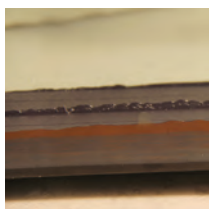
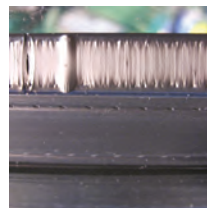
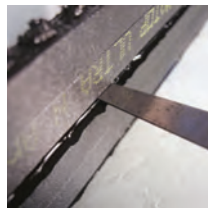
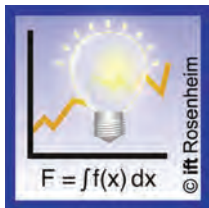



Untersuchungen zum Einfluss der Größe des Scheibenzwischenraums auf die Dauerhaftigkeit von hochwärmedämmendem Mehrscheiben-Isolierglas





Kurzbericht

Thema	Untersuchungen zum Einfluss der Größe des Scheibenzwischenraums auf die Dauerhaftigkeit von hochwärmedämmendem Mehrscheiben-Isolierglas
Kurztitel	Dauerhaftigkeit MIG
Gefördert durch	Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-156 / SWD-10.08.18.7-13.35)  Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.
Forschungsstelle	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7–9 83026 Rosenheim
Bearbeiter	Dr. Ansgar Rose
Projektleiter/-in	Dipl.-Phys. Norbert Sack
Institutsleitung	Prof. Ulrich Sieberath

Rosenheim, Oktober 2015



Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Projektziel	1
2	Vorgehensweise	3
2.1	Probekörper	3
2.2	Durchführung	3
2.3	Einzelergebnisse	5
2.4	Zubeladung durch Alterung	6
2.5	Visuelle Inspektion der Probekörper	7
3	Ergebnisse	9
4	Danksagung	11



1 Motivation und Projektziel

Bei der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes kommt den transparenten Bauelementen eine wichtige Rolle zu. Eine deutliche Verringerung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Fassaden kann durch die Verwendung von Dreischeiben-Wärmedämmglas erreicht werden. Hat ein Zweischeiben-Wärmedämmglas mit einem Scheibenzwischenraum (SZR) von 16 mm, Argonfüllung und einer low-e-Beschichtung mit einem Emissionsgrad von $\varepsilon = 0,03$ einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, so lässt sich mit einem optimierten Dreischeibenaufbau ein Wärmedurchgangskoeffizient von $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ realisieren. Dazu sind allerdings Scheibenzwischenräume von 18 mm erforderlich.

Konstruktionsbedingt (hermetische Versiegelung) führen Änderungen des Luftdrucks und/oder der Temperatur im Mehrscheiben-Isolierglas zu Druckunterschieden zwischen dem Scheibenzwischenraum und der Atmosphäre, und somit zu Klimalasten auf Glas und Randverbund. Die Höhe dieser Klimalasten steigt mit der Größe des SZR und der Scheibendicke an. Die Wirkung einer erhöhten Klimalast auf die Scheiben lässt sich mit anerkannten Methoden gut abschätzen. Dies ist aber nicht der Fall für den Randverbund. Insbesondere ist gegenwärtig nicht bekannt, wie sich eine erhöhte Randlast auf die Dauerhaftigkeit, also die Lebensdauer, eines Mehrscheiben-Isolierglases auswirkt. Deshalb werden zurzeit Scheibenzwischenräume von $2 \times 12 \text{ mm}$ für den Standardaufbau von Dreischeiben-Wärmedämmglas empfohlen. Der Nachteil ist, dass der Wärmedurchgangskoeffizient um 40 % über dem des energetisch optimierten Aufbaus liegt.

Es war daher das Ziel dieses Forschungsvorhabens, den Einfluss der Randlast auf die Dauerhaftigkeit von Dreifach-Wärmedämmglas zu untersuchen. Dabei sollte die Randlast über die Größe des Scheibenzwischenraumes und die Scheibendicke gezielt verändert werden. Da bekannt war, dass die Dauerhaftigkeit eines MIG ganz wesentlich von der Fertigungsqualität bestimmt wird, die von Hersteller zu Hersteller erheblich variieren kann, musste eine ausreichende Anzahl von Probekörpern geprüft werden, um statistisch belastbare Aussagen treffen zu können, die auch für „die Industrie“ als Ganzes gültig sind.

