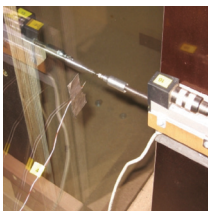
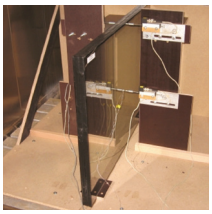
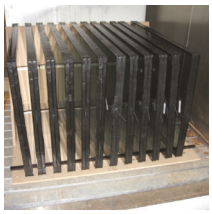
FB

ift-FORSCHUNGSBERICHT
Kurzbericht
Juli 2015

Untersuchungen zur Umsetzbarkeit von druckentspanntem Isolierglas



© ift Rosenheim

Kurzbericht

Thema	**Untersuchungen zur Umsetzbarkeit von druckentspanntem Isolierglas**
Kurztitel	Druckentspanntes MIG
Gefördert durch	Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-12.12)
Forschungsstelle	ift gemeinnützige Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH Theodor-Gietl-Straße 7–9 83026 Rosenheim
Bearbeiter	Dr. Ansgar Rose
Projektleiter	Norbert Sack
Institutsleitung	Prof. Ulrich Sieberath

Rosenheim, Juli 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation und Projektziel 1

2 Vorgehensweise 3

2.1 Rechenmodell zur dauerhaften Druckentspannung 3

2.2 Experimentelle Untersuchungen zur dauerhaften Druckentspannung 4

2.3 Untersuchungen zur einmaligen Druckanpassung 5

3 Ergebnisse 7

4 Danksagung 9

1 Motivation und Projektziel

Konventionelles Mehrscheiben-Isolierglas besteht aus mehreren planparallelen Glasscheiben, die über ein Randverbundsystem miteinander verbunden sind. Die entstehenden Scheibenzwischenräume (SZR) sind hermetisch abgeschlossen. Dies ist notwendig, um die Luftfeuchtigkeit in den SZR so gering wie möglich halten zu können und somit die Entstehung von Tauwasser sowie die Korrosion der aufgedampften metallischen low-e-Beschichtungen zu verhindern. Außerdem soll ein Entweichen des Füllgases vermieden werden.

Dieses Konstruktionsprinzip hat auch Nachteile: Es verhindert einen Druckausgleich zwischen dem SZR und der umgebenden Atmosphäre. Ändern sich der Luftdruck oder die Temperatur im SZR, so entsteht ein Druckunterschied zwischen dem SZR und der Atmosphäre. Die Glasscheiben bauchen sich ein oder aus und werden dabei Biegespannungen ausgesetzt. Der Randverbund wird auf Druck oder Zug belastet. Neben den mechanischen Belastungen kann ein Einbauchen der Scheiben auch dazu führen, dass im SZR eingebrachte bewegliche Systeme, wie z.B. Sonnenschutzsysteme, eingeklemmt und beschädigt werden.

Je größer der Scheibenzwischenraum, desto größer wird die Belastung auf Glas und Randverbund, wenn sich der Luftdruck oder die Temperatur im SZR ändern. Damit ist die Bautiefe von konventionellem Mehrscheiben-Isolierglas konstruktionsbedingt beschränkt. Würde ein Druckausgleich zwischen dem Scheibenzwischenraum und der Umgebung ermöglicht, so wären diese Beschränkungen aufgehoben. Folgende Vorteile könnten erzielt werden:

- Leichtere und vielfältigere Integration von Bauteilen jeglicher Art in den SZR (z.B. Sonnenschutzsysteme)
- Realisierung von Isolierglas mit mehr als drei Scheiben ohne wesentliche Beschränkung der Scheibenabstände
- Größere Bautiefe und somit Verringerung der geometrischen Wärmebrücke am Baukörperanschluss
- Reduzierung des Wärmedurchgangskoeffizienten im Vergleich zu konventionellem Zwei- und Dreifachglas
- Verbesserung der Luftschalldämmung (diese steigt mit zunehmendem SZR)
- Mögliche Reduzierung der Glasdicken, da verminderte Klimalasten auf die Scheiben einwirken

