

Sondierungsprojekt VIG-SYS-RENO

ANHANG 1

Literatur-, Markt und Hintergrundrecherche für innovative Verglasungslösungen mit Fokus auf Vakuumverglasungen (VG) und aller für das Projekt relevanten Themenbereiche

Verfasser: Dr. Helmut HOHENSTEIN
DI Ernst HEIDUK

Vorwort

Die globale und speziell die europäischen Flachglasindustrie leidet derzeit stark unter Überkapazitäten da in den Jahren des Baubooms vor 2008 zu viele Kapazitäten aufgebaut wurden. Ein Flachglaswerk (Floatglas-Erzeugung) ist eine sehr teure Investition und es läuft prozessbedingt ab dem Start mindestens 15 Jahre kontinuierlich ohne dass die Produktionsmenge relevant verändert werden kann. Da seit 2008 die Bautätigkeit in Europa noch immer deutlich geringer ist kann die dynamische Entwicklung hin zu Dreifach-Wärmeschutzglas dies nur teilweise kompensieren.

Technische Weiterentwicklungen die die benötigte Glasmenge reduzieren würde werden daher höchstwahrscheinlich nicht von der traditionellen Glasindustrie kommen und kommen können. Es sei denn man kann zusätzliche Märkte erschließen.

Gerade Vakuumglas das ja aus zwei Scheiben vorgespanntem Flachglas besteht und trotzdem sehr dünn ist kann beim Austausch von Einfachglas völlig neue Märkte erschließen die für Isolierglas nicht erreichbar sind. Das sind in Mittel- und Nordeuropa einerseits das relativ kleine Segmente alter und sehr oft historisch-architektonisch wertvoller Fensterkonstruktionen denen sich dieses Forschungsprojekt vorrangig widmet und der Austausch von alten Verglasungen bis Anfang der 80er Jahre im Bestand.

Das viel größere Potenzial besteht aber in den Weltregionen in denen es Heiz- und Kühlbedarf für ein komfortables Innenraumklima gibt und die trotzdem bislang nur Einfachverglasungen haben. Das lässt auf eine dynamische Weiterentwicklung hoffen die dann allen Segmenten und Regionen zu Gute kommt.

Schlüsselwörter: Neue Glastechnologie, Wärmeschutzglas, Vakuumglas,

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation / Einleitung	7
2	Der aktuelle Status bei Wärmeschutzglas	10
2.1	Überblick über die derzeit besten Wärmeschutzgläser	10
2.1.1	Qualitäten und Tendenzen der Wärmeschutzgläser	10
2.1.2	Die aktuelle Marktsituation der Wärmeschutzgläser	13
2.2	Derzeit verfügbare leichtere und dünnere Wärmeschutzgläser	14
2.2.1	Dünnere Floatglasscheiben - SGIC CLIMATOP	14
2.2.2	Ersatz der mittleren Glasscheibe durch Folie – System HEAT MIRROR®	15
3	Neue technische Entwicklungen bei Wärmeschutzglas	17
3.1	Mehrfach-Folien-Isolierglas	17
3.2	Mehrfach-Isolierglas mit Dünnglas	21
4	Umfeld, Entwicklungen, Verfügbarkeit und Anwendungspotenzial von Vakuumglas	24
4.1	Die historische Entwicklung von Vakuumglas	24
4.1.1	Forschung und Patente zu Vakuumglas	24
4.1.2	Erste Umsetzung des Vakkumglas-Konzepts in der Industrie	27
4.1.3	Erste Anwendungen des Vakuumglases Pilkington Spacia	29
4.2	Die technischen Grundlagen und Charakteristika von Vakuumglas	33
4.2.1	Die Komponenten und der Produktionsprozess von VG	33
4.2.2	Die Wärmetransportvorgänge im VG und der Einfluss der Komponenten	35
4.2.3	Ein Ergebnis thermischer Stresstests von VG	43
4.2.4	Die Vor- und Nachteile von VG	44
4.3	Die aktuellen Anbieter für Vakuumglas	45
4.3.1	Das Vakuumglas der Fa. NIPPON SHEET GLASS (NSG) Pilkington Spacia /Japan	45
4.3.2	Das Vakuumglas der Fa. GLASS EAGON INDUSTRIAL Co. Seoul / Südkorea	48
4.3.3	Das Vakuumglas der Fa. QINGDAO HENGDA GLASS TECHNOLOGY Co. Ltd, China	50
4.3.4	Das Vakuumglas der Fa. BEIJING SYNERGY VACUUM GLAZING TECHNOLOGY Co., Ltd Peking / China	52
4.4	Das Anwendungspotenzial und der Markt für Vakuumglas	55
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	59
6	Tabellenverzeichnis	60
7	Abbildungsverzeichnis	60

1 Ausgangssituation / Einleitung

Für das weltweite wichtige gesellschaftliche Ziel den

Energie- und Ressourcenverbrauch im Gebäudebereich deutlich zu reduzieren,
die lebenszyklusorientierte Wirtschaftlichkeit zu optimieren und
den Nutzungskomfort zu steigern

sind in allen Bereichen der Planung, des Bauens und der Baukomponentenentwicklung weitere Verbesserungen anzustreben und notwendig.

Österreich ist hier international einer der Vorreiter und der sehr gute nationale Plan der Bauvorschriften wird in wenigen Jahren im Neubaubereich aus heute noch ambitionierten Projekten den Normalfall machen. Das ist für alle Bautätigen eine schöne aber auch fordernde Herausforderung.

Die Entwicklung bei den Fenstern, bei Glas und speziell der Wärmeschutzverglasungen war in den letzten 30 Jahren eine sehr positive und dynamische. Gute Dreifach-Gläser sind in Mittel- und Nordeuropa inzwischen mit einem Marktanteil von mehr als 60% Standard in Produktion und Anwendung

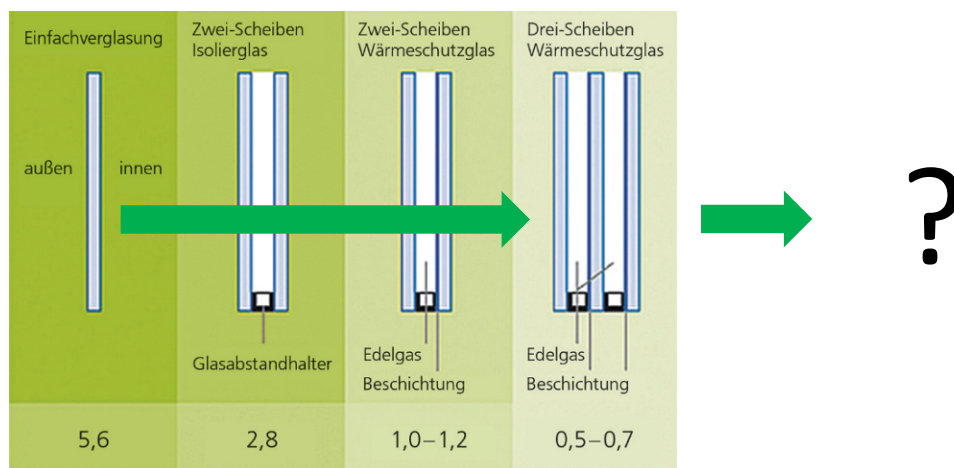


Abbildung 1: Entwicklung des Wärmeschutzglases

Wohin kann, wohin wird die technische Entwicklung weitergehen?

Für eine sehr wünschenswerte Weiterentwicklung der thermischen Kennwerte und der Wärmeschutzverglasungen werden zwei Punkte allgemein verlangt.

Sie dürfen nicht schwerer werden, sollten eher wieder leichter werden und sie sollten nicht dicker werden.

Die Schraubchen an denen noch weiter gedreht werden könnte, sind natürlich nach wie vor die gleichen bekannten bauphysikalischen Energie- oder Wärmetransportvorgänge

Wärmeleitung in den Materialien,
die Wärmestrahlung und
die Wärme mitführende Gaskonvektion.

Die revolutionäre Entwicklung der Low-E-Beschichtungen hat es ermöglicht den Wärmestrahlungsanteil im Isolierglas sehr stark zu reduzieren. Diese Beschichtungen sind heute Standard, es sind hier aber noch weitere Verbesserungen möglich.

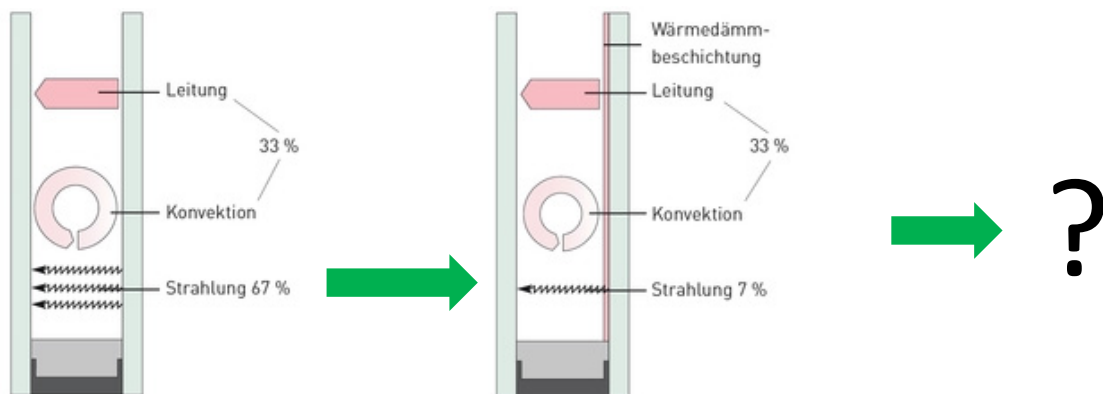


Abbildung 2: Entwicklung der Low-E-Beschichtung

Nach der Entwicklung der „Warm-edge“ Abstandhalter die die Wärmeleitung im Randverbund deutlich reduzieren konnten verbleibt als stärkster Wärmetransportweg die Konvektion. Diese wird durch die schweren Edelgas-füllungen mit Argon und Krypton reduziert. Krypton ermöglicht schmalere Scheibenzwischenräume. Auf Krypton sollte aber eher verzichtet werden. Es ist sehr selten, teuer und hat eine sehr schlechte Ökobilanz weil die Gewinnung sehr viel Energie benötigt.

Die organischen Komponenten des Randverbunds können den Gasaustausch nicht völlig unterbinden und vor allem Wasserdampf wandert nach innen. Das wird durch die im Randverbund integrierten Trocknungsmittel aufgefangen. Das begrenzte Reservoir dafür reduziert die wirksame Lebensdauer der Isoliergläser auf nach derzeitigem Wissensstand auf ca. 25 Jahre.

Mit Zweifach-Isolierglas ist ein Wärmedurchgangskoeffizient von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht wirklich unterschreitbar. Deshalb war die Dreischeiben-Isolierverglasung der nächste richtige und konsequente Schritt.

Die Konvektion und damit der Wärmetransport durch das Isolierglas verstärken sich bei jeder Abweichung von der Senkrechten durch kürzere Zirkulationswalzen.

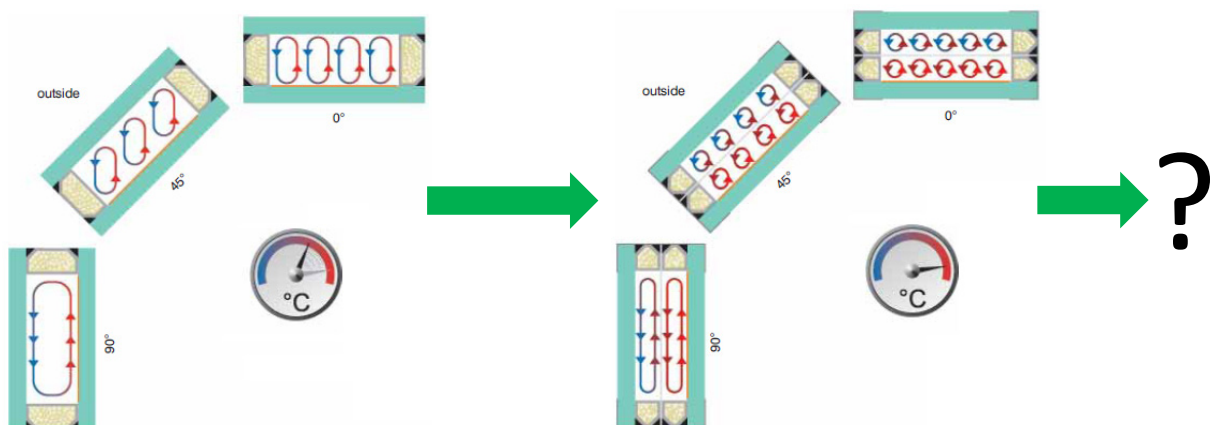


Abbildung 3: Einfluss der Neigung auf die Konvektion

Dieser Effekt kann durch einen oder mehrere zusätzliche Scheibenzwischenräume gemeinsam mit zusätzlichen Low-E-Schichten reduziert aber nicht verhindert werden.

Bei zwei oder mehr Scheibenzwischenräumen verstärken sich bei Temperaturschwankungen die auf den Randverbund einwirkenden Pumpbewegungen.

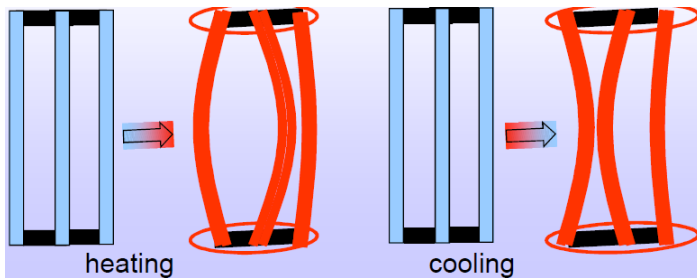


Abbildung 4: Pumpbewegungen bei Dreifach-Isolierglas

Jede Erwärmung oder Abkühlung des Isolierglaselements verändert den Innendruck der Scheibenzwischenräume. Bei mehreren Scheibenzwischenräumen sind die Bewegungen der Außenscheiben stärker. Das beansprucht auch die elastischen Komponenten des Randverbunds (Silikon, Butyl) stärker und limitiert die Lebensdauer.

Für eine weitere Verbesserung des Wärmeschutzes gibt es nun zwei mögliche Strategien:

- Zusätzliche gasgefüllte Scheibenzwischenräume (mit reduziertem Gewicht) oder die Entfernung der Luft / des Gases aus dem Scheibenzwischenraum (= Hoch-Vakuum).

2 Der aktuelle Status bei Wärmeschutzglas

2.1 Überblick über die derzeit besten Wärmeschutzgläser

2.1.1 Qualitäten und Tendenzen der Wärmeschutzgläser

Einen sehr guten Überblick über die derzeit erhältlichen Wärmeschutzgläser, deren technische Kennwerte und die besten derzeit erreichbaren Qualitäten bietet die Komponentendatenbank des Passivhausinstituts Darmstadt. Diese Datenbank enthält derzeit 51 Dreifach-Verglasungen mit einem Ug-Wert von kleiner 0,8 W/m²K.