2 Vorgehensweise

2.1 Probekörper

Probekörper drei verschiedener Aufbauten, die unter Klimalast zum Auftreten unterschiedlicher Randlasten führen, wurden der Feuchtigkeitsaufnahmeprüfung gemäß EN 1279-2 unterzogen. Dabei war es wichtig, die durch die Klimabelastung verursachte absolute Feuchteaufnahme (in g) zu ermitteln, denn nur der absolute Wert (in g) sagt etwas über die Dichtheit des Randverbundes aus. Die Messung von Gasverlusten gemäß EN 1279-3 war im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wegen des wesentlich größeren zeitlichen und finanziellen Aufwandes nicht möglich.

Folgende drei Aufbauten im Format 350 mm x 500 mm wurden untersucht:

		<u>Rel. maximale Randlast *</u>
Aufbau 1	4-12-4-12-4	100 %
Aufbau 2	4-18-4-18-4	120 %
Aufbau 3	6-18-4-18-6	160 %

* Berechnet mit Üko Professional 3S Vers. 9.1

Klimabelastung in Anlehnung an EN 1279-2

Die Randlasten sind als relative Werte, bezogen auf Aufbau 1, angegeben.

Zwanzig Hersteller lieferten Probekörper für alle drei Aufbauten. Auf diese Weise sollte es möglich sein, einen Einfluss der Randlast auf die Feuchteaufnahme zu ermitteln und gleichzeitig einen Überblick über die Streuung von Ergebnissen innerhalb der Industrie zu erhalten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnten nur starre Randverbundsysteme (Hohlprofilabstandhalter) mit schüttbaren Trockenmitteln berücksichtigt werden. Darüber hinaus konnten die teilnehmenden Betriebe selber über die Systemparameter wie Abstandhalterttyp, Trockenmittelmenge, Butylauftrag, Sekundärdichtstoff (PU oder PS), Rückenüberdeckung etc. entscheiden. Es wurden überwiegend Abstandhalter aus Kunststoff mit metallischer Diffusionssperre sowie PU als Dichtstoff verwendet.

2.2 Durchführung

Die relative Anfangsbeladung (in %) des Trockenmittels wurde gemäß EN 1279-2 an vier Probekörpern bestimmt. Dabei wurden die beiden Scheibenzwischenräume einzeln erfasst. Es wurde angenommen, dass die fünf Probekörper für die Klimalagerung die gleiche (relative) Anfangsbeladung hatten, da alle Probekörper aus derselben Fertigungscharge stammten.

Nach der Klimabelastung wurde die absolute Feuchtebeladung des Trockenmittels der fünf gealterten Probekörper bestimmt. Dabei wurden wiederum die beiden Scheibenzwischenräume einzeln erfasst. Es wurde besonders darauf geachtet, möglichst die gesamte

Trockenmittelmenge aus einem Abstandhalter zu entnehmen. (Bei der Ermittlung der relativen Anfangsbeladungen war es unkritisch, wenn aus Versehen ein wenig Trockenmittel im Abstandhalter verblieb, da es keinen Einfluss auf den relativen Wert haben würde.)

Die experimentell ermittelte absolute Feuchtebeladung eines Scheibenzwischenraumes nach der Alterung ist die Summe aus der Anfangsbeladung und der während der Klimalaagerung aufgenommenen Feuchte, der sogenannten „Zubeladung“. Das bedeutet: die Zubeladung für jeden Scheibenzwischenraum ergibt sich durch Subtraktion der Anfangsbeladung von der jeweiligen Feuchtebeladung nach der Alterung.

2.3 Einzelergebnisse

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die ermittelten Einzelergebnisse eines Herstellers, wie sie für alle Hersteller im Anhang des Abschlussberichtes zu finden sind.