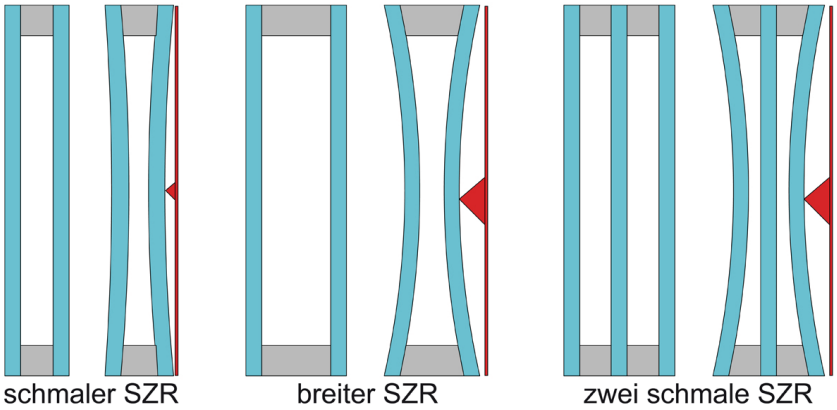


Abbildung 1 Verhalten von Isolierglas bei Klimalast
Ein größerer effektiver SZR führt zu größeren Durchbiegungen und höheren Spannungen

Eine Untergruppe der druckentspannten Systeme sind Isoliergläser, bei denen nur eine einmalige Druckanpassung auf die Ortshöhe des Einbauortes vorgenommen werden muss. Dies ist notwendig bei konventionellen MIG, wenn der Höhenunterschied zwischen Herstellungs- und Einbauort bestimmte, von Aufbau und Format des Isolierglases abhängige Grenzwerte überschreitet. Die Druckanpassung kann bereits durch entsprechende Gasbefüllung bei der Herstellung erfolgen oder durch ein kurzzeitiges Öffnen der Scheibenzwischenräume am Einbauort. In beiden Fällen werden die Scheibenzwischenräume anschließend hermetisch verschlossen. Diese Isoliergläser fallen in den Anwendungsbereich der Produktnorm EN 1279, insbesondere müssen sie auch alle Anforderungen an die Dauerhaftigkeit erfüllen. Eine Argonfüllung ist möglich und üblich bei einmalig druckangepassten Systemen.

Dieses Forschungsvorhaben hatte das Ziel, zu untersuchen, ob und durch welche technischen Maßnahmen permanent druckentspanntes sowie (einmalig) druckangepasstes Isolierglas für eine breite Anwendung im Bauwesen umgesetzt werden können. Neben der eigentlichen technischen Umsetzbarkeit der Druckentspannung bzw. -anpassung unter üblichen Fertigungs-, Einbau- und Nutzungsbedingungen standen immer auch Fragen zur Dauerhaftigkeit der Isoliergläser im Vordergrund. Bei den permanent geöffneten Systemen war die Feuchtigkeitsaufnahme kritisch zu betrachten, bei den einmalig druckangepassten Systemen im Wesentlichen die Gasdichtheit.

© ift Rosenheim 2015 | Forschungsbericht „Druckentspanntes MIG“

2 Vorgehensweise

Die meisten Fragestellungen wurden experimentell angegangen. Das betrifft die eigentliche technische Umsetzung der Druckentspannung bzw. -anpassung sowie die Prüfung der Dauerhaftigkeit solcher Systeme. Zur Vorbereitung und Auswertung der Experimente war es aber auch notwendig, umfangreiche numerische Simulationsrechnungen anzustellen.

Folgende Aufgaben wurden im Verlauf des Forschungsvorhabens bearbeitet:

Dauerhafte Druckentspannung über Kapillare

- Erstellung eines Rechenmodells zur Simulation der dauerhaften Druckentspannung eines MIG über eine Kapillare, um den Grad der Druckentspannung und die Feuchteaufnahme abschätzen zu können und geeignete Kapillardimensionen zu ermitteln
- Experimentelle Prüfung der Druckentspannung und Feuchteaufnahme an MIG-Probekörpern in einer Klimakammer
- Experimentelle Prüfung der Feuchteaufnahme an druckentspannten MIG-Probekörpern in einer Freibewitterung

Einmalige Druckanpassung über Kapillare

- Erstellung eines Rechenmodells zur Simulation der einmaligen Druckanpassung eines MIG über eine Kapillare
- Experimentelle Prüfung der Verarbeitbarkeit von Kapillaren verschiedenen Typs (Material, Dimensionen)
- Experimentelle Prüfung der eigentlichen Druckanpassung
- Experimentelle Prüfung der Dauerhaftigkeit von druckangepassten MIG mit Kapillaren verschiedenen Typs

