen Ergebnisse mit theoretisch ermittelten Werten zu vergleichen. Die theoretischen Vergleichswerte wurden sowohl nach der linearen Kirchhoffschen Plattentheorie (Theorie erster Ordnung) als auch nach einer erweiterten, nicht-linearen Plattentheorie zur Berücksichtigung von Membranspannungen berechnet.

Außerdem wurden Vorbemessungsdiagramme für einige Aufbauten erstellt. Diese Diagramme stellen für einen vorgegebenen Aufbau und einen vorgegebenen Belastungsfall (Klima-, Windlast) die maximale Biegezugspannung und die maximale Durchbiegung in den Glasscheiben in Abhängigkeit von der Scheibengröße dar. Sie geben somit auch Auskunft darüber, ob dünne Gläser vorgespannt werden müssen und/oder ob eventuell deren Durchbiegung die Gebrauchstauglichkeit beschränkt.

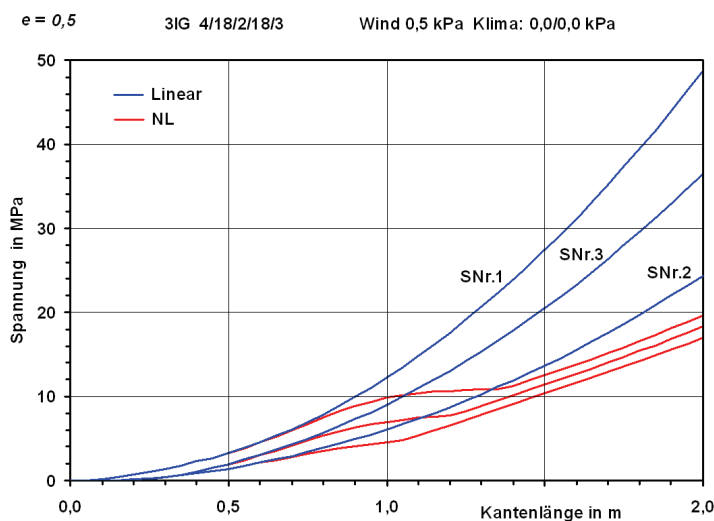


Abbildung 2 Exemplarische Darstellung der berechneten Spannung der Einzelscheiben aufgrund Windlast

2.2 Mehrscheiben-Isolierglas mit Folie

Der Ersatz der mittleren Scheibe eines Dreifach-MIG durch eine weniger als 100 µm dicke Kunststoffolie bietet erhebliches Potenzial zur Gewichtseinsparung. Jedoch ergeben sich auch neue Herausforderungen an die Herstellung und Dauerhaftigkeit eines solchen Produktes. So muss die Folie bei der Herstellung korrekt platziert und gespannt werden. Die Spannung der Folie muss dauerhaft erhalten bleiben – auch dann, wenn sich die Folie durch Temperaturänderungen im MIG wiederholt ausdehnt und zusammenzieht. Jeglicher Faltenwurf der Folie wäre sichtbar und aus Kundensicht unakzeptabel. Der Widerstand des Randverbundes gegen den Eintritt von Feuchtigkeit und den Verlust des Füllgases darf durch die Verklebung der Folie nicht beeinträchtigt werden.

Im Rahmen des Vorhabens ergaben sich zwei Hauptthemen für experimentelle Untersuchungen:

- die langfristige Haftung der Folie im Randverbund, insbesondere bei erhöhten Temperaturen und nach vielen Temperatur- und damit Lastzyklen, und
- die Dauerhaftigkeit gemäß EN 1279-2 und -3, d.h. die Dichtheit des Randverbundes gegen das Eindringen von Feuchtigkeit bzw. den Verlust des Füllgases.

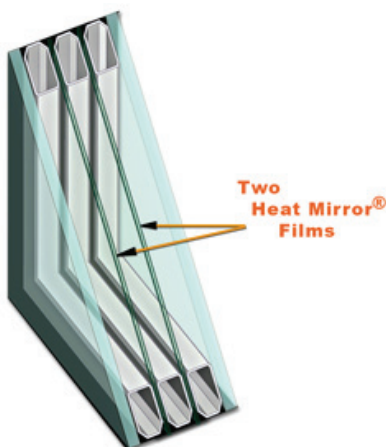


Abbildung 3 Querschnitt eines im Rahmen des Vorhabens untersuchten Triple Cavity-Aufbaus

2.3 Mehrscheiben-Isolierglas mit Kunststoffplatte

Beim Einsatz von transparenten Kunststoffplatten ist primär zu beachten, dass die thermischen Ausdehnungen von Kunststoffen und Glas sehr unterschiedlich sind. Eine 2 m lange Glasplatte wird sich bei Erwärmung um 50 K um ca. 0,9 mm verlängern, eine Polycarbonatplatte um ca. 7 mm. Eine schwimmende Lagerung der Kunststoffplatte in einem Sonderprofil ermöglicht eine ungehinderte thermische Ausdehnung, hat aber auch weitere Effekte.