Hersteller	5		Abstandhalter:		Kunststoff / metallische Diffusionssperre					
			Sekundärdichtstoff:		PS					
			Tc	in %	22					
	Lieferzustand				Gealtert				"Z"	
	TM	TM		"Ti"	"m fe"	"m tr"	"B"	"Ti"	Zubeladung	Feucht.
	entnommen	getrocknet	Beladung	Anfangs-	TM	TM			durch	aufn.faktor
	in g	in g	in g	beladung	entnommen	getrocknet	Beladung	Beladung	Alterung	I
				in %	in g	in g	in g	in %	in g	in %
36 mm	27,362	26,932	0,430	1,6	30,061	28,883	1,178	4,08	0,73	12,3
4-12-4-12-4	27,116	26,707	0,409	1,5	29,617	28,331	1,286	4,5	0,84	14,5
	28,260	27,832	0,428	1,5	30,008	28,748	1,260	4,4	0,81	13,8
	27,850	27,429	0,421	1,5	29,083	27,839	1,244	4,5	0,81	14,2
	28,754	28,283	0,471	1,7	29,413	28,035	1,378	4,9	0,94	16,4
	26,126	25,731	0,395	1,5	27,827	26,689	1,138	4,3	0,72	13,2
	28,237	27,802	0,435	1,6	28,619	27,409	1,210	4,4	0,78	13,9
	28,171	27,733	0,438	1,6	29,550	28,578	0,972	3,4	0,52	9,0
					29,925	28,605	1,320	4,6	0,87	14,9
					29,748	28,631	1,117	3,90	0,67	11,4
Mittel	27,7	27,3	0,4	1,6	29,4	28,2	1,2	4,3	0,77	13,4
Stabw	0,8	0,8	0,0	0,0	0,7	0,7	0,1	0,4	0,12	2,1
Median	28,0	27,6	0,4	1,6	29,6	28,5	1,2	4,4	0,79	13,9
					T_{i,av}					
48 mm	39,910	39,307	0,603	1,5	46,074	43,060	3,014	7,0	2,36	26,8
4-18-4-18-4	41,324	40,721	0,603	1,5	44,527	42,670	1,857	4,4	1,21	13,8
	41,533	40,909	0,624	1,5	44,377	41,867	2,510	6,0	1,87	21,9
	40,749	40,158	0,591	1,5	45,531	43,980	1,551	3,5	0,88	9,8
	39,550	38,936	0,614	1,6	45,754	42,902	2,852	6,6	2,20	25,0
	40,853	40,248	0,605	1,5	43,955	42,153	1,802	4,3	1,16	13,5
	42,522	41,873	0,649	1,5	44,937	42,922	2,015	4,7	1,36	15,5
	40,854	40,242	0,612	1,5	42,993	41,309	1,684	4,1	1,06	12,5
Mittel	40,9	40,3	0,6	1,5	44,8	42,6	2,2	5,1	1,51	17,3
Stabw	0,9	0,9	0,0	0,0	1,0	0,8	0,6	1,3	0,56	6,3
Median	40,9	40,2	0,6	1,5	44,7	42,8	1,9	4,5	1,29	14,7
52 mm	43,479	42,822	0,657	1,5	44,653	41,600	3,053	7,3	2,43	28,5
6-18-4-18-6	43,793	43,150	0,643	1,5	43,922	41,041	2,881	7,0	2,27	26,9
	43,028	42,397	0,631	1,5	45,614	42,903	2,711	6,3	2,07	23,5
	41,500	40,883	0,617	1,5	44,323	41,635	2,688	6,5	2,07	24,2
	44,242	43,593	0,649	1,5	44,776	42,239	2,537	6,0	1,91	22,0
	42,973	42,347	0,626	1,5	44,915	42,629	2,286	5,4	1,65	18,9
	42,165	41,544	0,621	1,5	44,269	42,151	2,118	5,0	1,49	17,2
	41,928	41,314	0,614	1,5	44,592	41,699	2,893	6,9	2,27	26,5
					42,837	40,059	2,778	6,9	2,18	26,5
					43,384	41,704	1,680	4,0	1,06	12,3
Mittel	42,9	42,3	0,6	1,5	44,3	41,8	2,6	6,1	1,94	22,7
Stabw	1,0	0,9	0,0	0,0	0,8	0,8	0,4	1,1	0,42	5,1
Median	43,0	42,4	0,6	1,5	44,5	41,7	2,7	6,4	2,07	23,9

Abbildung 1 Exemplarische Darstellung der Einzelergebnisse eines Herstellers

2.4 Zubeladung durch Alterung

Abbildung 2 präsentiert die Zubeladungen durch Alterung gemäß EN 1279-2. Durch eine Normierung der Werte mit der jeweiligen Zubeladung des Aufbaus 4/12/4/12/4 wird in Abbildung 3 versucht, den Einfluss der Randlast auf die Zubeladung besser herauszustellen.