2.1 Rechenmodell zur dauerhaften Druckentspannung

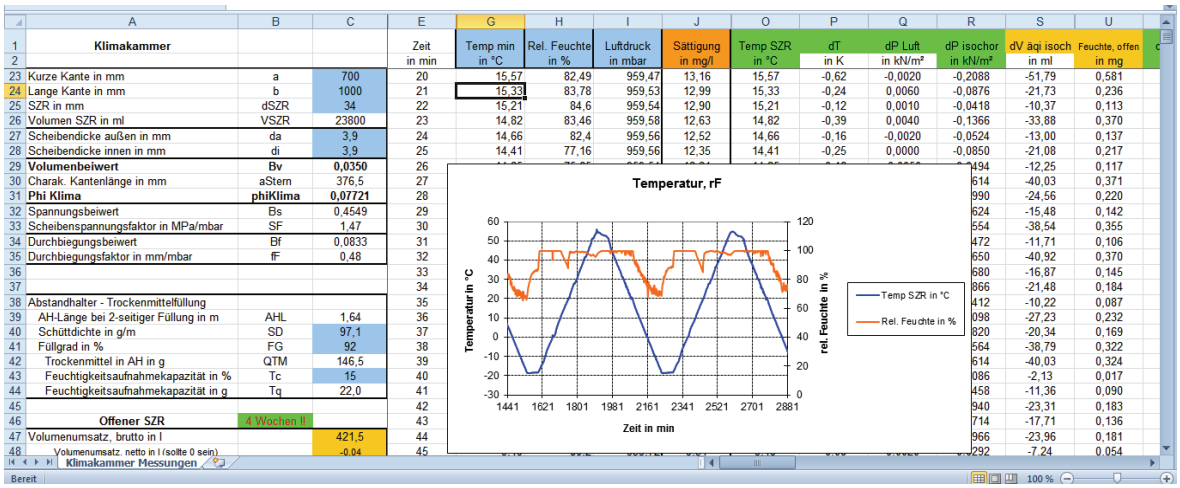
Der Zweck des Rechenmodells ist es, das Verhalten eines dauerhaft druckentspannten MIG hinsichtlich des Grades der Druckentspannung und hinsichtlich der Feuchteaufnahme zu simulieren.

Das MIG, genauer gesagt ein Zweischeiben-Isolierglas, ist in dem Modell spezifiziert über sein Format und seinen Aufbau, d.h. Länge, Breite, Scheibendicken und Scheibenabstand. Zwei Arten von Bauelementen zur Druckentspannung werden rechnerisch abgebildet, Kapillare und Ventile. Eine Kapillare wird in dem Modell durch den Innendurchmesser und die Länge charakterisiert. Ventile sind durch ihren Einlass- bzw. Auslassdifferenzdruck ausreichend bestimmt.

Diffusionsvorgänge durch den Randverbund oder in einer Kapillare werden in dem Modell nicht nachgebildet.

Die Simulation ist umgesetzt als Tabellenkalkulation.

Reale klimatische Messdaten wie Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchtigkeit können in das Modell (die Tabelle) hineinkopiert werden. Die Daten müssen periodisch sein; das Zeitintervall ist innerhalb gewisser Grenzen frei wählbar, z.B. 1 min, 10 min oder 1 h. Zwei verschiedene Temperaturen werden berücksichtigt: die Temperatur im SZR und die Temperatur in der Umgebung des MIG.