Das unabhängige Institut für höchste Energieeffizienz in Gebäuden

DEUTSCH ENGLISCH

Home | Passivhaus Institut | Passivhaus-Infos | Zertifizierung | PHPP | Publikationen & Tools | Fortbildung | Awards | Netzwerke | Presse

Sie befinden sich hier: Home > Zertifizierung > Komponenten > Komponentendatenbank

Google™ Benutzerdefinierte Suche Suchen x

Home | Komponentendatenbank | Verglasungen

Suche innerhalb der Kategorie: go

Erweiterte Suche (z.B. filtern nach Land)

Zertifiziert seit: Firmensitz/Land:


Produktname	Zert.	Hersteller	Gasfüllung	Dicke	Scheibenaufbau	g-Wert	U _g	T _{vis}
<input type="checkbox"/> iplus Advanced 1.0	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.42	0.44	0.64
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.51	0.49	0.72
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1T	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.53	0.49	0.73
<input type="checkbox"/> KlimaGuard Premium2	DE EN	Guardian Thalheim GmbH	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.53	0.49	0.74
<input type="checkbox"/> iplus 3 CE	DE EN	INTERPANE GLAS INDUSTRIE AG	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.50	0.49	0.72
<input type="checkbox"/> iplus Advanced 1.0	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	32	4/10/4/10/4	0.42	0.51	0.64
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	32	4/10/4/10/4	0.51	0.56	0.72
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1T	DE EN	AGC Glass Europe s. a.	<input type="checkbox"/> Kr 90%	32	4/10/4/10/4	0.53	0.56	0.73
<input type="checkbox"/> iplus 3 CE	DE EN	INTERPANE GLAS INDUSTRIE AG	<input type="checkbox"/> Kr 90%	32	4/10/4/10/4	0.50	0.56	0.72
<input type="checkbox"/> KlimaGuard nrG	DE EN	Guardian Thalheim GmbH	<input type="checkbox"/> Kr 90%	36	4/12/4/12/4	0.62	0.60	0.73

Abbildung 5: Verglasungen mit Krypton - Ausschnitt Komponentendatenbank
[\[http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE\]](http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE)

Zwölf davon haben als Füllgas Krypton. In der Optimierung von möglichst hohem g-Wert (>50%) und möglichst niedrigem Ug-Wert schneiden hier die Produkte KlimaGuard

Premium2 und iplus Top 1.1T am besten ab. Das Produkt „iplus Top 1.1T“ des Herstellers AGC Glass Europe (früher Glaverbel) mit dem Aufbau 4:/12/4/12/:4, also einer Gesamtstärke von 36 mm und zwei Low-E-Beschichtungen auf Position 2 und 5, erreicht bei einem g-Wert von 53 % einen U-Wert von 0,49 W/m²K. Das Produkt „ClimaGuard Premium2“ des Herstellers Guardian-Thalheim erreicht mit dem gleichen Aufbau ebenfalls bei einem g-Wert von 53 % einen U-Wert von 0,49 W/m²K. Lediglich bei der Lichttransmission hat es einen Prozentpunkt weniger. Durch die schlechte Ökobilanz von Krypton sind aber nur die Verglasungen mit dem Füllgas Argon relevant für die weiteren Betrachtungen.

Die Datenbank enthält 39 zertifizierte Dreifach-Isolierglas-Systeme mit Argonfüllung. In der Optimierung von möglichst hohem g-Wert (>50%) und möglichst niedrigem Ug-Wert schneidet hier wieder das Produkt ClimaGuard Premium2 am besten ab. Das Produkt „ClimaGuard Premium2“ des Herstellers Guardian-Thalheim erreicht mit dem Aufbau 4:/16/4/16/:4, also einer Gesamtstärke von 44 mm und zwei Low-E-Beschichtungen auf Position 2 und 5, bei einem g-Wert von 53 % einen U-Wert von 0,53 W/m²K. Mit dem Aufbau 4:/18/4/18/:4, also einer Gesamtstärke von 48 mm, bei einem g-Wert von 50 % erreicht das Produkt „SGG PLANITHERM ULTRA“ vom Hersteller Saint-Gobain Glass ebenfalls einen U-Wert von 0,53 W/m²K.


Das unabhängige Institut für höchste Energieeffizienz in Gebäuden
DEUTSCH
ENGLISCH

[Home](#) | [Passivhaus Institut](#) | [Passivhaus-Infos](#) | [Zertifizierung](#) | [PHPP](#) | [Publikationen & Tools](#) | [Fortbildung](#) | [Awards](#) | [Netzwerke](#) | [Presse](#)

Sie befinden sich hier: [Home](#) > [Zertifizierung](#) > [Komponenten](#) > [Komponentendatenbank](#)

[Home](#) | [Komponentendatenbank](#) | [Verglasungen](#)

Suche innerhalb der Kategorie:

Erweiterte Suche (z.B. filtern nach Land)

Zertifiziert seit
Firmensitz/Land

Produktname	Zert.	Hersteller	Gasfüllung	Dicke	Scheibenaufbau	g-Wert	U _g	T _{vis}
		alle	Ar 90%					
<input type="checkbox"/> iplus Advanced 1.0	DE EN	AGC Glass Europe s.a.	Ar 90%	44	4:/16/4/16/:4	0.42	0.53	0.64
<input type="checkbox"/> ClimaGuard Premium2	DE EN	Guardian Thalheim GmbH	Ar 90%	48	4:/16/4/16/:4	0.53	0.53	0.74
<input type="checkbox"/> SGG PLANITHERM ULTRA N	DE EN	Saint-Gobain Glass Deutschland	Ar 90%	40	4:/18/4/18/:4	0.50	0.53	0.71
<input type="checkbox"/> SGG PLANITHERM ULTRA N II	DE EN	Saint-Gobain Glass Deutschland	Ar 90%	40	4:/18/4/18/:4	0.50	0.53	0.71
<input type="checkbox"/> iplus Advanced 1.0	DE EN	AGC Glass Europe s.a.	Ar 90%	42	4:/15/4/15/:4	0.42	0.56	0.64
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1	DE EN	AGC Glass Europe s.a.	Ar 90%	44	4:/16/4/16/:4	0.51	0.58	0.72
<input type="checkbox"/> iplus Top 1.1T	DE EN	AGC Glass Europe s.a.	Ar 90%	44	4:/16/4/16/:4	0.53	0.58	0.73
<input type="checkbox"/> ClimaGuard Premium2	DE EN	Guardian Thalheim GmbH	Ar 90%	44	4:/16/4/16/:4	0.53	0.58	0.74
<input type="checkbox"/> iplus 3 E	DE EN	INTERPANE GLAS INDUSTRIE AG	Ar 90%	44	4/16/:4/16/:4	0.50	0.58	0.72
<input type="checkbox"/> SGG PLANITHERM ULTRA N	DE EN	Saint-Gobain Glass Deutschland	Ar 90%	40	4:/16/4/16/:4	0.50	0.58	0.71

Abbildung 6: Verglasungen mit Argon - Ausschnitt Komponentendatenbank
 [http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE]

iplus Advanced 1.0

Verglasungsaufbau	U _g (EN 673) [W/(m ² K)]	g (EN 410) [-]
4:/10/4/10/:4 Kr 90%	0.51	0.42
4:/12/4/12/:4 Kr 90%	0.44	0.42
4:/14/4/14/:4 Ar 90%	0.59	0.42
4:/15/4/15/:4 Ar 90%	0.56	0.42
4:/16/4/16/:4 Ar 90%	0.53	0.42

ClimaGuard Premium2

Verglasungsaufbau	U _g (EN 673) [W/(m ² K)]	g (EN 410) [-]
4:/18/4/18/:4 Ar 90%	0.53	0.53
4:/16/4/16/:4 Ar 90%	0.58	0.53
4:/14/4/14/:4 Ar 90%	0.64	0.53
4:/12/4/12/:4 Kr 90%	0.49	0.53

SGG PLANITHERM ULTRA N II

Verglasungsaufbau	U _g (EN 673) [W/(m ² K)]	g (EN 410) [-]
4:/12/4/12/:4 Ar 90%	0.72	0.50
4:/14/4/14/:4 Ar 90%	0.64	0.50
4:/16/4/16/:4 Ar 90%	0.58	0.50
4:/18/4/18/:4 Ar 90%	0.53	0.50

Abbildung 7, 8 und 9 : Spitzenreiter bei den U_g-Werten in Abhängigkeit vom Verglasungsaufbau -
 Ausschnitt Komponentendatenbank [http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE]

In Abhängigkeit vom Verglasungsaufbau variieren die technischen Kennwerte. Die Abbildungen 7 bis 9 zeigen dabei sehr deutlich wie groß der Einfluss der Breite des Scheibenzwischenraums ist. Bei Argonfüllung ist die Breite mit 18 mm optimal wirksam, dies geht aber nur auf Kosten der Lebensdauer. Scheibenzwischenräume mit mehr als 12 mm bei Dreifachverglasungen sind bzgl. der Lebensdauer kritisch zu betrachten. Somit sind als die besten Lösungen U-Werte von 0,7 W/m²K anzusehen.

Genannte Firmen:

Fa. AGC Glass Europe, +3224093000, <http://www.agc-glass.eu>;
<http://www.yourglass.com/agc-glass-europe/gb/en/home.html>

Fa. Guardian-Thalheim, Guardianstraße 1, 06766 Bitterfeld-Wolfen, Deutschland
<https://www.guardian.com>

Fa. Saint-Gobain Glass, 18, Avenue d'Alsace, F-92400 Courbevoie <http://de.saint-gobain-glass.com>

Diese sehr guten Produkte erreichen in der Spitze U-Werte von 0,53 W/m²K und haben dabei eine Konstruktionsstärke von 44 – 48 mm und dem Gewicht von dreimal 4 mm Glas pro m².

Ein weiterer Verbesserungsschritt durch eine vierte Scheibe und einen dritten Scheiben-Zwischenraum im gleichen Konstruktionsprinzip ist also weder von der Konstruktionsstärke und vom Gewicht her sinnvoll und hätte wahrscheinlich große Probleme mit der Langzeitbeständigkeit durch das stärkere „Pumpen“ im Randverbund.

Weitere Verbesserungen des mehrlagigen, edelgasgefüllten Isolierglaskonzepts könnten durch

- Gewichtsreduktion
 - Folien statt Glas für die Zwischenlage(n)
(z.B. Eastman/Southwall-Folien nun bis zu einer Breite von 200 cm verfügbar)
 - dünnere Gläser
(statt 4 und 5 mm starkem Glas nun ≤ 2 mm teilvorgespannt /vorgespannt)
 - Leichtere Gläser durch Kompositaufbau
(Glas/Polymerverbundaufbau der Scheiben)
- Verbesserung des Wärmeschutzes
 - Weitere Zwischenlagen und mehr Scheibenzwischenräume
 - Adäquate Weiterentwicklung der Abstandhalter

erreicht werden.

2.1.2 Die aktuelle Marktsituation der Wärmeschutzgläser

In den Jahren des Baubooms vor 2008 wurden in der Flachglasindustrie global zu viele Produktionskapazitäten aufgebaut. Die nun bestehenden Überkapazitäten können nicht so leicht abgebaut werden. Ein Flachglaswerk ist eine sehr teure Investition und es läuft prozessbedingt ab dem Start mindestens 15 Jahre kontinuierlich ohne dass die Produktionsmenge relevant verändert werden kann. Da seit 2008 die Bautätigkeit global und in Europa noch immer deutlich geringer ist gibt es derzeit einen starken Preisdruck bei Flachglas. Auch die dynamische Entwicklung hin zu Dreifach-Wärmeschutzglas in Europa kann nur teilweise die Mengen aufnehmen.

Daher wird Dreifach-Wärmeschutzglas derzeit oft zum gleichen Preis wie Zweifach-Wärmeschutzglas angeboten.

Im Sommer 2015 bewegt sich der Großhandelspreis für Zweifach- und Dreifach-Wärmeschutzglas zwischen 30 und 50 Euro pro Quadratmeter. Damit liegen die Preise ca. bei der Hälfte der Preise die vor 10 Jahren erzielt werden konnten.

Die Anbieter müssen daher in allen Bereichen sparen und es ist zu befürchten dass dies zu Lasten der Langzeit-Qualität gehen könnte.

Neue Anbieter in den neuen EU-Mitgliedsländern konnten mit europäischen Förderungsmitteln ihre Anlagen grundlegend erneuern und ausweiten und können nun noch kostengünstiger produzieren. Damit beliefern sie zum Teil die Neubau- und Sanierungsprojekte in Osteuropa drängen aber auch auf den gesamteuropäischen Markt.

Die polnisch-kroatische Firma PressGlass bietet derzeit Zweifach-Isolierglas sehr guter Qualität um 18 Euro pro Quadratmeter an.

Fa. PRESSGLASS SA, ul. Kopalniana 9, 42-262 Poczesna, Polen, +48 34 327 50 69,
<http://www.pressglass.eu/?lang=de>

Mit dem Aufbau eines eigenen Vertriebssystems dieser Firma wird der Preisdruck noch weiter zunehmen. Das ist für die Abnehmer vorteilhaft, behindert aber auch innovative Weiterentwicklungen.

Der wirtschaftliche Vergleich mit neuen, hier in weiterer Folge vorgestellten, Wärmeschutzglas – Entwicklungen macht es dadurch auch für diese schwierig.

2.2 Derzeit verfügbare leichtere und dünnere Wärmeschutzgläser

2.2.1 Dünnere Floatglasscheiben - SGIC CLIMATOP

Ein erstes Beispiele in die Richtung leichter Isoliertgläser durch dünnere Floatglasscheiben sind die Produkte

- SGIC CLIMATOP N LIGHT

und

- SGIC CLIMATOP LUX LIGHT

des Saint-Gobain Isoliertglas-Centers mit je 3 mm Floatglasscheiben.

Dieser Schritt ist eigentlich ein gleichziehen mit den USA. Dort sind traditionellerweise Floatglasscheiben auch im Mehrscheiben-Isoliertglas 2,8 mm breit und erfüllen auch so die notwendigen Anforderungen.

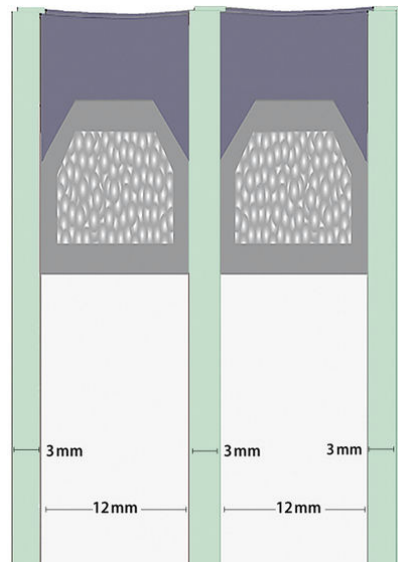


Abbildung 10 : Systemschnitt des SGIC CLIMATOP LUX LIGHT Isolierglassystems
 [www.glaswelt.de/GLASWELT-2014-1/3-fach-aber-leichter,QUIEPTU2OTYzNyZNSUQ9MTA0ODcw.html]

Diese Reduktion der Scheibenstärke ergibt eine

- 25%ige Gewichtsreduktion (22,5 kg/m² statt 30 kg/m²) und
- je nach Ausführung und Dicke des Scheibenzwischenraumes Ug-Werte von 0,8 bis 0,5 W/m²K mit einer
- Lichttransmission von 73 % (N LIGHT) bzw. 74 % (LUX LIGHT).

Die Absorption der Strahlung beim Strahlungsdurchgang hängt stark von der Dicke der Glasscheiben ab. Dünnere absorbieren daher weniger und ermöglichen dadurch höhere g-Werte und auch mehr Lichttransmission.

2.2.2 Ersatz der mittleren Glasscheibe durch Folie – System HEAT MIRROR®

Statt der mittleren Scheibe eine Kunststoffolie zu verwenden hat die Vorteile

- deutlich geringeres Gewicht und
- sehr dünne Schichtstärke,
- geringste Strahlungsabsorption und
- dadurch kaum Erwärmung bei Strahlungsdurchgang,
- keine kritischen Temperaturspannungen im Material und
- die Beschichtbarkeit mit nanoskalierten Metallschichten.

Dadurch wird ein Systemaufbau mit zwei gaszirkulationsminimierten Scheibenzwischenräumen mit dünnerem Gesamtaufbau und weniger Gesamtgewicht möglich.



Abbildung 11 : Systemschnitt des SGIC CLIMATOP LUX LIGHT Isolierglassystems [minusdrei gmbh]

Die Anforderungen an diese Folie sind sehr hoch. Sie muss

- metallisch beschichtbar sein,
- vollkommen transparent und
- auch langfristig vergilbungsfrei sein und
- bei Temperaturänderungen darf sich die Planität nicht verändern.

Bei temperaturbedingten Längenänderungen würde sich die Folie zu wellen beginnen und das würde den Durchblick beeinträchtigen. Daher muss die Folie stark gespannt in die Verglasung eingebaut werden. Das ist fertigungstechnisch schwierig und die Verklebung an den Abstandhaltern des Randverbunds ist auf Dauer zugbeansprucht.

Die Heat Mirror-Technologie wurde am Massachusetts Institute of Technology entwickelt und die Folie wird von der Firma Sozuthwall, Tochtergesellschaft der Fa. Eastman produziert.

Sie erlaubt es bei einem Dreifachglas Funktionsbeschichtungen auf vier Oberflächen aufzubringen. Der gewählte Produktname zeigt dass bei den Anwendungen in den USA vor allem Sonnenschutzbeschichtungen gewählt wurden.