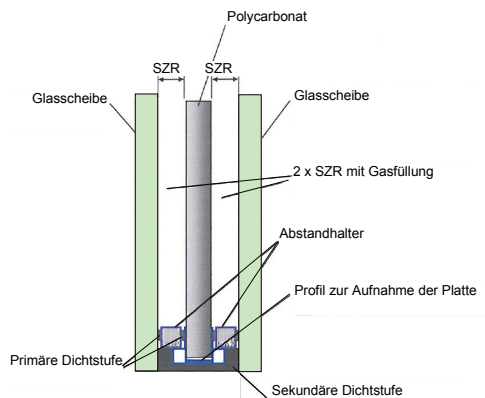


Abbildung 4 Schematischer Aufbau des Randverbundes zur schwimmenden Lagerung einer Kunststoffplatte

Es wurden die Psi-Werte des Randverbundes berechnet, und zwar für einen Standardaufbau mit Aluminiumsonderprofil und konventionellen Abstandhaltern, für einen Aufbau mit wärmetechnisch verbessertem Abstandhalter und für einen Aufbau mit einem Sonderprofil aus einem Material mit niedriger Wärmeleitfähigkeit und wärmetechnisch verbessertem Abstandhalter. Die Wasseraufnahme und die Gasverlustrate gemäß EN 1279-2 und -3 wurden ebenfalls ermittelt. Im Zusammenhang mit der Dauerhaftigkeit wurde auch das Foggingverhalten untersucht, insbesondere da durch die Platten erhebliche Mengen an Kunststoff im Scheibenzwischenraum vorhanden sind.

Neben niedermolekularen, organischen Substanzen, die das Fogging verursachen, können viele Kunststoffe auch Wasser in den Molekülverbund einlagern, z. B. während der Lagerung der Kunststoffplatten vor dem Einbau in ein MIG. Bei einer PMMA-Platte von 2 m x 1 m und 8 mm Dicke sind das 115 g Wasser, die, falls sie denn – insbesondere bei erhöhten Temperaturen – in die Scheibenzwischenräume freigesetzt würden, zusätzlich vom Trockenmittel



aufgenommen werden müssten. Aus diesem Grund wurde die Wasserabgabe von Kunststoffplatten bei erhöhten Temperaturen untersucht.

2.4 Bauphysikalische Kennwerte

Da die Verschärfungen energetischer Anforderungen an Gebäude im Allgemeinen und Fenster im Besonderen durch die EnEV 2009 sowie die EU-Richtlinie 2010/31 überhaupt Anlass zu diesem Forschungsvorhaben gaben, wurden energetische Kennwerte der drei Produktlösungen verglichen. Des Weiteren ist die Luftschalldämmung eine für den Kunden wichtige Funktion eines Mehrscheiben-Isolierglases. Die Dämmung hängt sehr stark von dem jeweiligen Aufbau eines MIG ab. Insbesondere die Masse an Glas, d.h. die Scheibendicke, hat wesentlichen Einfluss. Dünne Scheiben bedeuten weniger Masse und daher auch eine schlechtere Schalldämmung. Ein größerer Scheibenabstand wiederum verbessert die Dämmung. Um diese Effekte zu quantifizieren, wurden Luftschalldämmwerte für verschiedene Aufbauten experimentell ermittelt.

3 Ergebnisse

Die durchgeführten Untersuchungen kamen zu folgenden Ergebnissen:

Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern

Dimensionierungsregeln:

- Für äußere Lasten (Wind): Die nicht-lineare Theorie ergibt signifikant niedrigere Werte für die Spannung und Durchbiegung. Bei großformatigen Isoliergläsern ist die Windlast im Regelfall die maßgebliche Last.
- Für innere Lasten (Klima): Die nicht-lineare und die Kirchhoff-Theorie ergeben ähnliche Resultate. Die Anwendung der nicht-linearen Theorie hat keine Vorteile. Bei kleinformatigen Isoliergläsern ist die Klimalast im Regelfall die maßgebliche Last.
- Für schmale, lange Formate: Die nicht-lineare und die Kirchhoff-Theorie ergeben ähnliche Resultate. Die Anwendung der nicht-linearen Theorie hat keine Vorteile.

Vorspannbedarf:

- Für Scheiben mit einer kurzen Kante unter ca. 65 cm besteht sowohl bei 4 mm als auch bei 3 mm Scheibendicke Vorspannbedarf.
- Für dünne Scheiben besteht im Vergleich zu 4 mm Float kein signifikant erhöhter Bedarf zum Vorspannen aufgrund einer Bemessung für Wind- und Klimalasten.
- U.U. ergibt sich Vorspannbedarf auch aufgrund des Scheibenhandlings oder thermischer Belastungen.