	A	B	C	E	G	H	I	J	O	P	Q	R	S	U
1	**Klimakammer**			Zeit	Temp min	Rel. Feuchte	Luftdruck	Sättigung	Temp SZR	dT	dP Luft	dP isochor	dV äqi isoch	Feuchte, offen
2				in min	in °C	in %	in mbar	in mg/l	in °C	in K	in kN/m²	in kN/m²	in ml	in mg
23	Kurze Kante in mm	a	700	20	15,57	82,49	959,47	13,16	15,57	-0,62	-0,0020	-0,2088	-51,79	0,581
24	Lange Kante in mm	b	1000	21	15,33	83,78	959,53	12,99	15,33	-0,24	0,0060	-0,0876	-21,73	0,236
25	SZR in mm	dSZR	34	22	15,21	84,6	959,54	12,90	15,21	-0,12	0,0010	-0,0418	-10,37	0,113
26	Volumen SZR in ml	VSZR	23800	23	14,82	83,46	959,58	12,63	14,82	-0,39	0,0040	-0,1366	-33,88	0,370
27	Scheibendicke außen in mm	da	3,9	24	14,66	82,4	959,56	12,52	14,66	-0,16	-0,0020	-0,0524	-13,00	0,137
28	Scheibendicke innen in mm	di	3,9	25	14,41	77,16	959,56	12,35	14,41	-0,25	0,0000	-0,0850	-21,08	0,217
29	**Volumenbeiwert**	**Bv**	**0,0350**	26									-12,25	0,117
30	Charak. Kantenlänge in mm	aStern	376,5	27									-40,03	0,371
31	**Phi Klima**	**phiKlima**	**0,07721**	28									-24,56	0,220
32	Spannungsbeiwert	Bs	0,4549	29									-15,48	0,142
33	Scheibenspannungsfaktor in MPa/mbar	SF	1,47	30									-38,54	0,355
34	Durchbiegungsbeiwert	Bf	0,0833	31									-11,71	0,106
35	Durchbiegungsfaktor in mm/mbar	fF	0,48	32									-40,92	0,370
36				33									-16,87	0,145
37				34									-21,48	0,184
38	Abstandhalter - Trockenmittelfüllung			35									-10,22	0,087
39	AH-Länge bei 2-seitiger Füllung in m	AHL	1,64	36									-27,23	0,232
40	Schüttdichte in g/m	SD	97,1	37									-20,34	0,169
41	Füllgrad in %	FG	92	38									-38,79	0,322
42	Trockenmittel in AH in g	QTM	146,5	39									-40,03	0,324
43	Feuchtigkeitsaufnahmekapazität in %	Tc	15	40									-2,13	0,017
44	Feuchtigkeitsaufnahmekapazität in g	Tq	22,0	41									-11,36	0,090
45				42									-23,31	0,183
46	**Offener SZR**	4 Wochen fl		43									-17,71	0,136
47	Volumenumsatz, brutto in l		421,5	44									-23,96	0,181
48	Volumenumsatz, netto in l (sollte 0 sein)		-0,04	45									-7,24	0,054

Abbildung 2: Ausschnitt aus Rechenmodell

2.2 Experimentelle Untersuchungen zur dauerhaften Druckentspannung

Zweck der experimentellen Untersuchungen war es, das Rechenmodell auf seine Gültigkeit zu prüfen und die Funktionsfähigkeit von Kapillaren zur dauerhaften Druckentspannung in baupraxisnahen Tests zu demonstrieren. Es sollte eine baupraktisch akzeptable Balance zwischen Druckentspannung und Dauerhaftigkeit angestrebt werden.

Die experimentellen Untersuchungen an MIG-Probekörpern mussten im Wesentlichen zwei Größen betrachten: Scheibendurchbiegung und Feuchteaufnahme. Die Scheibendurchbiegung ist eine Kenngröße für die mechanische Belastung des MIG, und zwar nicht nur die mechanische Belastung der Glasscheiben, sondern (indirekt) auch die mechanische Belastung des Randverbundes. Die Feuchteaufnahme ist eine Kenngröße für die Dauerhaftigkeit des MIG.

Zwei Arten von Tests kamen in Frage: Freibewitterung und Untersuchungen in einer Klimakammer. Eine Freibewitterung ist letztendlich die überzeugendste Demonstration der Funktionsfähigkeit eines Konzeptes bzw. der technischen Umsetzung eines solchen, aber

© ift Rosenheim 2015 | Forschungsbericht „Druckentspanntes MIG“

Freibewitterungen dauern i.d.R. sehr lange, und es gibt häufig Einschränkungen hinsichtlich der messtechnischen Erfassung wichtiger Parameter. Letzteres war auch hier der Fall. Es stellte sich heraus, dass es im Rahmen des Untersuchungsprogrammes schwierig sein würde, die Scheibendurchbiegung an freibewitterten Probekörpern über einen repräsentativen Zeitraum zu erfassen. Deshalb wurde beschlossen, Durchbiegungsmessungen ausschließlich in einer Klimakammer durchzuführen. Bestimmungen der Feuchteaufnahme erfolgten dagegen sowohl nach einer längeren Freibewitterung als auch nach einer mehrwöchigen Klimakammerbelastung.

a.) b.)