Die Folie wird von der Fa. Eastman Chemical Company aus Kingsport, Tennessee, USA derzeit mit einer Breite von 2 Metern, erzeugt.

Das Glassystem mit der Heat-Mirror-Folie und Heat-Mirror als Markenname wird in den USA von der Fa. Southwall Technologies Inc. in Palo Alto in Kalifornien gefertigt. Sie vergibt Lizenzen an weitere Hersteller.

Für die deutschsprachigen Länder ist der Lizenzinhaber die Fa. minusdrei gmbh in Oberasbach in Deutschland.

3 Neue technische Entwicklungen bei Wärmeschutzglas

Ergänzend zum etablierten Dreifachisolierglas und den beiden bereits genannten „Leicht“-Systemen gibt es nun erste neue, dünnere und leichtere Wärmeschutzgläser die thermisch sehr deutlich, bis auf den Ug-Wert um $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, verbessert werden können. Dieser Evolutionsschritt kommt aus drei verschiedenen technischen Richtungen gleichzeitig.

3.1 Mehrfach-Folien-Isolierglas

Eine neue technische Entwicklung bei Wärmeschutzglas ist die Weiterentwicklung des Heat-Mirror-Systems durch mehrere Zwischenräume im Schichtaufbau des Isolierglases.

Der notwendige Zugspannung der Folie hatte bislang einen mehrlagigen Aufbau nicht möglich gemacht weil die innenliegenden Abstandhalter des Randverbunds von den Folien nach innen gezogen wurden.

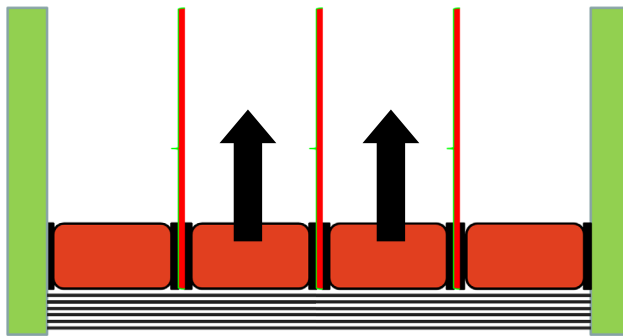


Abbildung 12 : Systemschnitt des Randverbunds bei mehreren zwischengespannten Folien und den nach innen gezogenen Abstandhaltern [www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx]

Dieses technische Problem konnte gelöst werden und dadurch ist es nun möglich mehrere Folien für mehrere Scheibenzwischenräume zwischen zu spannen.

Dadurch verbessert sich der Wärmeschutz der Verglasung stark, Die Konstruktionsstärke nimmt zu und das Produkt wird nur geringfügig schwerer.

Technisch fällt es in die Gruppe der Mehrscheiben-Isoliergläser und wird vom IFT-Rosenheim auch so genannt, nach der deutschen Bauregelliste ist es aber wieder ein Zweifach-Isolierglas.

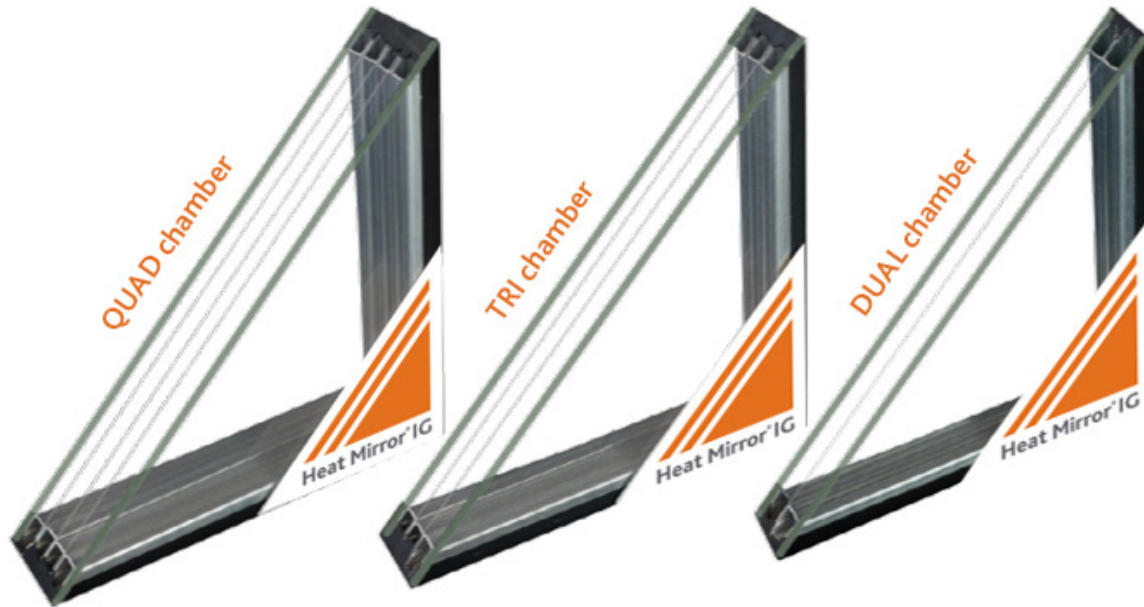


Abbildung 13 : Schnittdarstellungen von Mehrkammer-isolierglas mit Heat-Mirror Folien
[\[www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx\]](http://www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx)

Die Eastman-Homepage nennt dazu die folgenden technischen Kennwerte.

Tabelle 1: Heat Mirror® Isolierglas Isolierglas-Vergleichstabelle
[\[www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx\]](http://www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx)

	Airtight chambers	Insulating performance*		Solar heat gain coefficient	Visible light transmittance, %	UV blocking, %
		R-Value	U-Value			
Standard dual-pane clear IG	1	R2	0.50	0.78	82	42
Standard dual-pane coated IG	1	R4	0.25	0.27	65	95
Standard triple-pane coated IG	2	R5	0.19	0.25	57	97
Heat Mirror® IG	2	R6	0.16	0.24–0.51	57–70	99.5
Heat Mirror® IG	3	R10	0.10	0.23–0.44	51–62	100
Heat Mirror® IG	4	R20**	0.05	0.22–0.38	45–55	100

*Center of glass values calculated using WINDOW 6.3 software and standard NFRC environmental conditions.

**Requires Krypton gas fill

Die angegebenen U-Werte erscheinen aber unrealistisch gut zu sein.

Der deutsche Verarbeiter minusdrei gmbh legt für seine Produkt THERMUR HM eine Reihe von Prüfzeugnisse des IFT-Rosenheim und anderer Teststellen vor. Dabei soll z.B. ein Glaselement mit zwei Folien, die auch die Funktionsbeschichtungen tragen und drei 12 mm Zwischenräumen ein Ug-Wert von 0,3 W/m²K erreicht werden. Das Glaselement hat so eine Gesamtstärke von 50mm, eine Lichttransmission mit 52% und einen Gesamtenergiedurchlassgrad von 40%. Der g-Wert ist schlecht, der U-Wert sehr, sehr gut aber sehr weit weg von den in Tabelle 1 für 3 Kammern genannten U-Wert mit 0,10 W/m²K.

Das Produkt THERMUR HM war auch bei der letzten Baumesse in München ausgestellt.



Abb. 14 : THERMUR HM auf der Baumesse

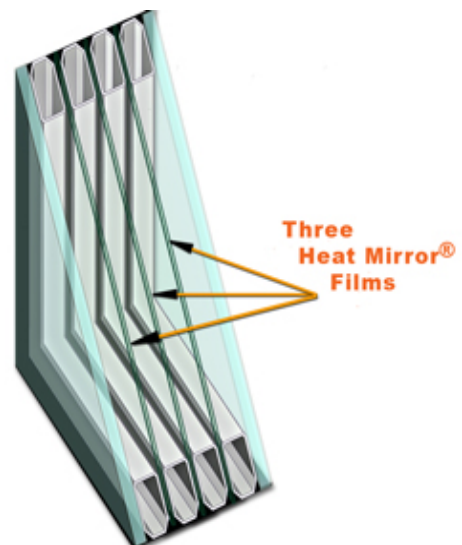


Abb. 15 : Schnittdarstellungen mit 3 Heat-Mirror Folien

Das Thermur HM Glas soll mit drei Folien und einer Gesamtstärke von 58 mm einen Ug – Wert von 0,2 W/m²K erreichen können. Das wäre dann der gleiche Wärmeschutz den eine relativ gut gedämmte Außenwand erreicht.

Tabelle 2: THERMUR HM Isolierglas-Vergleichstabelle (Zahlen lt. Minusdrei gmbh)

Elementdicke [mm]	Anzahl der Scheibenzwischenräume	Ug [W/m ² K]	
24	2	0,5	
32	2	0,4	
50	3	0,3	am Markt verfügbar
58	4	0,2	IFT-geprüft
58	4	0,1	berechnet
58	4	0,05	berechnet, mit Xenongas www.ecoglass.ca

So dicke Scheibenzwischenräume verursachen langfristig natürlich starke mechanische Beanspruchungen des Randverbands durch die temperaturbedingten Pumpbewegungen durch die Volumenänderungen des Füllgases.

Daher ist die langfristige Gasdichtheit der Konstruktion kritisch zu sehen.

Der Fertigungsprozess für THERMUR umfasst elf Arbeitsschritte:

1. Abstandshalter aus Edelstahl auf der Scheibe positionieren
2. Film auflegen (von der Rolle)
3. Film abschneiden (2 mm Öffnung einbringen)
4. zweiten Abstandshalter positionieren
5. zweite Scheibe positionieren
6. Randverbund abdichten
7. Scheiben in den Ofen
8. Scheiben auf 99° erwärmen
9. Film schrumpft und spannt sich
10. Abkühlphase (optimale Verklebung des RV)
11. mit Gas füllen + Abdichten

Der komplexe Prozess und die teure Folie machen das Produkt relativ teuer. In den USA gibt es eine maschinelle Fertigungsstraße. Die erreichten Absatzmengen reichen aber nicht aus um sie auszulasten. Der Verarbeiter in Deutschland fertigt die Gläser manuell was auch hohe Kosten bedingt.

Die Vorteile des Produkts gegenüber einer konventionellen Dreifach-Verglasung hat Herr Sigmund E. Rösner von der Firma minusdrei gmbh bei der Fassadenbautagung 2015 an der TU Wien in der nachfolgenden Darstellung gegenübergestellt.

V.003 Leistungsvergleich: (zu Dreifachgas) Stand: Jan. 2014 EnEV 2009 + EnEV 2014	
-3glas® System HEAT MIRROR™ (übertrifft die Anforderungen der EnEV 2016!)	Dreifach-Isolierglas (erfüllt auch die Anforderungen der EnEV 2016!)
☺☺ unerreichte Dämmwerte Ug = 0,5 bis 0,3 W/m²K (ab 21 mm Ug = 0,8)	☹ Dämmwerte Ug = 0,8 bis 0,5 W/m²K
☺ ab 25 mm Ug = 0,6 W/m²K ☺ ab 38 mm Ug = 0,4 W/m²K	☹ ab 36 mm Ug = 0,7 W/m²K ☹ ab 40 mm Ug = 0,6 W/m²K
☺ ab 29 mm Ug = 0,5 W/m²K ☺ ab 50 mm Ug = 0,3 W/m²K	☹ ab 44 mm Ug = 0,5 W/m²K
☺☺ Gewicht wie 2-fach Isolierglas (ab 20 kg/m²) bei „Barrierefrei“ immer wichtiger!	☹☹ Mehrgewicht + 50% (ab 30 kg/m²)
☺ geringe Beeinträchtigung der Dämmwirkung im Winter	☹ Nachlassen der Dämmwirkung bei großer Temperaturdifferenz
☺ ausgereiftes Produkt - im anspruchsvollen Objektbau bewährt	☺ Produkt im Passivhausbau bewährt Ug = 0,7 W/m²K (36 mm)
☺ Dachbereich – geringe Beeinträchtigung durch Konvektion	☹☹ Dachbereich: Nachlassen der Dämmwirkung + extreme Belastung des RV
☺☺ Handling und Montage wie Standardglas	☹☹ erschwertes Handling und Montage
☺ großformatige Öffnungsflügel ohne Gewichts-Einschränkung (Barrierefrei!)	☹ bedingt großformatige Öffnungsflügel (Einschränkung durch hohes Gewicht!)
☺☺ Hebe-Schiebe-Türen mit max. Abmessungen* (geringes Gewicht)	☹ Hebe-Schiebe-Türen mit Einschränkungen, wegen Bautiefen + Gewicht!
☺ Pfosten-Riegel-Konstruktionen mit großen Querformaten ohne Einschränkung	☹ Pfosten-Riegel-Konstruktionen mit großen Querformaten nur mit Zusatzmaßnahmen zur Gewichtsabtragung (= Kosten)
☺ alle bewährten Konstruktionen können eingesetzt werden	☹ Konstruktionen prüfen und anpassen (wegen Gewicht und EnEV)
☺☺ Nachrüstung in vorhandene Konstruktionen Ug = 0,6 W/m²K ab 24 mm	☹ Nachrüstung in vorh. Konstruktionen (36 mm?) nicht möglich!
☹ Scheibenmaße 1.970 mm x 3200 bis 5000* mm (je nach Konfiguration)	☺☺ max. Scheibenmaße möglich (jedoch mit Formateinschränkung)
☹ Glastyp und Glasart frei wählbar	☹ Glastyp und Glasart frei wählbar
☺ Hitzeschutz optional (g = 50%, 39%, 28%, 25% bis 18% + 10%)	☹ Sonnenschutz kombinierbar (jedoch mittlere Scheibe dann ESG)
☺☺ 99,5 % UV-Schutz (Schutz vor Ausbleichen und Alterung)	☹ UV Schutz = Nein (zusätzlich möglich)
☺☺ Durchsicht wie bei 2-fach Glas	☹☹ beeinträchtigte Durchsicht = erhöhte Spiegelung wegen 3 Glasflächen
☹ Aussparungen im Glas (Durchreiche) nicht möglich	☺ Aussparungen im Glas (Durchreiche) möglich
☺☺ CE-Prüfung nach DIN 1279-2 mit bestem Wert bestanden! Einziges Isolierglas mit keinerlei Veränderung der Dichtigkeit!	☹☹ CE-Prüfung 1279-2 (Prüfzeugnis?) (wenn Prüfzeugnis dann nur mit einem Aufbau: 4-12-4-12-4)
☺☺ gleichmäßig hohe Qualität der Dichtigkeit durch Produktion vorgegeben! (Fertigung – Lagerung – Wärmeofen – Abkühlen – Edelgasfüllen)	☹ Ausreichende Dichtigkeit = Mindestanforderung! (Fertigung und Edelgasfüllen erfolgt in einem Arbeitsgang)
☺ bewährter Randverbund (Edelstahl oder Stahl)	☹ Randverbund (3-fach-Aufbau + Asymmetrischen Aufbau extrem belastet)
☺☺ konsequent auf Langlebigkeit ausgerichtet (ca. 22 bis 35 Jahre DIN EN1279)	☹☹ eingeschränkte Lebensdauer! (siehe allgem. Publikationen 3-fach Glas)
☺☺ keine Zusatzkosten bei der Rahmenkonstruktion	☹ Mehrpreis bei der Rahmenkonstruktion (Bautiefe + Beschlag + Gewicht!)
☺☺ geringe Verglasungskosten (100% = 15,- bis 20,- €/m²)	☹☹ Mehrpreis Verglasungskosten (200% = 30,- bis 40,- €/m² Gewicht)
☹ Anschaffungspreis (wird durch Nachhaltigkeit egalisiert)	☺ Anschaffungspreis (günstiger mit den o.g. Nachteilen)

Abb. 16 : Gegenüberstellung Heat-Mirror-Glas gegen Dreifach-Isolierglas

Die Vor- und Nachteile dieses Verglasungskonzepts sind also:

- Geringes Gewicht,
- sehr gute U-Werte und
- sehr gute U-Werte auch bei horizontaler Anwendung

stehen dem

- Risiko eines schlechten Langzeitverhaltens im Randverbund und
- einem relativ hohem Produktpreis

gegenüber.