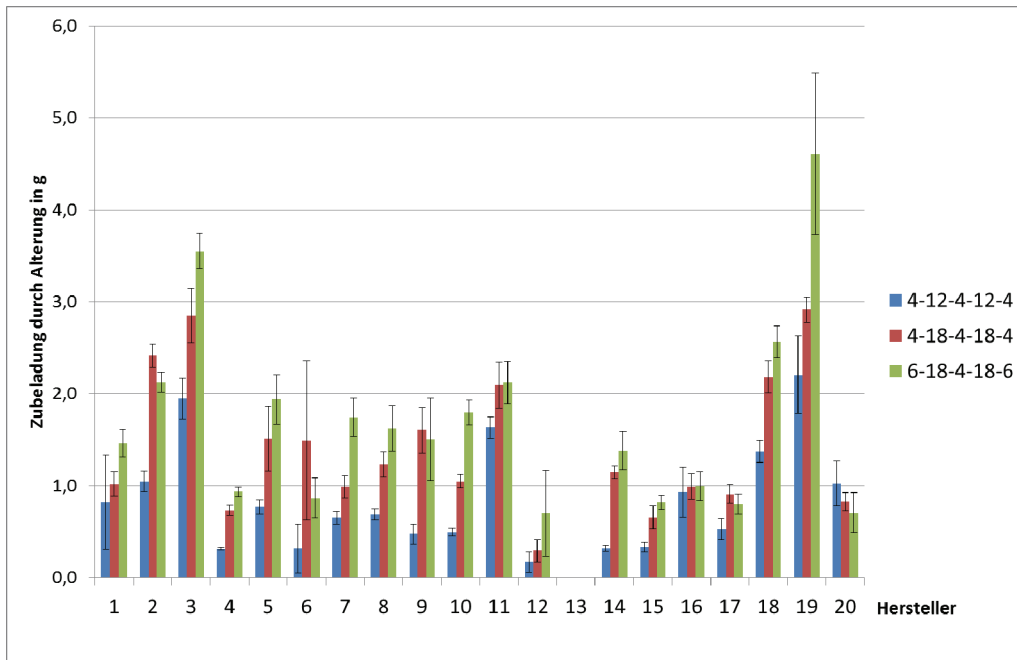


Abbildung 2 Mittlere Zubeladung mit Vertrauensbereich von 95 %

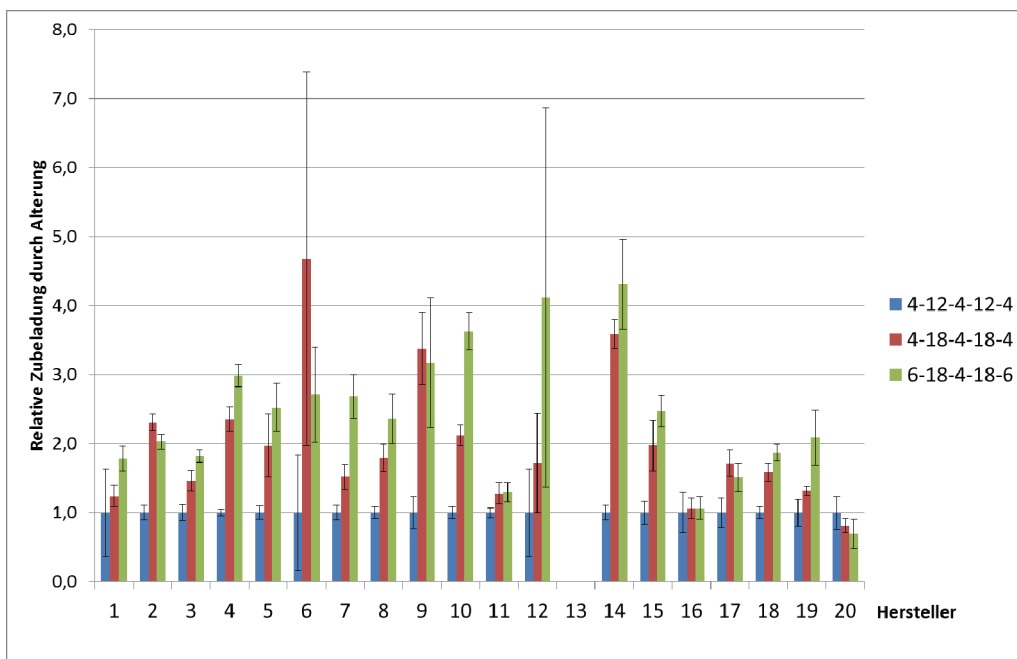


Abbildung 3 Mittlere relative Zubeladung mit Vertrauensbereich von 95 %; normiert mit der jeweiligen Zubeladung des Aufbaus 4-12-4-12-4.