Abbildung 3 a.) MIG-Probekörper mit Wegaufnehmern in der Klimakammer
b.) MIG-Probekörper in der Freibewitterung

2.3 Untersuchungen zur einmaligen Druckanpassung

Für die Hersteller von MIG ist eine Methode der Druckanpassung wünschenswert, die mit einfachen Mitteln baustellengerecht am Einbauort ausgeführt werden kann. In den Randverbund zu integrierende Bauteile sollten den Produktionsablauf nicht wesentlich stören. Am Einbauort des Fensters müssen solche Bauteile leicht zugänglich sein. Das visuelle Erscheinungsbild des Fensters darf nicht beeinträchtigt werden. Die Anforderungen der Produktnorm EN 1279 müssen erfüllt werden.

Da im Glasfalz nur ein sehr begrenzter Raum, etwa für die Anwendung von Werkzeugen, zur Verfügung steht, wird grundsätzlich eine Umsetzung der Druckanpassung, die einen „direkten“ Zugang zum Randverbund des MIG erfordert als nicht wünschenswert gesehen. Ideal wäre ein dünner Schlauch oder eine Kapillare, der/die aus dem SZR herausragt, so dass durch Aufschneiden und Wiederverschließen eine Druckanpassung am Einbauort möglich wäre.

Folgende Fragestellungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens adressiert:

- Ab welcher Ortshöhendifferenz zwischen Herstell- und Einbauort ist eine Druckanpassung notwendig?

- Wie lange muss der Scheibenzwischenraum geöffnet sein, um einen Druckausgleich durch Aus- oder Einströmen des Gases zu erlangen?
- Lässt sich der Einbau von Metallkapillaren und Kunststoffschläuchen in den Herstellungsprozess von Isolierglas integrieren, und ist die Handhabung dieser Druckanpassungssysteme baustellengerecht?
- Ist die Dauerhaftigkeit gemäß EN 1279 nach dem Öffnen und Wiederverschließen des SZR gewährleistet?

a.) b.) c.)

Abbildung 4 a.) Kapillare im Abstandhalter
b.) Kapillare ragt aus der Versiegelung heraus
c.) Durch Verquetschen verschlossene Kupferkapillare

© ift Rosenheim 2015 | Forschungsbericht „Druckentspanntes MIG“

3 Ergebnisse

Dauerhafte Druckentspannung über Kapillare

Kapillare sind geeignet, eine dauerhafte Druckentspannung von Mehrscheibenisoliergläsern zu bewirken. Gleichzeitig begrenzen Kapillare die Feuchteaufnahme eines MIG erheblich, so dass akzeptable Nutzungsdauern (> 20 Jahre) realistisch erscheinen. Sowohl die Klimakammeruntersuchungen als auch die Freibewitterungen bestätigen die Vorhersagen des Rechenmodells, das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelt wurde.

Die Kapillardimensionen (Innendurchmesser, Länge) müssen an das Format und den Aufbau des MIG angepasst gewählt werden, um ein ausgewogenes Verhältnis von Druckentspannung und Feuchteaufnahme zu erzielen. Das Rechenmodell kann für eine solche Bemessung der Kapillare herangezogen werden.

Durch entsprechende Bemessung der Kapillare ist es möglich, den Koppeleffekt, d.h. die mittragende Wirkung der inneren Scheibe bei Windlasten, in einem MIG zu erhalten bei gleichzeitig sehr hoher Druckentspannung und ausreichender Dauerhaftigkeit.

Das Kapillarmaterial (Edelstahl oder FEP-Kunststoff) hat keinen Einfluss auf die Feuchteaufnahme.

Ein wichtiger nächster Schritt auf dem Weg zur Entwicklung von druckentspannten Produkten wäre die Berechnung und Prüfung von großformatigen Probekörpern mit großem SZR (ca. 100 mm) und Einbauten (z.B. Sonnenschutz), die die Temperatur im SZR durch Absorption von Solarstrahlung zusätzlich erhöhen. Zunächst müssten die Kapillare und die benötigte Trockenmittelmenge mithilfe von Simulationsrechnungen bemessen werden, dann könnten entsprechende Probekörper gebaut werden und klimatischen Belastungen in der Klimakammer und der Freibewitterung ausgesetzt werden.