3.2 Mehrfach-Isolierglas mit Dünnglas

Die Zielsetzungen Mehrfach-Isolierglas weiter zu verbessern wurden im sehr erfolgreichen EU-Forschungsprojekt MEM4WIN (Dünnglas für Mehrscheibenisolierverglas) bearbeitet. Die Projektleitung hatte dabei die niederösterreichische Firma Lisec die Maschinen für die Flachglasbearbeitung herstellt.

Fa. LiSEC Group, LISEC Austria GmbH, Peter-Lisee-Straße 1, 3353 Seitenstetten,

Tel: +43-7477-405-0 <http://www.lisee.com>

Dabei wird die Strategie Dünngläser zu verwenden verfolgt. Die Anforderungen der IT- und Kommunikationsindustrie hat die Entwicklung von Dünngläsern vorangetrieben.

Dünnglas ist ein sehr dünn gefertigtes Glas das durch weitere Bearbeitungsschritte wie durch Glashärten sehr interessante Eigenschaften erlangt. Es ist einerseits Glas mit seiner Festigkeit und verhält sich andererseits eher wie eine starke Folie oder Membran und nicht wie eine Scheibe.

Die enorme Festigkeit und Flexibilität dieser thermisch behandelten Dünngläser zeigen die Abbildungen 17-19 bei der ein Fußballspieler mit voller Wucht gegen eine Dünnglasscheibe läuft. Dabei schmiegt sich das Glas kurzfristig an dessen Körper bricht aber nicht und schleudert ihn elastisch wieder zurück.



Abbildungen 17, 18 und 19 Belastungstest Dünnglas (©Lisec)

Diese Eigenschaften erlauben die Fertigung von Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern außen und sehr dünnen Gläsern in den mittleren Positionen.

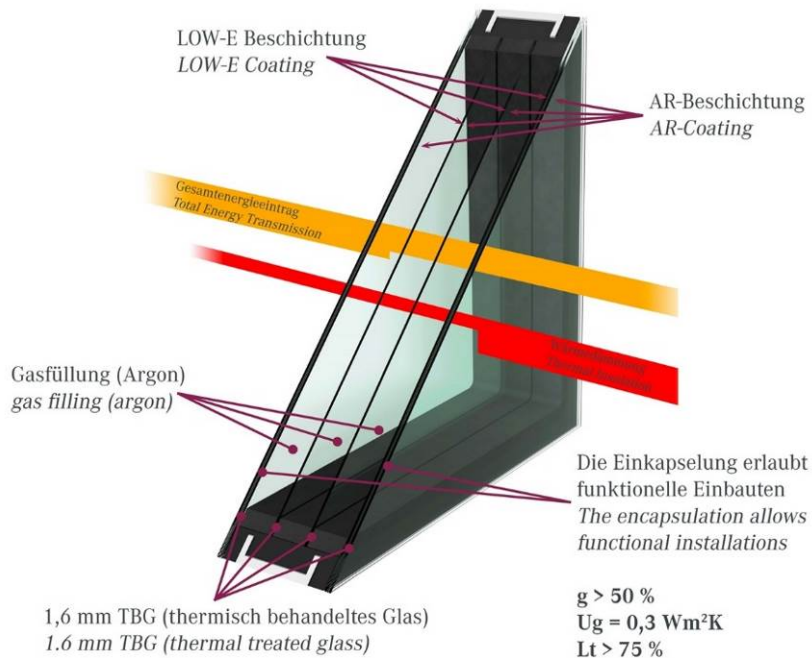


Abb. 20 : Aufbau MEM4WIN 4-fach Iso (©Lisec)

Dieses Produkt ist insgesamt 66mm dick. Im Schichtaufbau könne die Außenscheiben in Abhängigkeit vom Scheibenformat eine Dicke von 3 bis 1,85 mm und die mittleren Scheiben von 1,6 bis 0,9mm haben. Dadurch ist dieses Element mit vier Glasscheiben leichter als Dreifach-Wärmeschutzglas und bei kleineren Formaten sogar leichter als das Heat-Mirror-Glas.

Die relativ große Gesamtstärke des Verglasungssystems verursacht natürlich die gleichen temperatur- und windbedingten Klimalasten wie die anderen Konzepte. Die Eigenschaften von Dünnglas ermöglichen aber die Aufnahme der Klimalasten durch Durchbiegungen im Glasfeld wodurch deutlich geringere Spannungen auf den Randverbund einwirken. Das sollte die Haltbarkeit des Randverbunds und damit die Langzeitqualität positiv beeinflussen.

Derzeit gibt es keine großen Mengen an Dünnglas am Weltmarkt und es kostet relativ viel. Daher sind auch die Produkte der Weiterverarbeitung, vor allem im Vergleich zu den aktuellen Preisen von konventionellem Isolierglas, relativ teuer.

Die Firma Lisec wird auch nicht als Produzent dieser Verglasung auftreten da sie ja eigentlich nur die Maschinen zur Herstellung entwickeln und produzieren.

Erste Dünnglas-Isoliergläser sind über die Firmen:

Fa. Energy Glas GmbH, Zur Frado 1, 34466 Wolfhagen, Deutschland, Tel: 05692 / 99 74 50

www.energy-glas.de

und

Fa. Winterglas GmbH, Betriebsstraße 14, 3652 Leiben, Österreich, Tel.: 02752-700 80,

<http://www.winterglas.co.at>

erhältlich.

4 Umfeld, Entwicklungen, Verfügbarkeit und Anwendungspotenzial von Vakuumglas

Die dritte und in diesem Sondierungsprojekt am intensivsten untersuchte Technologie ist die Vakuumverglasung.

Wird dem Scheibenzwischenraum die Luft entzogen und ein Hochvakuum erreicht dann gibt es keine Konvektion mehr und damit auch diesen Anteil des Wärmetransports nicht mehr. Dabei kann der Scheibenzwischenraum sehr klein gehalten werden weshalb dieses Konstruktionskonzept deutlich dünnere Glaselemente ergibt.

4.1 Die historische Entwicklung von Vakuumglas

4.1.1 Forschung und Patente zu Vakuumglas

Die Idee den Wärmetransport in einer Verglasung durch Vakuum zu minimieren ist schon mehr als 100 Jahre alt. Am 29. Okt. 1913 hat DI Alfred Zoeller in Deutschland das Patent für eine „Hohle Glasscheibe“ erhalten. Das in diese Zeichnung dargestellte Prinzip mit seinen Komponenten ist auch heute noch relevant. Nur hatte er damals gleich zwei Vakuumschichten zwischen drei Glasscheiben konzipiert.

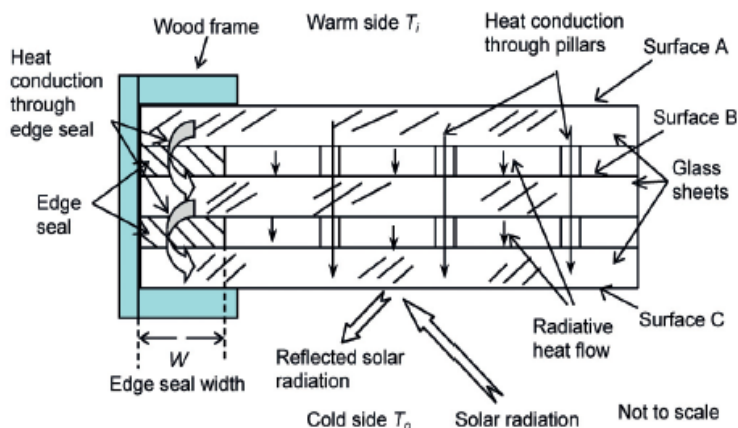


Abb. 21 : Dreifach-Vakuumglas-Konzept, Patent Zoller 1913 []

Die spezifischen Komponenten von Vakuumglas sind auch hier schon dargestellt:

- Randversiegelung und
- Stützkörper als Abstandhalter für den
- Vakuumpalt.

Dann scheint sich in der Forschung auf diesem Gebiet lange nicht getan zu haben.

Als Idee für die luftdichte Randversiegelung wurde am 28. Juli 1987 in den USA ein Patent zu einem Laser-verschweißtem Vakuumglas für das amerikanische Energieministerium eingetragen. Dabei sollten im Vakuuglas kleine Glaskugeln den Scheibenabstand sicherstellen und die Scheibenränder mit Laserschweißung miteinander verbunden werden.

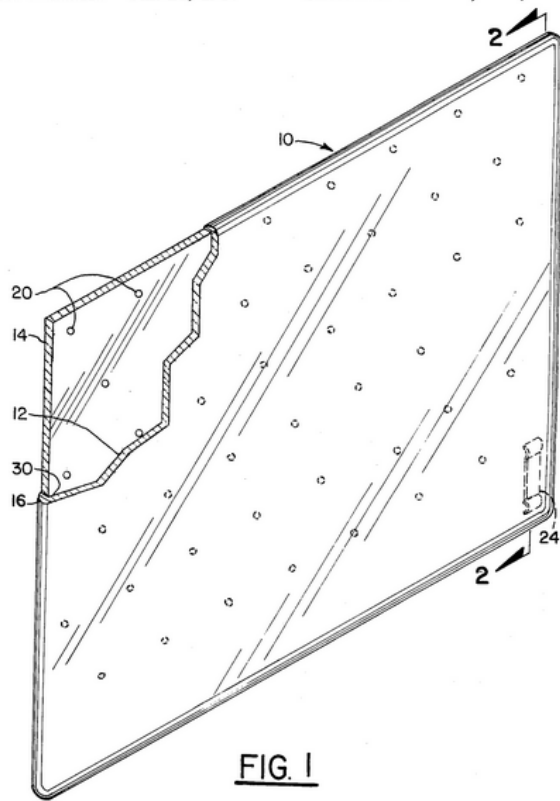


FIG. 1

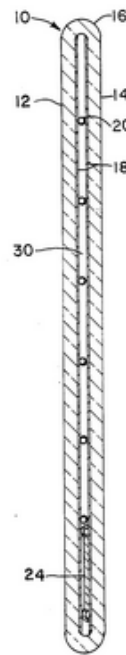


FIG. 2

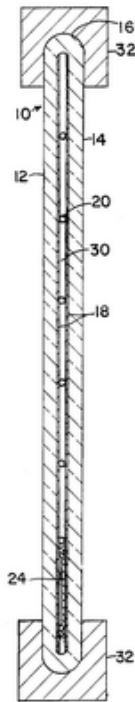


FIG. 3

Abb. 22 : Laser-verschweißtes Vakuumglas-Konzept mit Glaskugeln als Stützkörper
 [https://www.google.com/patents/US4683154]

Die erste Herstellung von Vakuumglas gelang 1989 an der Universität Sydney durch Richard E. Collins und Stephen J. Robins. Dabei wurde die luftdichte Randversiegelung mit Glaslot hergestellt das eine Glaslottemperatur von 450°C hatte.



Richard E. COLLINS
 Emeritus Professor,
 School of Physics
 University of Sydney

Abb. 23 : Richard E. COLLINS [http://www.nsg-spacia.co.jp/spacia/]

Ab dem Jahr 1990 forschte der chinesische Physiker Jian-Zheng Tang gemeinsam mit Richard E. Collins in Sydney an der weiterentwicklung des Vakuumglaskonzepts.



Jianzheng TANG
Emeritus Professor,
School of Physics
University of Beijing

Abb. 24 : Aufbau MEM4WIN 4-fach Iso (©Lisec)

Teil dieser ersten erfolgreich realisierten Vakuumglaskonzepts sind unter anderem die beiden nachfolgen dargestellten gemeinsamen Patente aus dem Jahr 2000 für Evakuierungsventile und Abstandhalter.

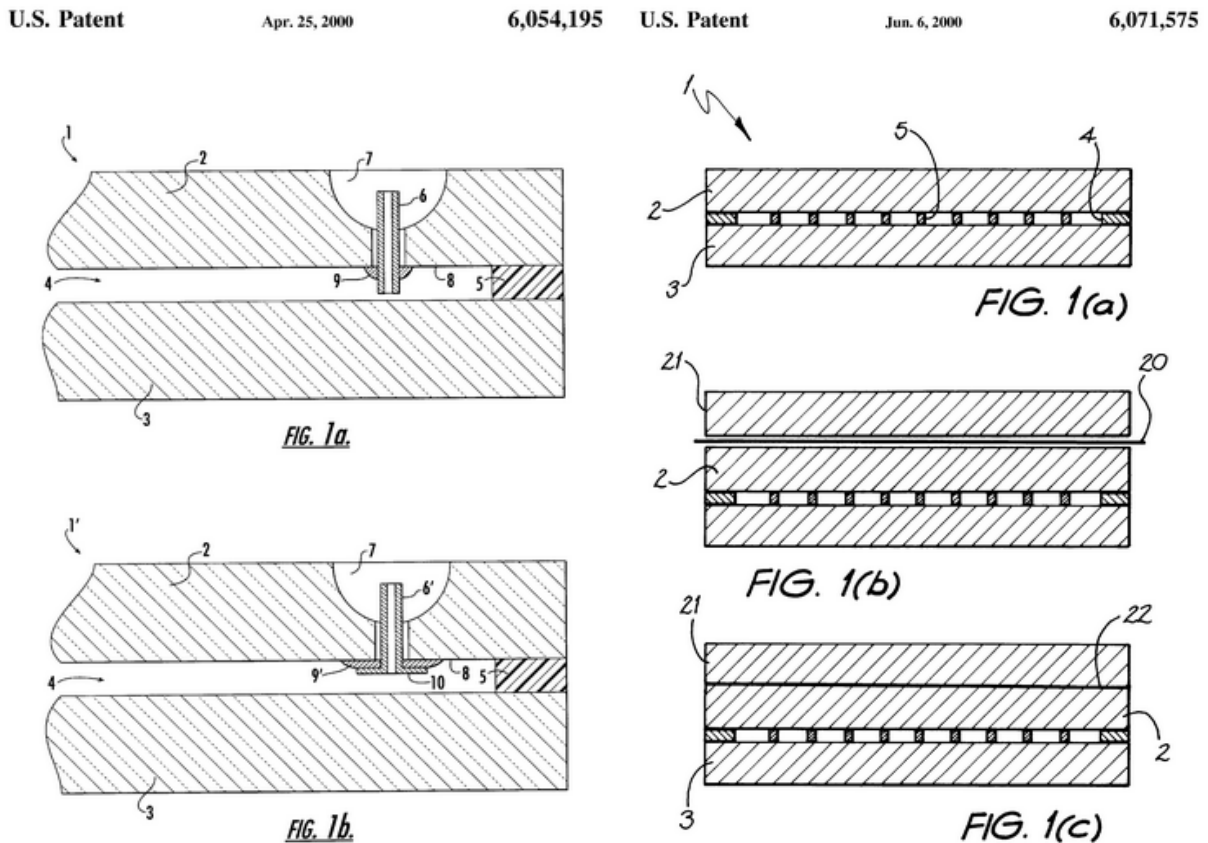


Abb. 25 und 26: Patente für Evakuierungsventil und Abstandhalter für Richard Edward Collins und Jian-Zheng Tang [<https://www.google.com/patents/US6054195> und <https://www.google.com/patents/US6071575>]

Anders als noch im US-Laserschweißkonzept bei dem die Scheiben in einer evakuierten Kammer verschlossen worden wären wird hier zuerst die Randversiegelungen hergestellt und dann erst mittels eines Evakuierungsventils die Luft herausgepumpt.

Weitere wichtige Grundlagen wurden für die Form und Art der Abstandhalter und die Integration von Low-E-Beschichtungen erarbeitet.

Die meisten Patente zum Thema Vakuumglas hält die US Firma Guardian Industries Corp. die von 1999 an eingereicht wurden obwohl diese Firma kein eigenes Vakuumglas produziert (oder produzieren kann).