Die Unterschiede zwischen den Herstellern sind erheblich. Die Zubeladung des Aufbaus 1 (4/12/4/12/4) liegt meistens deutlich unter denen der beiden anderen Aufbauten. Ein Unterschied zwischen den Aufbauten 2 (4/18/4/18/4) und 3 (6/18/4/18/6) ist nicht so deutlich zu erkennen, obwohl tendenziell der Aufbau 3 (6/18/4/18/6) höhere Zubeladungen aufweist als der Aufbau 2 (4/18/4/18/4). Ein linearer Zusammenhang zwischen Randlast und Feuchteaufnahme ist nicht erkennbar. Der Anstieg der Zubeladung von Aufbau 2 (4/18/4/18/4) zu Aufbau 3 (6/18/4/18/6) erscheint deutlich geringer als auf Grund der berechneten Randlasten zu vermuten wäre.

2.5 Visuelle Inspektion der Probekörper

Einige Probekörper wurden nach der Klimalagerung einer Inspektion (visuell, Klapptest) unterzogen, um nach Ursachen für „auffällige“ Ergebnisse zu suchen.

Unzureichende Butylaufträge auf den Kanten (Abbildung 4) und insbesondere in den Ecken (Abbildung 5), wo die Abstandhalter durch den Biegevorgang auf geweitet sind, waren häufiger zu beobachten.

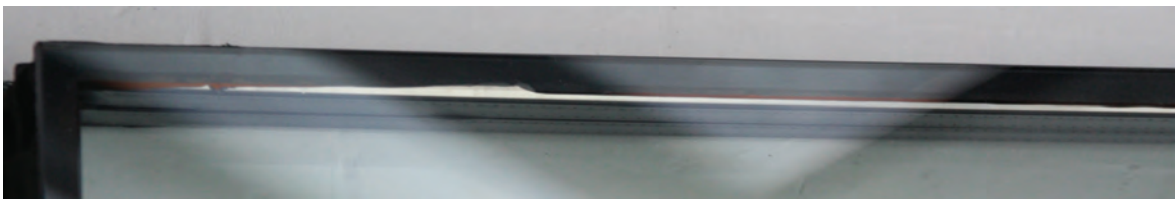


Abbildung 4 Unzureichender Butylauftrag auf Abstandhalter

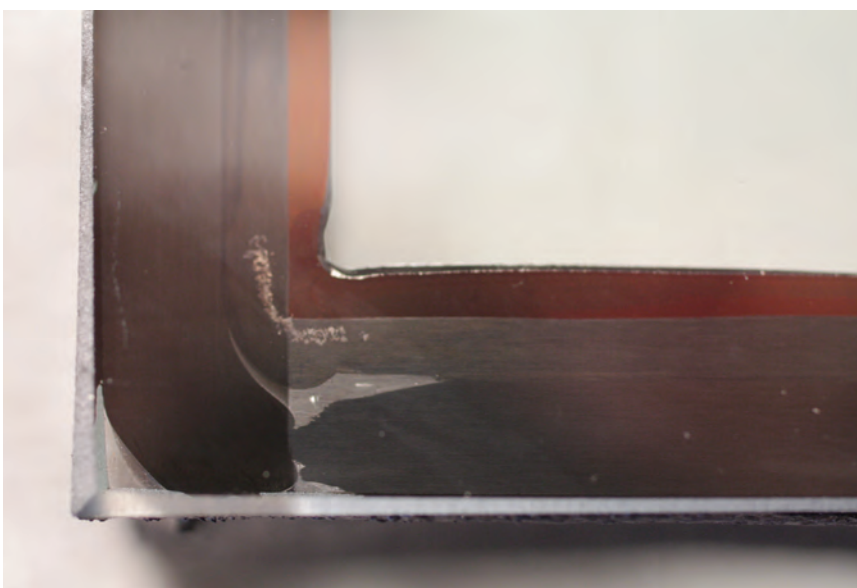


Abbildung 5 Unzureichende Butylabdeckung an durch Biegung auf geweiteter Abstandhalterecke; Lufteinschlüsse (grau) im Sekundärdichtstoff am Anfangs-/Endpunkt der automatischen Versiegelung