Weitere Fragestellungen für eine Fortführung des Themas sind:

- Wie groß ist der Beitrag der Feuchtediffusion durch den Randverbund zur Gesamtfeuchteaufnahme eines druckentspannten MIG?
- Sollte die Luft von außen oder vom Innenraum in den SZR eingesogen werden, um den langfristigen Feuchteeintrag so gering wie möglich zu halten?

Einmalige Druckanpassung über Kapillare

Eine einmalige Druckanpassung über eine Kapillare ist prinzipiell möglich. Idealerweise erfolgt die Druckanpassung bereits während der Auf- bzw. Abfahrt auf/von einem Berg. Es ergeben sich jedoch Einschränkungen, die in erster Linie aus der technischen Umsetzbarkeit resultieren. Die automatisierte Fertigung (insbesondere Versiegelung) wird u.U. durch eine Metallkapillare im Randverbund behindert oder sogar unmöglich gemacht. Das

gasdichte Verschließen von Metallkapillaren hat sich als schwierig erwiesen. Die Kapillare muss grundsätzlich als potenzielle Fehlstelle im Randverbund betrachtet werden. Der Durchbruch durch den Abstandhalterrücken und die Grenzflächen zum Dichtstoff können einen Pfad für entweichendes Gas und eindringende Feuchtigkeit bilden. Die Anforderungen an die Fertigungsqualität müssen bei einem MIG mit Metallkapillare noch höher angesetzt werden als bei einem konventionellen MIG. Kunststoffkapillare scheiden als Alternative aus. Sie lassen sich zwar gut verarbeiten, aber Kunststoffe sind nicht gasdicht. MIG mit Kunststoffkapillare können daher die Anforderungen der Norm EN 1279-3 nicht erfüllen.

Die Verarbeitbarkeit von Kapillaren schränkt den Bereich geeigneter Kapillarinnendurchmesser und Wandstärken erheblich ein. Das wiederum wirkt sich auf den Bereich der Scheibenformate und -aufbauten aus, für die grundsätzlich eine Druckanpassung über Kapillare in Frage kommt oder sinnvoll erscheint: Für kleine (350 mm x 500 mm) bis mittlere (700 mm x 1000 mm) Scheibenformate ist ein Druckausgleich über Kapillare möglich, erbringt eine erhebliche Reduzierung der mechanischen Scheibenbelastung und dauert nur Minuten. Bei großen Scheibenformaten (1000 mm x 2000 mm) ist die mechanische Scheibenbelastung wesentlich geringer, aber die Druckanpassung dauert sehr lange, bis zu mehreren Stunden.

Es gibt mehrere Ansatzpunkte für weitere Untersuchungen, u.a.:

- Analyse, wodurch die festgestellten Undichtheiten bei Metallkapillaren im Wesentlichen bedingt sind
- Andere Kapillartypen, insbesondere Materialien, z.B. Ni oder Al
- Verbesserung der Arbeitstechniken beim Einbau einer Kapillare in den Randverbund
- Die Verwendung von Kapillaren mit größerem Innendurchmesser sollte angestrebt werden, um strömungstechnische Beschränkungen (Zeit bis zur Druckanpassung) auf kleine und mittlere Formate aufzuheben.
- Andere Methoden zur Druckanpassung, wie etwa Ventile, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht wurden, weil sie als weniger aussichtsreich und vergleichsweise teuer eingeschätzt wurden.

© ift Rosenheim 2015 | Forschungsbericht „Druckentspanntes MIG“

4 Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumordnung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-12.12).

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:

Prof. Dr. Franz Feldmeier	Hochschule Rosenheim
Dr. Roland Rossi	Glas Facade Engineering (GFE)
Prof. Dr. Armin Schwab	Ingenieur- u. Sachverständigenbüro Schwab
Dr. Michael Brüggemann	Forschungsinitiative Zukunft Bau

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

SANCO®

SANCO Isolierglasgruppe
vertreten durch:
Sanco Beratung Glas Trösch GmbH, Nördlingen
Glas Müller Vetri, Bozen

Fenster, Türen und Glasanbauten
FINSTRAL®

Finstral AG, Unterinn

Wir bedanken uns auch bei der Fa. RAICO Bautechnik GmbH, Pfaffenhausen, für die unentgeltliche Bereitstellung einer Fassadenaufsatzkonstruktion vom Typ THERM+, H-V Standard. Ferner hat uns die Fa. FEINROHREN SPA, Passirano (Brescia), Kupferkapillare kostenlos zur Verfügung gestellt.

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