1913	Dreifach-Vakuumglas-Konzept, Patent Zoller
1989	erste Herstellung von VG, Universität Sydney durch Richard E. Collins und Stephen J. Robins mit Glaslotschmelztemperatur 450°C
1990 - 1998	gemeinsame Forschung von Collins und seinem Team mit J. Tang (Univ. Peking)
1996	Aufbau einer Produktion bei NSG, Japan mit Prof. Collins
1998	Herstellung von VG, Universität Ulster Phillip Griffiths und Trevor Hyden mit Glaslotschmelztemperatur <200°C
1999	Aufbau einer Produktion bei HENGDA, China mit J. Tang
2005	Aufbau einer Produktion bei EAGON, Korea
2011	Aufbau einer Produktion bei SYNERGY, China mit J. Tang

4.1.2 Erste Umsetzung des Vakkumglas-Konzepts in der Industrie

Nach seiner Emeritierung im Jahr 2000 arbeitete Richard E. Collins mit der japanischen Firma Nippon Sheet Glass (NSG) zusammen und sie entwickelten das erste Vakuumglas als Industrieprodukt. Das beschreibt Collins selbst so:

„Das Konzept der Vakuumverglasung wurde zum ersten Mal in der Patentliteratur im Jahr 1913 genannt. Trotz vieler beschriebener Versuche ist die erste erfolgreiche Herstellung von Vakuumverglasung erst 1989, kurz nach Beginn der Forschung zu diesem Thema an der Universität von Sydney, gelungen. Seit dieser Zeit hat diese Universität wesentliche Fortschritte in der Wissenschaft und Technologie der Vakuumverglasung gemacht.

Seit 1994 ist die Universität mit Nippon Sheet Glass Company Limited über die Vermarktung von Vakuumverglasung tätig. Nippon Sheet Glass gebracht hat, um diese Zusammenarbeit voran technischen Fähigkeiten, kreative Gestaltungsansätze und eine starke Entschlossenheit, eine hoch performante, rentabel Produkt zu entwickeln.

Im Jahr 1996 startete Nippon Sheet Glass sein kommerzielles Produkt Vakuumverglasung, SPACIA. SPACIA bietet Aussicht auf erhebliche Vorteile für unseren Lebensstandard durch die Reduktion des Energieverbrauchs. Ein besonderer Vorteil der SPACIA ist seine geringe Dicke die die Nachrüstung in herkömmlichen Fensterrahmen ermöglicht. Keine andere Isolierverglasungs-Technologie hat diese Fähigkeit.

Nippon Sheet Glass und der Universität von Sydney haben gemeinsam für viele Aspekte der Wissenschaft und Technologie der Vakuumverglasung, darunter innovative Designkonzepte und Produktionsmethoden, Pionierarbeit geleistet. Die Umsetzung der Ergebnisse dieser Zusammenarbeit hat zu wesentlichen Verbesserungen in der Effizienz des Herstellungsprozesses, und der Leistung von SPACIA seit der ersten kommerziellen Version ergeben.

Ich bin sehr stolz auf die Beiträge, die die Universität von Sydney zu dieser produktiven Partnerschaft mit Nippon Sheet Glass gemacht hat. Ich freue mich sehr, dass seit meinem formalen Ausscheiden aus der Universität im Dezember 2000, ich in der Lage bin, mich in der laufenden Zusammenarbeit zwischen Nippon Sheet Glass und der Universität zu beteiligen, und weiterhin für den Erfolg dieses innovativen Konzepts beitragen. December 2002, Richard E. COLLINS“

[Quelle: <http://www.nsg-spacia.co.jp/spacia/>]

Mit Nippon Sheet Glass Co. hat er das weltweit erste kommerzielle Vakuumglas-Produkt, als Pilkington SPACIA bekannt, entwickelt. Die Verglasung besteht aus zweimal 3 mm dickem Glas mit 0,2 mm Vakuumabstandsspalt so dass es eine Gesamtdicke von 6,2 mm hat.

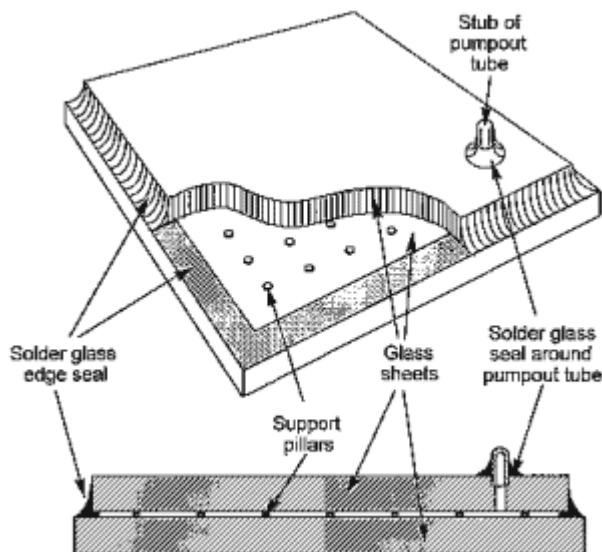


Abb. 27 : Prinzip-Darstellungen vom Vakuumglas Spacia [www.nsg-spacia.co.jp/tech/index.html]

Die Abbildung 24 zeigt die VG Struktur. Eine Anordnung von Stützen (Pillars /Abstandhalter) mit 0,2 mm Dicke und 0,5 mm Durchmesser zwischen zwei Glasscheiben im Achsabstand von 20 mm gelegt und der Vauumraum mit glaslot versiegelt.

Diese erste Generation kam 1998 mit dem Produkt NSG Pilkington Spacia® in Japan auf den Markt. Dabei wurde bei einer Gesamtstärke von 6,2mm ein Ug-Wert von 1,4 W/m²K erreicht. Das ist für den Austausch von Einfachscheiben interessant, war aber thermisch keine interessante Alternative zum besseren und preiswerteren Zwei-Scheiben-Wärmeschutzglas.

Das Bild 24 zeigt eine solche Scheibe mit den typischen Komponenten. Mit 1 ist die Randversiegelung markiert, in dem Ring mit 2 wird kaum sichtbar einer der Stützkörper hervorgehoben und Nummer 3 zeigt das Evakuierungsventil.



Abb. 28 : Vakuumglasscheibe von NSG, Pilkington Spacia™ [NSG]

4.1.3 Erste Anwendungen des Vakuumglases Pilkington Spacia

Die Zielsetzung beim ersten Vakuumglas war der Austausch VG gegen einfachglas im bestehenden Fensterrahmen. Das zeigt auch Werbung für den Ersatz von Einscheibenverglasung mit dem vorteil und Komfortgewinn dass die VG-Scheiben keine kondensation von Luftfeuchtigkeit mehr auf der innenoberfläche aufweisen.



Abb. 29 : Einfachscheibe mit Kondensat / VG ohne Kondensat [<http://www.sun-wind.jp/dannetsu-ketsuro>]



Abb. 30 : VG ohne Kondensat / Einfachscheibe mit Kondensat [<http://lixil-reformchain.jp/shop/SC00183004/case/016478.html>]

Einbau von VG Pilkington Spacia® in Bestandsfenster in Holland im Museum Hermitage Amsterdam.

Das Gebäude hat Holz-Schiebefenster mit Einfachglas,



Abb. 31 : Museum Hermitage Amsterdam. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Hermitage_Amsterdam_-_Ingang.JPG]

Die sehr kleinformatischen VG-Scheiben wurden in die Vertikalschiebefenster eingebaut und die Gebäudenutzer sind sehr zufrieden damit. Es gäbe nun kein Innenkondensat mehr an den Scheiben. Der einzige Nachteil ist das erschwerte Fensterputzen bei den erhabenen Abdeckkappender Evakuierungsventile.



Glaszetter Kees van Leek mest stoppasta af in de werkplaats van het schildersbedrijf

Abb. 32 : Einglasen der VG-Scheiben mit Kittfase in die Bestandsrahmen
[www.schildersvak.nl/download/i/i09svk001z022.pdf]



Abb. 33 : Eingebaute VG-Scheiben in den Bestandsrahmen [NSG Pilkington Spacia]

Die Maßnahme ist optisch kaum sichtbar, es gibt aber leider sicher einen großen Wärmebrückenanteil.

Einbau von VG Pilkington Spacia® in Bestandsfenster des MIT Boston in Massachusetts

Das Gebäude hat Metall-Schiebefenster mit Fixteilen und ist einfachverglast,



Abb. 34 : Eingebaute VG-Scheiben in den Bestandsrahmen [www.brikbase.org/sites/default/files/best3_barry.pdf]



Abb. 35 und 36: Eingebaute VG-Scheiben mit Ventil [www.brikbase.org/sites/default/files/best3_barry.pdf]

4.2 Die technischen Grundlagen und Charakteristika von Vakuumglas

4.2.1 Die Komponenten und der Produktionsprozess von VG

Die spezifischen Komponenten von Vakuumglas sind:

- Randversiegelung
 - bei allen asiatischen Produkten Glaslot
 - Europäische Projekte versuchen Metalllote (Zinn o.ä., bislang nicht erfolgreich)
- Stützkörper als Abstandhalter
 - aus Edelstahl,
 - Glas (oft nicht gleichmäßig genug) oder
 - Keramik
- Vakuumpalt mit Hochvakuum (10^{-1} bis 10^{-6} mbar)
 - am häufigsten 10^{-3} mbar Vakuum (10.000 kg/m^2)
 - am häufigsten 0,15 -0,20 mm Vakuumpalt

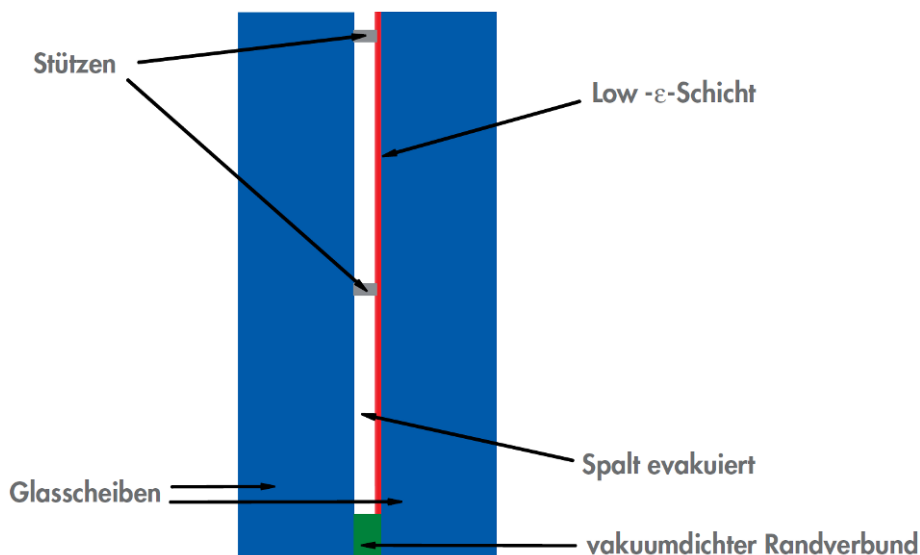


Abb. 37 : Prinzip und Komponenten von Vakuumglas [© ZAE Bayern, Würzburg]

Die beiden bekannten Randversiegelungen sind:

- bei allen asiatischen Produkten Glaslot
 - Bei vier Firmen in industrieller Produktion
- Europäische Projekte versuchen Metalllote (Zinn o.ä.)
 - Bislang nur einzelne Forschungs-Teststücke

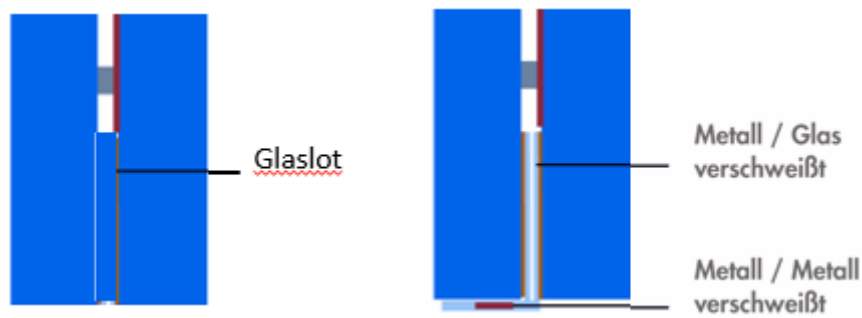


Abb. 38 und 39: Randverbund mit Glaslot und verschweißtem Metall [[rechts © ZAE Bayern, Würzburg]

Die Produktionsschritte bei Vakuumglas mit Glaslot-Randversiegelung sind:

1. Auftragen Glaslot, Sinterprozess
2. Aufbringen Abstandhalter
3. Auflegen der oberen Scheibe
4. Erhitzen und Schmelzen des Glaslots
5. Evakuieren des Scheibenzwischenraums durch das Evakuierungsventil und Ausgasungsprozess
6. Einbringen des Getters
7. Aufsetzen und Versiegeln der Ventilschutzkappe
8. Abkühlprozess

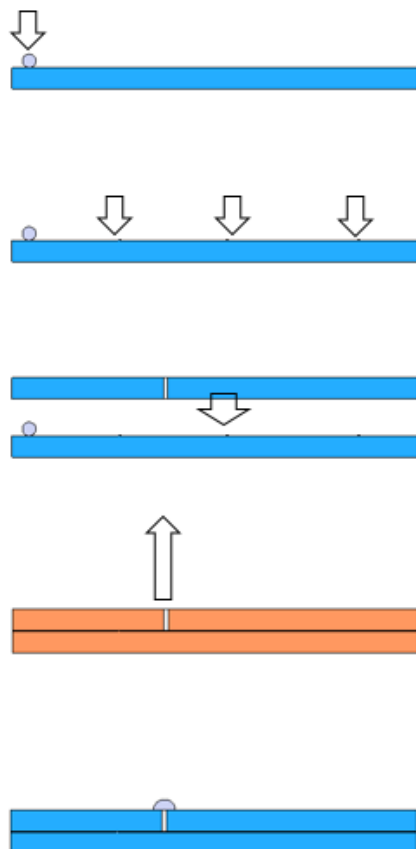


Abb. 40: Produktionsschritte bei Vakuumglas mit Glaslot-Randversiegelung

Die Produktionsschritte bei Vakuumglas mit Metall-Randversiegelung sind:

1. Auflöten der Metallstreifen
2. Auflegen Abstandhalter
3. Auflegen der oberen Scheibe
4. Einbringen in Vakuumkammer
5. Evakuieren der Vakuumkammer und damit des Scheibenzwischenraums
6. Zusammenlöten der Metallstreifen

4.2.2 Die Wärmetransportvorgänge im VG und der Einfluss der Komponenten

Für die thermische Qualität einer VG-Scheibe ist das Vakuum und seine Dauerhaftigkeit, die Form und der Achsabstand der Pillars und die Form und Dauerhaftigkeit der Randversiegelung sowie die Low-E-Beschichtung wichtig.

Die Wärmetransportvorgänge die dabei auftreten sind in der nachfolgenden Skizze dargestellt.

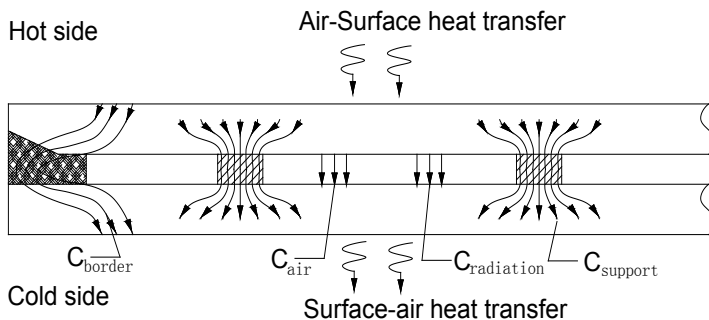


Abb. 41: Die Wärmetransportvorgänge in VG

Die Hauptkomponente ist natürlich der Vakuumpalt zwischen den beiden Glasscheiben. Das dabei notwendige Hochvakuum von 10^{-3} Pa zu erreichen ist dabei der wichtigste Produktionsschritt.

Das Evakuieren (Auspumpen) der Luft aus dem dünnen Scheibenzwischenraum über das Evakuierungsventil erfolgt in einem mehrstündigen Prozess mit bei möglichst hohen Temperaturen durch (Turbo)Molekularpumpen.

Hohe Prozesstemperaturen brechen die Bindungskräfte (Adhäsion) der Luft- und Wasserdampfmoleküle an die Oberflächen und ermöglichen erst ein Hochvakuum.