Strahlungsphysikalischen Eigenschaften:

- Für Isolierglas mit thermisch vorgespannten Glasscheiben können die spektralen Transmissions- und Reflexionsgrade von nicht vorgespanntem Floatglas zugrunde gelegt werden.

Mehrscheiben-Isolierglas mit Folie

- Aufbauten mit Folie als Ersatz der mittleren Scheibe sind komplexe Systeme. Die Qualifizierung von Folie/Dichtstoff/Abstandhalter-Kombinationen erfordert die Anwendung mehrerer Untersuchungsmethoden.



- Obwohl die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Probekörper individuell nicht alle Anforderungen der EN 1279 an die Gasverlustrate und Feuchtigkeitsaufnahme erfüllen konnten, weist die Gesamtheit der ermittelten Ergebnisse darauf hin, dass eine Erfüllung der Anforderungen grundsätzlich möglich ist.
- Es trat kein Fogging auf, auch nicht bei erhöhter Prüftemperatur.

Mehrscheiben-Isolierglas mit Kunststoffplatte

- Kunststoffplatten als mittlere Scheibe erfordern eine spezielle Lagerung, die eine thermische Ausdehnung der Platten erlaubt, ohne den Randverbund zu belasten. Bei den untersuchten Probekörpern war hierzu ein Sonderprofil in den Randverbund integriert, welches eine schwimmende Lagerung der Kunststoffplatte ermöglicht.
- Bei den beiden untersuchten Kunststoffarten, Polycarbonat und PMMA trat kein Fogging auf, auch nicht bei erhöhter Prüftemperatur.
- Bei der Verwendung von Kunststoffplatten als mittlerer Scheibe muss berücksichtigt werden, dass Feuchtigkeit aus dem Kunststoff freigesetzt und in den SZR abgegeben werden kann. Es ist entweder eine Trocknung der Kunststoffplatten vor dem Einbau oder eine entsprechende Dimensionierung der Trockenmittelmenge notwendig.
- Die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Probekörper mit einem wärmetechnisch verbesserten Randverbund haben den von der EN 1279-3 vorgegebenen Grenzwert für die Gasverlustrate geringfügig überschritten. Der von der EN 1279-2 vorgegebene Grenzwert für die Feuchtigkeitsaufnahme wurde erheblich überschritten; diese Überschreitung hätte jedoch durch eine Feuchtigkeitsabgabe aus den Kunststoffplatten (s. vorigen Spiegelpunkt) verursacht sein können. Eine abschließende Beurteilung des untersuchten Systems hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen aus EN 1279-2 und -3 ist daher nicht möglich.

Bauphysikalische Kennwerte

Energetische Kenndaten:

- Der Wärmedurchgangskoeffizient, der Gesamtenergiedurchlassgrad sowie der Lichttransmissionsgrad von den im Vorhaben untersuchten flächengewichtreduzierten Aufbauten sind vergleichbar mit denen von konventionellem Dreifach-Isolierglas.

Luftschalldämmung:

- Dünne Glasscheiben in symmetrischen Aufbauten reduzieren grundsätzlich die Luftschalldämmung, bedingt durch ihre geringere Masse, im Speziellen zum Standardaufbau 4/12/4/12/4. Dieser Nachteil kann jedoch durch einen asymmetrischen Aufbau (4/12/2/12/3) des MIG ausgeglichen werden.
- Die Ausbildung der mittleren Scheibe, ob dünnes Glas, Folie oder Kunststoffplatte, hat keinen signifikanten Effekt auf die Luftschalldämmung.



4 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SF-10.08.18.7 – 10.13 / II 3 – F20-10-1-017). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Das Forschungsprojekt wurde in beratender Funktion durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe betreut. Den Mitgliedern des Beratergremiums gilt besonderer Dank:

Herr Prof. Dr. Franz Feldmeier

Hochschule Rosenheim

Herr Dr. Wolfgang Wittwer

Kömmerling Chemische Fabrik GmbH

Frau Miriam Hohfeld

Forschungsinitiative Zukunft Bau

Besonderer Dank gebührt auch den Industriepartnern, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützten und somit zum Gelingen beitrugen:



Bundesverband Flachglas e.V.

In der Projektgruppe vertreten durch:



Isophon Glas GmbH



Southwall Europe GmbH



Winterglas GmbH

Wir bedanken uns auch bei der Fa. KAEFER Construction GmbH für das kostenlose Zurverfügungstellen einer MICROSORBER®-Platte.



ift Rosenheim
Theodor-Gietl-Str. 7-9
83026 Rosenheim
Telefon +49 (0) 8031 261-0
Telefax +49 (0) 8031 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
<http://www.ift-rosenheim.de>