Ein guter Indikator für die Qualität der Haftung zwischen Glas und Butyl ist der Fadenzug beim sogenannten Klapptest (Abbildung 6 bis Abbildung 8). Dazu wird an einem MIG-Probekörper der Verbund zwischen der oberen Glasscheibe und dem Abstandhalter an drei Seiten (kurz–lang–kurz) mit einem Messer durchtrennt. Dann lässt sich die obere Scheibe anheben und aufklappen wie ein Buchdeckel. Ist die Haftung eher schlecht, so ist es auch wahrscheinlicher, dass ein Pfad für Feuchte in den SZR bzw. für Füllgas aus dem SZR heraus besteht. Die Dauerhaftigkeit des Isolierglases ist eingeschränkt. Das Gleiche gilt, wenn bereits während der Klimaalterung kohäsives Versagen im Butyl auftritt. Im Klapptest ist dann kein Fadenzug sichtbar, die gegenüberliegenden Butyloberflächen erscheinen glatt.

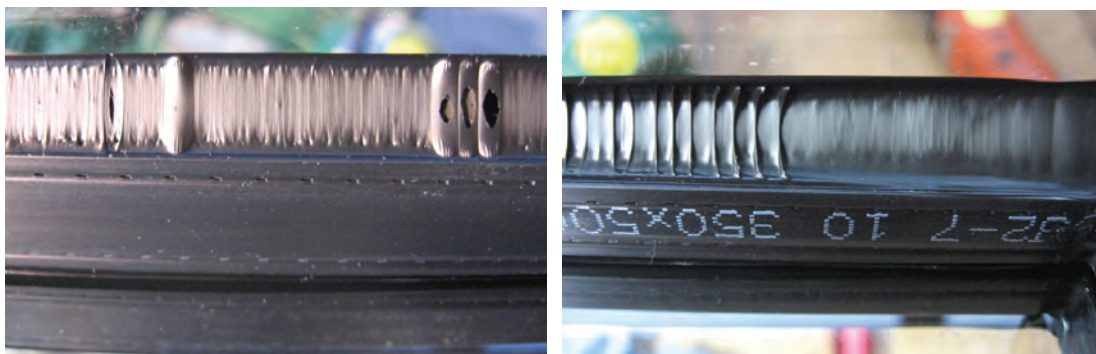


Abbildung 6 Beispiele für guten Fadenzug: Geschlossener Vorhang von Butylfäden

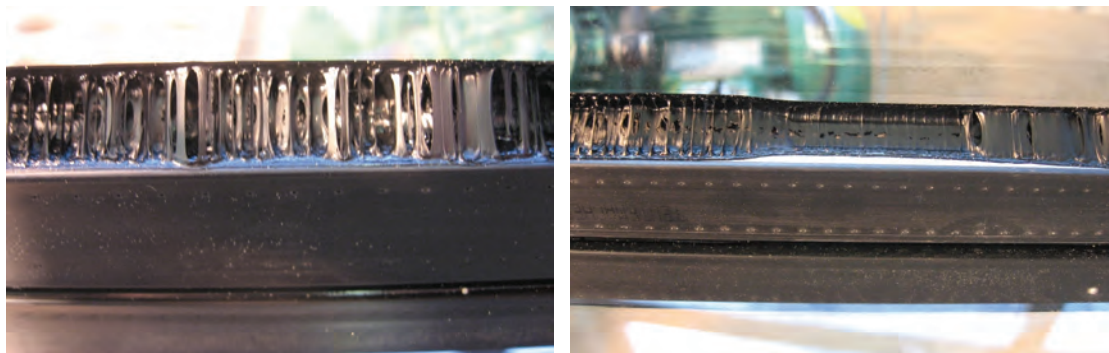


Abbildung 7 Immer noch recht guter Fadenzug. Allerdings sind die Frontlinien nicht mehr geradlinig wie in Abbildung 6. In den Eindrücken bestand keine Haftung mehr zwischen Abstandhalter und Butyl.