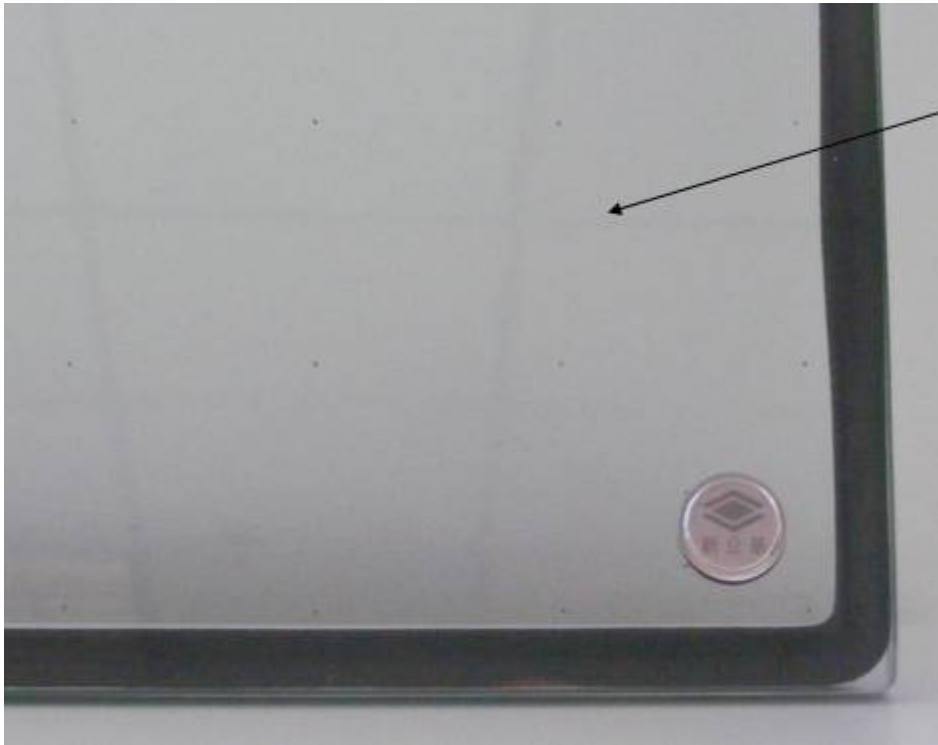


Abb. 42: Detail einer VG-Scheibe von Synergy

Viele der wichtigen Low-E-Beschichtungen werden aber durch hohe Temperaturen zerstört. Das Abstimmen der Prozesstemperatur ist daher ein Balanceakt zwischen guter Evakuierung und guten Low-E-Schichten.



Abb. 43: Der patentierte Getter und das Evakuierungsventil von Synergy unter Abdeckkappe

Alle Materialoberflächen „gasen“ im Vakuum permanent aus. Dieser Vorgang muss dauerhaft kompensiert werden.

„Ein Getter ist ein chemisch reaktives Material, das dazu dient, ein Vakuum möglichst lange zu erhalten. An der Oberfläche eines Getters gehen Gasmoleküle mit den Atomen des Gettermaterials eine direkte chemische Verbindung ein, oder die Gasmoleküle werden durch Sorption festgehalten“. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Getter>).

Auf diese Weise werden Gasmoleküle „eingefangen“. Meist ist das Titan oder Platin. Solch ein Getter ist also Voraussetzung für die gleichbleibende Qualität für die erwartete Lebensdauer von > 50 Jahren.

Trotzdem verbleiben Moleküle durch Ausgasen im Hochvakuum mit einem geringem Anteil von Restgas im Vakuumpalt und dieses beeinflusst den Wärmetransport, falls kein passender Getter benutzt wird. Der Getter bestimmt somit die effektive Lebensdauer.

Der Vakuumpalt wird durch kleine Abstandhalter oder Stützkörper (Pillars) auseinander gehalten. Diese müssen den Druck übertragen können, sind dadurch aber auch kleine punktförmige Wärmebrücken.

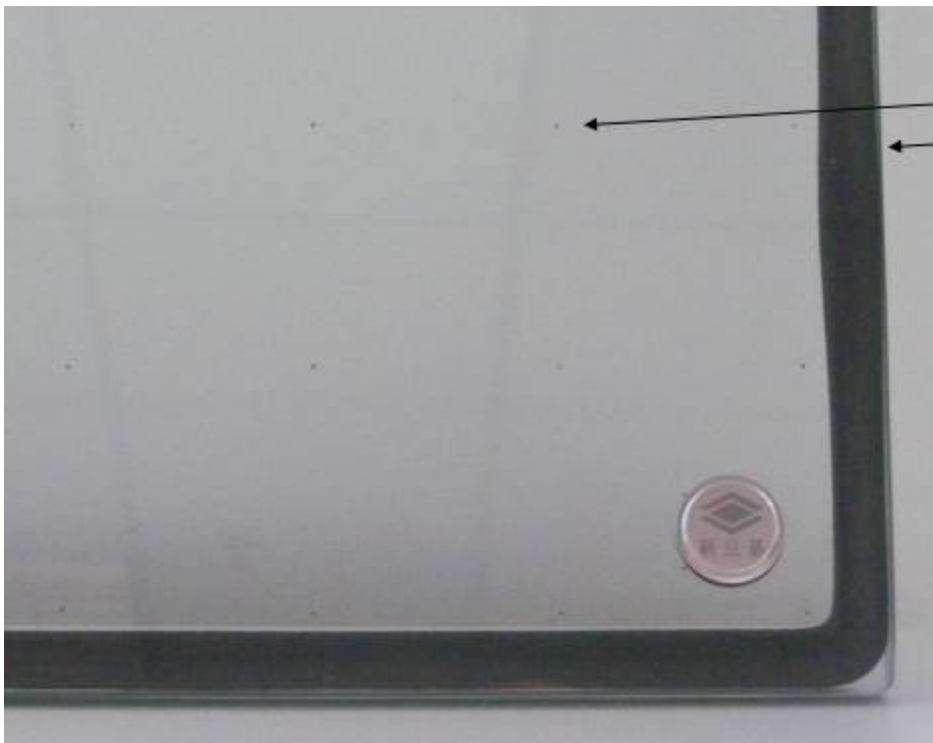


Abb. 44: Pillar und Randversiegelung in VG von Synergy

Neben der Wärmebrücke des Randverbunds sind die Form und der Abstand der Abstandhalter (Pillars) entscheidend für die thermische Qualität von VG. Die thermische Schwachstelle von VG wäre bei einem metallischen Randverbund noch etwas stärker wärmeleitend als bei Glaslot.

Die Verwendung von vorgespanntem Glas erlaubt größere Achsabstände der Pillars.

Der Pillar der Fa. SYNERGY ist auch durch Form und Material auf geringe Wärmeübertragung und gute Kraftübertragung optimiert. . Außerdem ist er relevant für den guten Schallschutz.

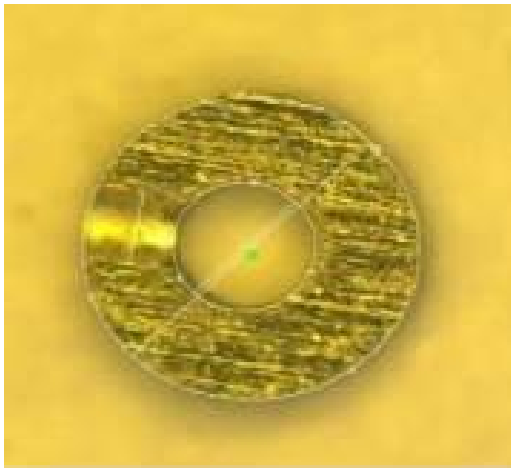


Abb. 45: Der patentierte Pillar von Synergy

Berechnung des Wärmetransports durch Pillars:

An estimate of the magnitude of the heat flow through an individual spacer is obtained from the thermal resistance associated with a small circular contact between two otherwise isolated semi-infinite slabs of material

$$Q_{\text{single spacer}} = 2k_{\text{glass}} a (T_1 - T_2)$$

where k_{glass} thermal conductivity of the glass, a is the radius of contact, and T_1 and T_2 temperatures of the slabs at large distances from the contact.

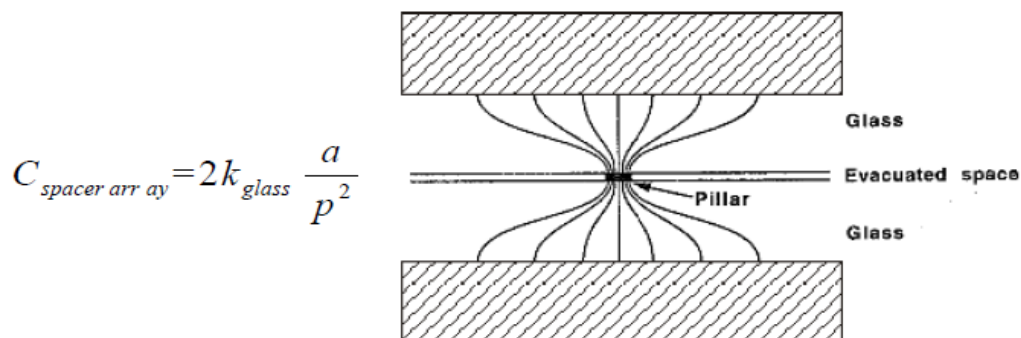


Abb. 46: Berechnung des Wärmetransports durch Pillars

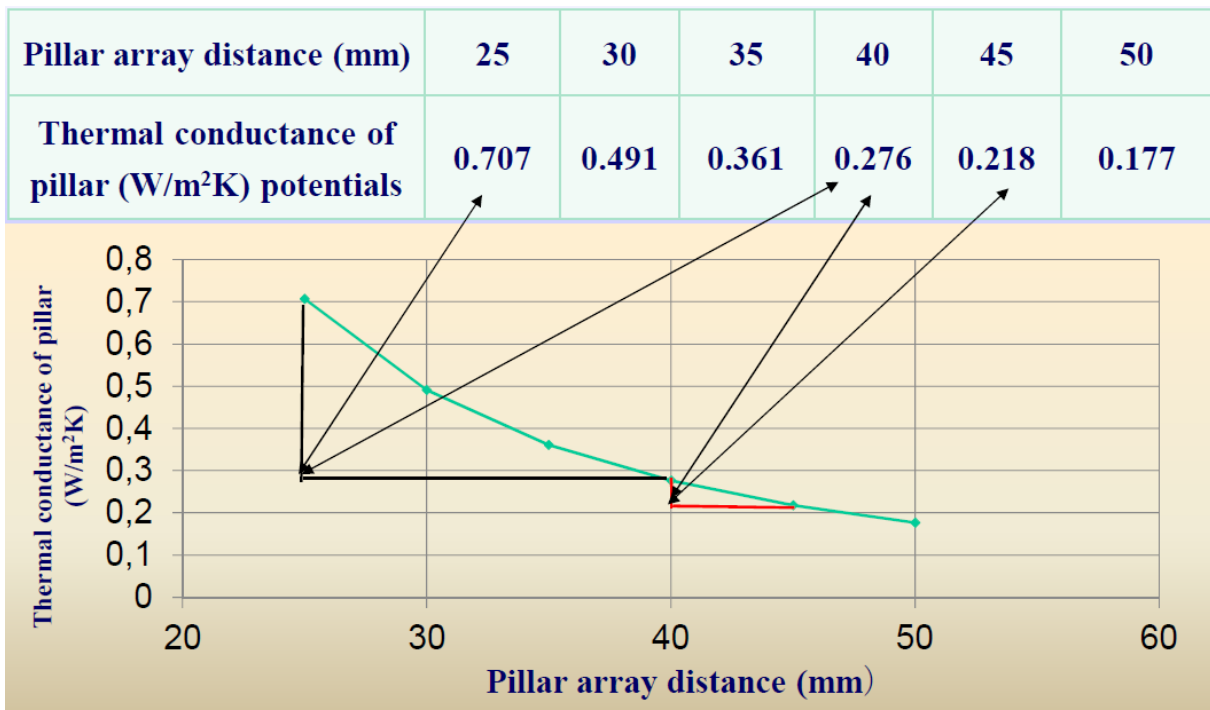


Abb. 47: Der Zusammenhang zwischen Pillar-Abstand und Wärmeleitfähigkeit von VG [Synergy]

Bestimmung des Wärmetransports durch den Emissivitätsgrad der Low-E-Beschichtung:

Der Strahlungsdurchgang durch ein VG-Element wird wie bei IG durch die Art und Qualität der Low-E-Beschichtung und deren Emissivitätsgrad bestimmt.

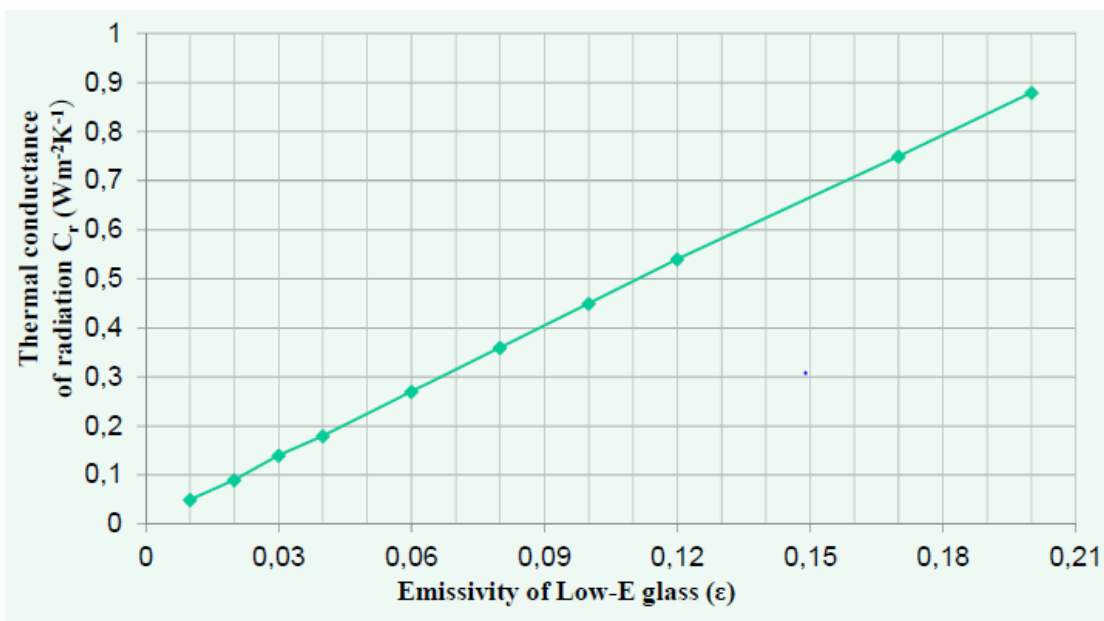


Abb. 48: Der Zusammenhang zwischen LowE-Beschichtung und Wärmeleitfähigkeit von VG

Items	$C_{\text{radiation}}$ $\text{W/m}^2\text{K}$	$\varepsilon=0.01,$ $C_r=0.05$	$\varepsilon=0.02,$ $C_r=0.09$	$\varepsilon=0.03,$ $C_r=0.14$	$\varepsilon=0.07,$ $C_r=0.32$	$\varepsilon=0.08,$ $C_r=0.36$	$\varepsilon=0.11,$ $C_r=0.49$	$\varepsilon=0.17,$ $C_r=0.75$
	C_{pillar} $\text{W/m}^2\text{K}$							
U value $\text{W/m}^2\text{K}$	Pillar array distance=30 mm, $C_{\text{pillar}}=0.491$	0.50	0.54	0.57	0.71	0.74	0.84	1.02
	Pillar array distance=40 mm, $C_{\text{pillar}}=0.276$	0.31	0.36	0.39	0.54	0.57	0.68	0.87
	Pillar array distance=45 mm, $C_{\text{pillar}}=0.218$	0.26	0.30	0.34	0.49	0.53	0.63	0.83

Note: 1. The data are calculated by Window 7 software. Use boundary conditions according to JGJ151-2008 Standard.
2. The pillar in vacuum glazing is ring-shaped from Synergy. The pillar array distance is 40 mm.

Abb. 49: Der Zusammenhang der Wärmeleitung von Strahlung, Wärmeleitung von Pillar und U-Wert der jeweiligen Low-E-Vakuumverglasung

Durch die Konstruktion und die Baukomponenten ergeben sich sehr typische thermische Charakteristika von Vakuum-Glas.

Der direkte Kontakt der beiden Glasscheiben durch die Randversiegelung bedingt eine starke Wärmebrücke am Rand der VG-Scheiben. Die starke Wärmeleitung dort zeigen diese beiden Wärmestromdarstellungen.

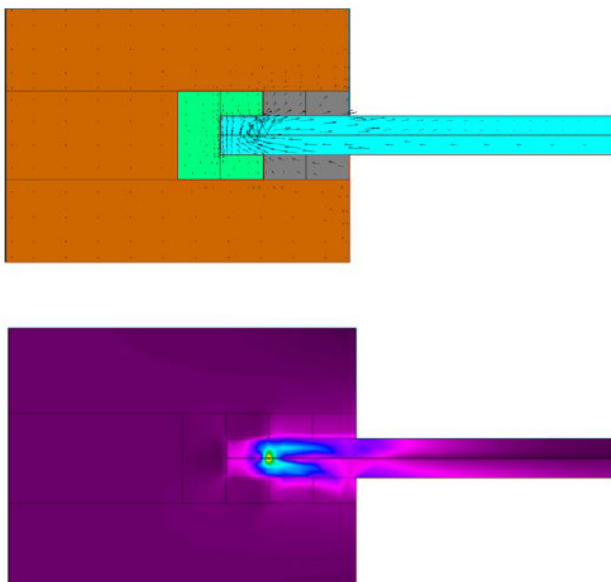


Abb. 50 und 51: Wärmestrom in der Glaslot-Randversiegelung

Dagegen ist in Feldmitte bedingt durch den Vakuumspalt der Wärmestrom minimiert und konzentriert sich nur auf die Abstandhalter (Pillar).

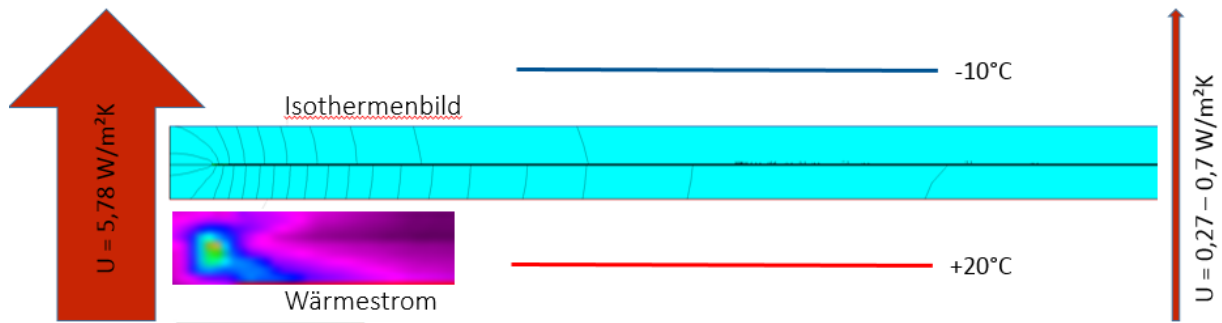


Abb. 52: U-Werte, Isothermenbild und Wärmestrom in der Glaslot-Randversiegelung

Das ergibt in einer Thermografieaufnahme ein ganz charakteristisches Bild einer VG-Scheibe. Am Rand die Wärmebrücke Randverbund, in der Mitte der gute Wärmeschutz durch das Vakuum mit dem Punktrastrer der kleinen Wärmebrücken durch die Pillars.

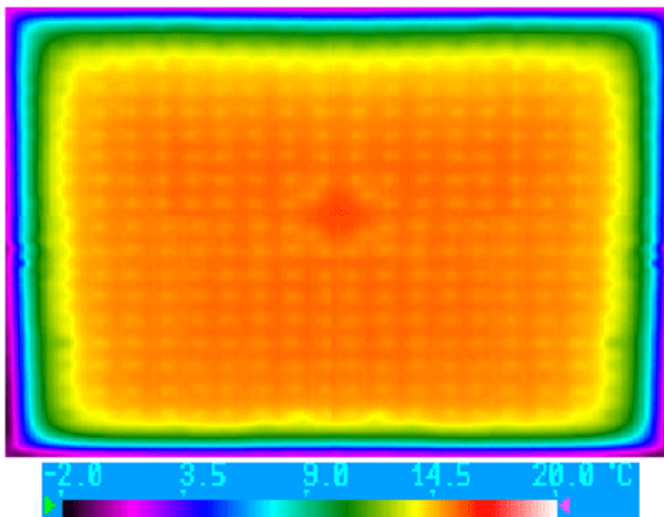


Abb. 53: Thermografiebild einer Vakuumglas-Scheibe []

Berechnung des Wärmetransports durch den Randverbund:

$$Q_{edge} = \frac{(T_1 - T_2) k_{glass} t}{\sqrt{\frac{k_{glass} t}{h_1} + w_1 + w_2} + \sqrt{\frac{k_{glass} t}{h_2}}}$$

$$C_{air-to-air,edge} = \frac{2 \frac{(length + width)}{length \times width} k_{glass} t}{\sqrt{\frac{k_{glass} t}{h_1} + w_1 + w_2} + \sqrt{\frac{k_{glass} t}{h_2}}}$$

The conductance is valid for negligible heat transfer through the glazing. That is, the conductance of the glazing should be small compared to the external heat transfer coefficients; 8.3 and 30 W m⁻² K⁻¹.

Für den Wärmetransport durch den 0,2 mm starken Randverbund ist bestimmend wie breit der Randverbund / die Glasfritte ist und wie tief der Glaseinstand im Fensterrahmen ist. Die Breite des Randverbunds schwankt je nach Hersteller und Ausführungsqualität. Bei den Testgläsern für dieses Sondierungsprojekt waren sie ca. 10 mm breit. Das ist relativ schmal. Bei anderen Herstellern sind es eher Breiten für die üblichen Verhältnisse im Markt mit ca. 12 - 13 mm. Für die Dichtheit und die Festigkeit der Vakuumglasscheibe wäre eine Breite von 5 mm wohl ausreichend. Das wäre aus thermischer Sicht optimal. Leider fehlen noch die systematischen Tests für die Stressbelastung. Dies ist für Folgeprojekte geplant.

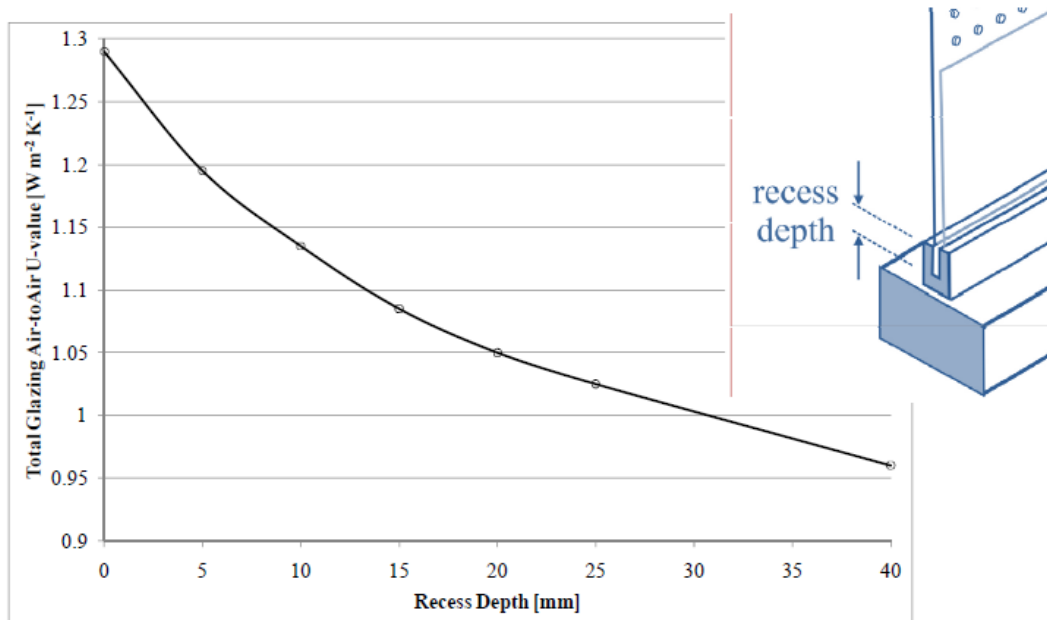


Abb. 54: Zusammenhang zwischen Breite Randverbund, Einstandstiefe und U-Wert

Diese Darstellung ist unklar oder irreführend weil offensichtlich der Glaseinstand von der Oberkante Fensterrahmen bis zur Unterkante Vakuumglas gemessen wird.

Sehr klar ist, dass die thermische Performance der Vakuumglasscheibe um so besser wird je tiefer der Glaseinstand ist.

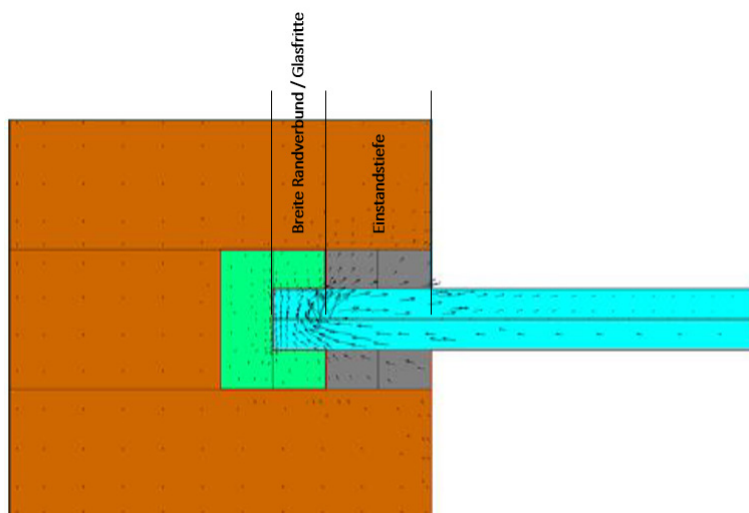


Abb. 55: Darstellung der relevanten Einstandstiefe VG im Fensterrahmen

Wie in den Simulationsrechnungen sehr deutlich wird zählt aber der Abstand zwischen Oberkante Fensterrahmen und der Oberkante Randverbund / Glasfritte. Das heißt je tiefer der transparente Teil der Verglasung in den Rahmen hineinragt um so besser ist es für die Reduktion dieser Wärmebrücke. Es gilt zusätzlich geeignete Verglungstechniken und Rahmensysteme zu entwickeln. Erste Projekte in Deutschland wurden dazu eben gestartet.

4.2.3 Ein Ergebnis thermischer Stresstests von VG

Als Teil der Gebäudehülle ist es für jede Isolierglasscheibe klar, dass die Außen- und die Innenscheibe unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sind. Diese unterschiedlichen Temperaturen verursachen Materialspannungen in den Scheiben und im Randverbund. Das ist besonders bei Vakuumglas ein wichtiges Thema weil hier die beiden Scheiben so dicht miteinander verbunden sind und der Randverbund nicht elastisch ist. Diese beständigkeit hat einen unmittelbaren Zusammenhang mit der Dauerhaftigkeit und der Lebensdauer des Produkts.

Daher war eine Bestätigung der guten Chinesischen Testergebnisse durch ein Europäisches Speziallabor sehr interessant und wichtig.

Derartige Tests wurden im Frühjahr 2015 unabhängig von diesem Projekt im Zentrum für angewandte Energietechnik an der Universität Würzburg (ZAE) durchgeführt.

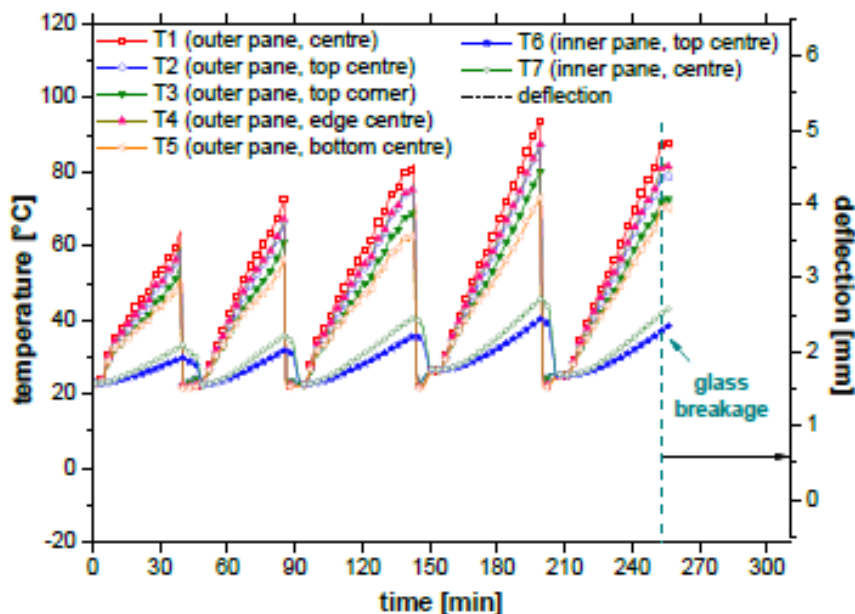


Abb. 56: Ergebnis thermischer Stresstests für VG im Prüflabor des ZAE Würzburg

Das Ergebnis thermischer Stresstests im Prüflabor des ZAE Würzburg ergab für VG eine bessere Beständigkeit als für vergleichbares IG. Es hielt größeren Temperaturdifferenzen länger (über mehr Prüfzyklen) Stand.

Beschreibung des ZAE – Prüfvorgangs:

"Infrarot-Lampen mit einer definierten Aufheizgeschwindigkeit im langwelligen Infrarotbereich heizen eine Glasprobe auf eine vorgegebene Temperatur auf. Die Probe wird anschließend mit kaltem Wasser (temperaturgesteuerter "treibender Regen") besprüht und abgeschreckt. Die Glasverformung und lokale Temperaturen oder Temperaturdifferenzen werden

kontinuierlich in den einzelnen Heiz- und Kühlzyklen aufgezeichnet. Durch zyklisches Wiederholen der Erwärmungs- und Abschreckungsverfahren und gleichzeitig eine Erhöhung der Temperatur im gleichen Abstand auf ein Maximum kann die Probe über die Grenzen ihrer maximalen Belastungsfähigkeit gebracht werden. Der Wärmedurchlasswiderstand der Probe kann mit Hilfe von gemessenen Parametern für den Punkt an dem das Glas bricht festgelegt werden. Neben der thermischen Charakterisierung von Glas und Glassystemen kann der Prüfstand bei ZAE Bayern auch für zyklische Lebensdauer-Tests verwendet werden, um die langfristige Stabilität der Systeme zu bewerten."

Die von den Herstellern erwartete Dauerhaftigkeit und Lebensdauer (> 50 Jahre) ist aus Sicht der thermischen Beanspruchung und der Klimabelastungen nicht unrealistisch.