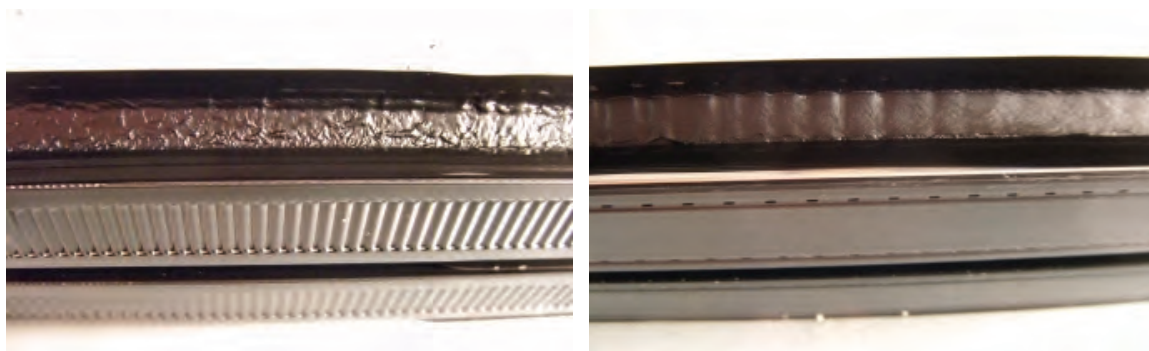


Abbildung 8 Beispiele für kohäsives Versagen im Butyl: kein Fadenzug



3 Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Höhere Randlasten führen zu höheren Feuchteaufnahmen.
- Ein linearer Zusammenhang zwischen Randlast und Feuchteaufnahme konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht ermittelt werden. So zeigten die Scheiben mit dem Aufbau 2 (4-18-4-18-4) im Vergleich zu denen mit dem Aufbau 1 (4-12-4-12-4) deutlich höhere Feuchteaufnahmen. Der Anstieg der Feuchteaufnahme von Aufbau 2 zu Aufbau 3 (6-18-4-18-6) war jedoch weniger deutlich, als aufgrund der berechneten Randlasten zu vermuten wäre.
- Der Einfluss der Herstellungsqualität auf die Feuchteaufnahme zeigte sich bei den Untersuchungen als mindestens genauso stark wie der Einfluss der Randlast, und er überlagerte die Ergebnisse deutlich.
- Aus dem vorangehenden Punkt folgt direkt: Einer erhöhten Prozesssicherheit bei der Herstellung von MIG mit erhöhten Randlasten (3-fach-MIG mit großem SZR, dicke Scheiben) kommt eine große Bedeutung zu.
- Der Feuchtigkeitsaufnahmefaktor I (Anteil der nach der normierten Alterung verbrauchten Feuchtigkeitsaufnahmekapazität eines MIG) ist kein hinreichendes Kriterium zur Beurteilung der Qualität eines Randverbundes, da er neben der eigentlichen Herstellungsqualität auch von der Trockenmittelmenge abhängig ist.

Ferner ist anzumerken:

- Die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchungen zur Feuchteaufnahme sind nicht direkt auf Gasverlustraten übertragbar.
- Es ist unklar, ob oder inwieweit die hier gewonnenen Erkenntnisse übertragbar sind auf Mehrscheiben-Isoliergläser mit flexiblen Abstandhaltern mit integriertem Trockenmittel.
- Während lange, schmale Formate (mit einer kurzen Kante < 65 cm) das höchste Glasbruchrisiko unter Klimalast aufweisen, ergeben sich die höchsten Randlasten bei quadratischen Formaten (mit Kantenlängen von 40–60 cm).

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollten zusammen mit denen des Projektes „DuraSeal“ (TU Darmstadt, 2015) betrachtet werden. Während es in diesem Projekt auch ganz wesentlich darum ging, einen Überblick über die in der Industrie von Hersteller zu Hersteller auftretenden Streuungen zu gewinnen, wurden im Projekt DuraSeal die Produktionseinflüsse minimiert, indem alle Probekörper in einem Werk hergestellt wurden. Stattdessen wurden neben SZR und Scheibendicke auch Faktoren wie Abstandhalterttyp, Butylauftrag, Dichtstoff, Rückenüberdeckung etc. gezielt variiert in der Absicht, funktionelle Zusammenhänge zwischen den Faktoren und der resultierenden Dauerhaftigkeit zu ermitteln. Wenn die gewonnenen Erkenntnisse vielleicht auch nicht unmittelbar auf andere Systeme übertragbar sind, so lassen sich wahrscheinlich doch einige Hinweise zur Verbesserung von Herstellungsprozessen ableiten.

Des Weiteren sollten mehr Dreifach-Wärmedämmgläser im Rahmen der externen Güteüberwachung (RAL) Dauerhaftigkeitsprüfungen gemäß EN 1279 unterzogen werden (anstatt des von der Norm vorgeschriebenen Zweifach-Glases), um langfristig eine breitere Datenbasis für Dreifach-Wärmedämmglas zu schaffen und damit zur Verbesserung der Prozesssicherheit beizutragen.

Zwei weitere Themenbereiche könnten für eine Fortführung der Arbeit erwogen werden:

- Der Einfluss der Randlast auf die Gasverlustrate (EN 1279-3) in Dreifach-Wärmedämmglas: Der Gasgehalt im Scheibenzwischenraum und die Gasverlustrate haben einen wesentlichen Einfluss auf die Wärmedämmung eines MIG und die Geschwindigkeit, mit der sich die Wärmedämmung im Laufe der Nutzungsdauer vermindert. Untersuchungen gemäß EN 1279-3 sind allerdings sehr zeit- und kostenaufwändig.
- Der Einfluss der Randlast auf die Dauerhaftigkeit von Dreifach-Wärmedämmglas mit flexiblen Abstandhaltern und integriertem Trockenmittel: Diese Systeme nehmen einen zunehmenden Anteil des Marktes in Anspruch. Der Aufwand zur Bestimmung der Feuchtigkeitsaufnahme (über Karl-Fischer-Titration) ist wesentlich größer als bei Hohlprofilssystemen mit schüttbaren Trockenmitteln (etwa Faktor 8). Die Anzahl der Probestkörper müsste wahrscheinlich reduziert werden im Vergleich zu diesem Projekt. Der Aufwand zur Bestimmung der Gasverlustrate wäre der Gleiche wie für Systeme mit schüttbaren Trockenmitteln.

4 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-156 / SWD-10.08.18.7-13.35).

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.-Ing. Peter Hof	MPA-IfW, Darmstadt
Herr Dr. Rüdiger Reichardt	Fenzi Belgium nv/sa, Vilvoorde, Belgien
Herr Dr. Michael Brüggemann	Forschungsinitiative Zukunft Bau

Besonderer Dank gebührt auch dem Bundesverband Flachglas e.V., der das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützte,



Bundesverband Flachglas e.V.,

sowie den folgenden Mitgliedern des Bundesverbandes, die die Probekörper unentgeltlich zur Verfügung stellten:

Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG, Remshalden
 Energy Glas GmbH, Wolfhagen
 Glaskontor GmbH, Bamberg
 Interpane Glas Industrie AG, Lauenförde
 Glas Leuchtle GmbH, Dillingen/Saar
 Glas Müller Vetri AG, Bozen, Italien
 Glas Natter GmbH, Regensburg
 Petschenig glastec GmbH, Leopoldsdorf, Österreich
 Risse Glas GmbH, Rüthen
 Rosenheimer Flachglashandel, Flintsbach
 Glas Schneider GmbH & Co. KG, Hachenburg
 Glas-Schöninger GmbH & Co. KG, Weiden in der Oberpfalz
 Sencoglas Holding GmbH, Westerstede – Standort Bramsche

Semcoglas Holding GmbH, Westerstede – Standort Wassenberg
Teutemacher Glas GmbH, Warendorf
Thermamet Isolierglas GmbH, Rietberg
Glas Trösch GmbH, Memmingen
Flachglas Uhsmannsdorf GmbH, Rothenburg/Oberlausitz
Hunsrücker Glasveredelung Wagner GmbH & Co. KG, Kirchberg (Hunsrück)

Hinweis: Die Auflistung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge. Die im Bericht verwendeten Hersteller-Nummern wurden nach dem Zufallsprinzip vergeben.



ift Rosenheim
Theodor-Gietl-Straße 7-9
83026 Rosenheim

Tel.: +49 (0) 80 31 / 261-0
Fax: +49 (0) 80 31 / 261-290
E-Mail: info@ift-rosenheim.de
www.ift-rosenheim.de

© ift Rosenheim 2015