4.2.4 Die Vor- und Nachteile von VG

Die Vorteile von Vakuumglas VG sind:

- VG ist deutlich dünner als IG, ab $2 \times 3 \text{ mm} = 6,2 \text{ mm}$ Gesamtstärke
- VG kann daher direkt Einfachverglasungen ersetzen
- VG ist leichter als Dreifach-IG
- Der Ug-Wert von VG bleibt bei allen Neigungswinkeln gleich
- VG kann sich bei Wärme nicht „aufpumpen“

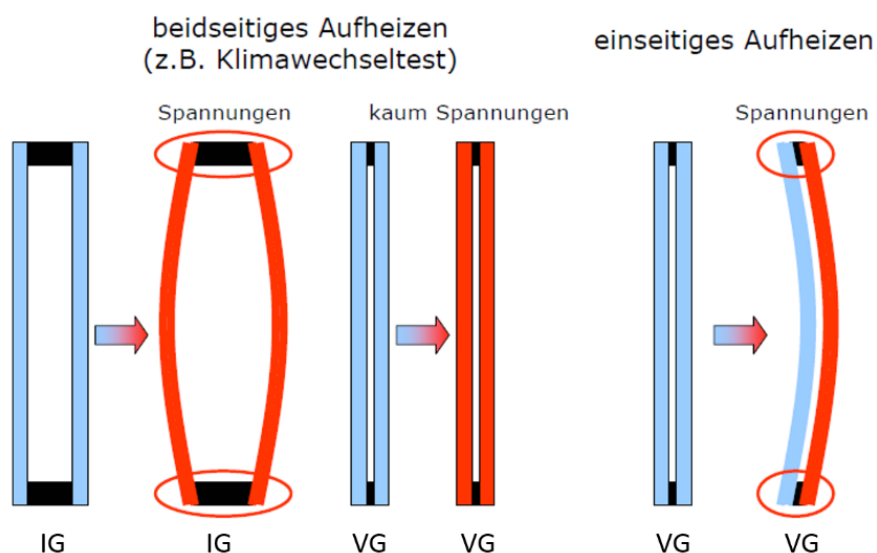


Abb. 57: Glasbewegungen bei Klimabelastungen IG und VG [H.Hohenstein]

- Der Glasrandverbund mit Glaslot hält nach allen bisherigen Tests den Spannungen bei einseitiger Erwärmung dauerhaft stand
- guter Schallschutz (> 37 dB), der Vakuumpalt überträgt keinen Schall, nur die Pillars

- VG kann in allen Höhenlagen (z.B. Tibet) eingesetzt werden
- VG könnte auch per Luftfracht transportiert werden
- Der Randverbund von VG ist witterungsfest und UV-stabil
- VG hat eine deutlich längere zu erwartende Lebensdauer als IG, > 50 Jahre
- VG hätte damit eine bessere Ökobilanz (Ermittlung ist in Arbeit)
- VG kann aber auch mit IG zu VIG zusammengebaut werden.
- so ein Zusammenbau kann $U_g = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen
- ein Zusammenbau von 2 x VG kann $U_g < 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen

Die Nachteile von Vakuumglas VG:

- Noch fehlen viele internationale Zertifikate und abgeschlossene Test
- Keine der Produzenten nennt die psi-Werte (Wärmebrücke des Randverbunds)
- Die Pillars und der Getter können als optisch störend empfunden werden.
- Die Durchschlagsfestigkeit von VG ist bei Punktbelastung (am Pillar) gering.
- VG ist in der Anschaffung derzeit deutlich teurer als IG
- Es gibt derzeit (noch) keine Produktionsstätte in Europa = (derzeit) lange Lieferwege und -zeiten.

4.3 Die aktuellen Anbieter für Vakuumglas

4.3.1 Das Vakuumglas der Fa. NIPPON SHEET GLASS (NSG) Pilkington Spacia /Japan

Ab 1996 in Zusammenarbeit mit der University of Sydney (Prof. Collins) entwickelt

- 2 x 3 mm Floatglas, Gesamtdicke 6,2 mm
- 2 x 4 mm Floatglas, Gesamtdicke 8,2 mm
- 2 x 5 mm Floatglas, Gesamtdicke 10,2 mm
- 0,2 mm Vakuumschicht
- Vacuumlevel zuerst nur 10^{-1}
- Pillars 0,5 mm im Abstand von 20 mm
- Evakuierungsventildurchmesser 12 mm mit Kunststoffkappe abgedeckt
- Maximalgröße: 1500 x 2400 mm
- Minimalgröße: 120 x 335 mm
- Ersatz für Einscheibenverglasung
- Absatzmenge nicht sehr groß

- mehr als 200 € / m²

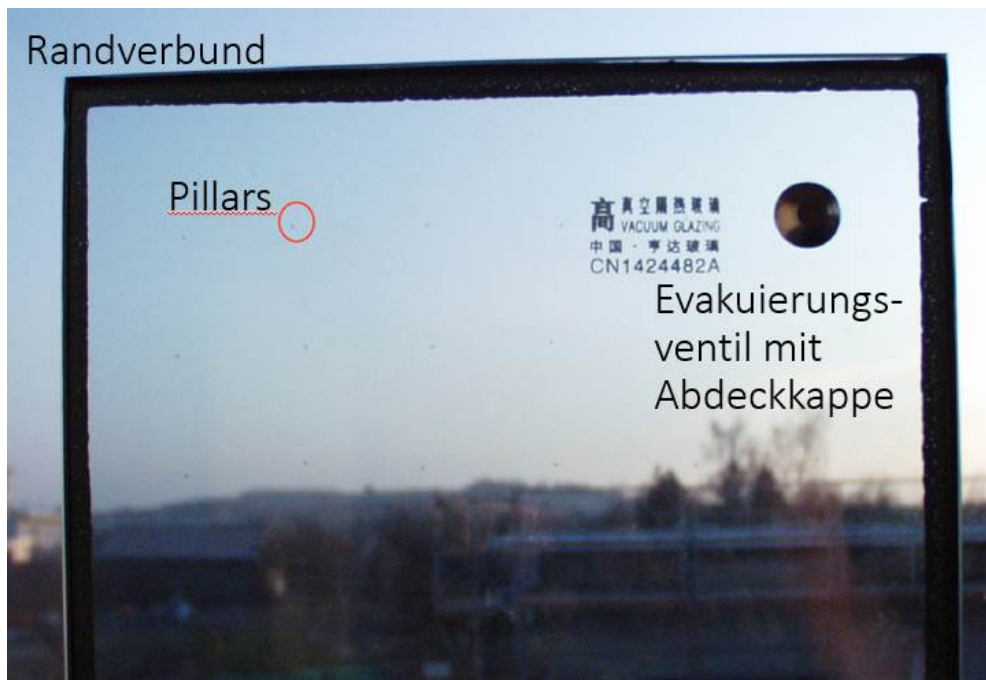


Abbildung 58: Vakuumglasscheibe Pilkington Spacia™

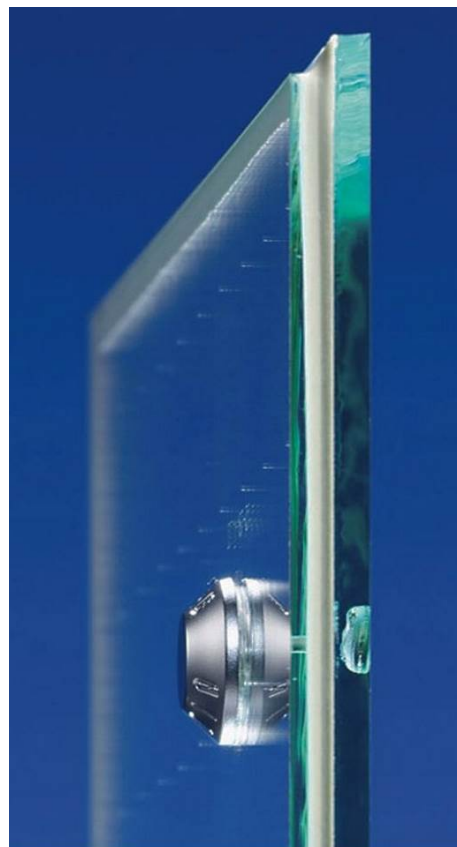


Abbildung 59: Vakuumglasscheibe Pilkington Spacia™ Seitenansicht mit Evakuierungsventil

Tabelle 3: Technische Kennwerte Pilkington Spacia
 [www.pilkington.com/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/spacia/default.htm]

GK	Ug-Wert [W/m ² K]	Ti [%]	g-Wert [%]
Pilkington Spacia™	1,2	75	67
Pilkington Spacia™ ST II	1,1	78	66
Pilkington Spacia™ Cool	0,9	68	52

Kontaktdaten:

NSG Group - Pilkington United Kingdom Limited, European Technical Centre, Hall Lane, Lathom, Nr Ormskirk, Lancashire L40 5UF, Phone 01744 692000, pilkington@respond.uk.com
www.pilkinghttp://www.pilkington.com/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/spacia/default.htm

4.3.2 Das Vakuumglas der Fa. GLASS EAGON INDUSTRIAL Co. Seoul / Südkorea

- 5 mm Floatglas
- 0,25 mm Vakuumschicht
- Achsabstand der Pillars 30 oder 40 mm
- Pillars aus Edelstahl oder Ferro-Glas, Durchmesser 0,5 mm und 0,25 mm hoch
- Das Vacuumlevel ist sehr hoch 10^{-6}
- Low-E-Schicht mit $E = 0,042$
- Randversiegelung mit Blei-Glaslot, Breite 8 mm
- Evakuierungsöffnung mit flachem Getter
- Winddruckwiderstand 3.400 Pascal
- Verkaufspreis ca. 180 EUR / m².
- $U_g = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$

Das Vakuumglas VG wird derzeit nur in Kombination mit Isolierglas (VIG) angeboten

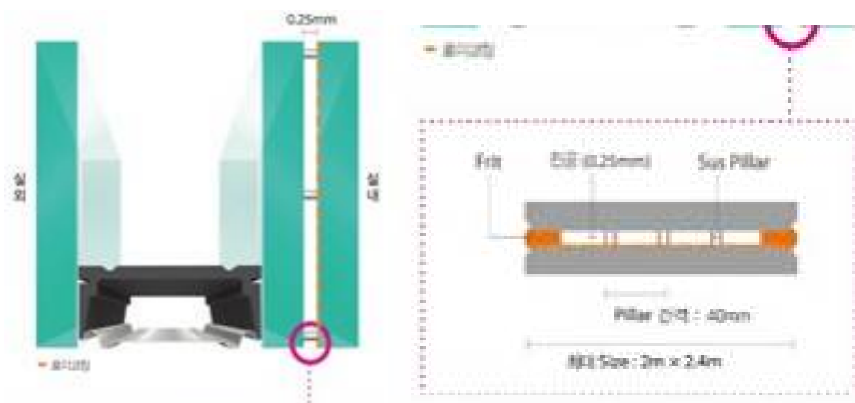
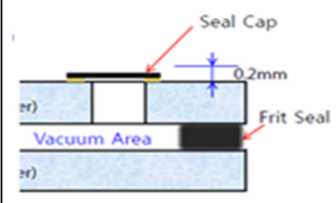


Abbildung 60: Vakuumglasscheibe Eagon als VIG [Eagon]

Tabelle 4: Technische Kennwerte Eagon

	2nd VIG (Eagon)
Thermal property	0.48 W/m ² K
Vacuum level	10 ⁻⁶ torr
Max. size	2.4m X 2.0m
processing	Vacuum chamber
	 <p>The diagram shows a cross-section of a vacuum-insulated glass unit. It consists of two glass panes with a space between them. A 'Seal Cap' is shown on top, and a 'Frit Seal' is shown on the bottom edge. A 'Vacuum Area' is indicated between the panes. A dimension of 0.2mm is shown for the gap between the seal cap and the glass pane.</p>

Kontakt Daten:

EAGON Windows & Doors, EAGON Industrial 91, Yeomjeon-ro, Nam-gu, Incheon, Korea 032-760-0001

www.eagon.com/eng/index.asp, www.eagon.com/eng/02/sub01_4.asp

4.3.3 Das Vakuumglas der Fa. QINGDAO HENGDA GLASS TECHNOLOGY Co. Ltd, China

Ab 1999 in Zusammenarbeit mit Prof. Tang entwickelt.

- 3 - 5 mm Floatglas (aus Taiwan)
- 0,15 mm Vakuumschicht
- Achsabstand der Pillars 25 – 35 mm
- Pillars aus Edelstahl oder Ferro-Glas (nicht immer gleichmäßig)
- Das Vacuumlevel war mit 10^{-1} gering, jetzt aber 10^{-4}
- Low-E-Schicht, double silver off-line Low-E glass (Produkt von Guardian)
- Randversiegelung noch mit Blei-Glaslot (aktuell Suche nach Alternativen)
- Evakuierungsöffnung (extraction port) wie NSG, nur teilweise mit Getter
- Winddruckwiderstand 3.400 Pascal
- Verkaufspreis 140 – 170 EUR /m²
- Ug = 0,5 – 0,7 W/m²K, bei der Variante Doppel VIG 0,3 W/m²K

Das Vakuumglas VG wird auch in vielen Kombination mit Isolierglas (VIG) angeboten.

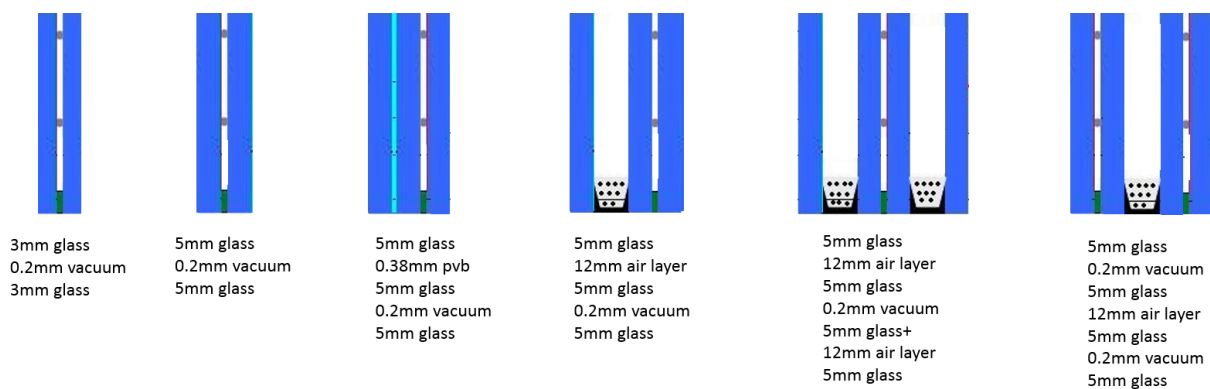


Abbildung 61: Vakuumglas (VG) in vielen Kombinationen mit Isolierglas (VIG)
[\[http://www.tjskl.org.cn/images/czae8e51-pz2702078-vacuum_insulating_glass.html\]](http://www.tjskl.org.cn/images/czae8e51-pz2702078-vacuum_insulating_glass.html)



Abbildung 62: Ein Probestück Vakuumglas (VG) von Hengda [http://www.tjskl.org.cn/images/czae8e51-pz2702078-vacuum_insulating_glass.html]

Kontaktdaten:

QINGDAO HENGDA GLASS TECHNOLOGY Co. Ltd, Shandong, P.R.C.

**No.590 Hongliu River Road Economic & Technological Development
Zone, Qingdao, 266426, P.R.C.**

0532-83160568/0333 hdglass@hd-glass.com, www.hd-glass.com/en/index.aspx

4.3.4 Das Vakuumglas der Fa. BEIJING SYNERGY VACUUM GLAZING TECHNOLOGY Co., Ltd Peking / China

Diese Firma wurde 2003 neu gegründet und steht unter der direkten wissenschaftlichen Leitung von Prof. Tang. Wesentlich dabei war 2011 – 2014 die Entwicklung einer neuen vollautomatischen 800 Meter langen Produktionsanlage.



Abbildung 63: Produktionsanlage der Fa. Synergy [Synergy]

Das Kernstück der Produktionsanlage ist der kontinuierlich durchlaufene Evakuierungsofen.



Abbildung 64: Evakuierungsofen der Fa. Synergy [Synergy]

Tabelle 5: Verfügbare VG-Gläser bei Synergy

Available single VG structure								
VG structure outside inside	Visible light		Solar radiation		Shading coefficient SC	Total solar energy transmittance g- value	Heat transfer coefficient U W/(m²K)	glazing selectivity coefficient S
	transmittance τ_{vis}	reflectance ρ_{vis}	transmittance τ_{sol}	reflectance ρ_{sol}				
T*L5(single-Ag)+V+T*5	0.790	0.121	0.505	0.228	0.630	0.548	0.578	1.44
T*L5(tri-pe-Ag)+V+T*5	0.638	0.117	0.317	0.383	0.389	0.338	0.429	1.89
T*L5(tri-pe-Ag)+V+TL*5(tri-pe-Ag)	0.499	0.106	0.107	0.434	0.205	0.178	0.371	2.803

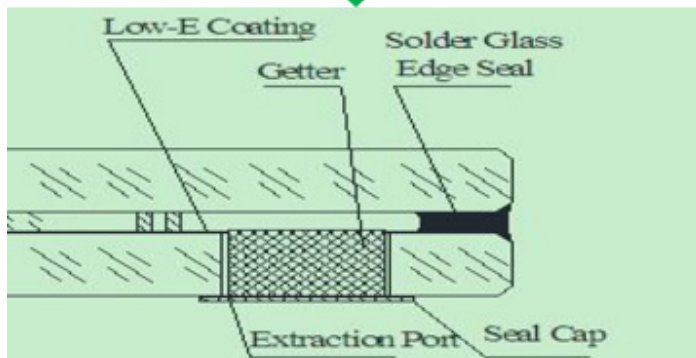
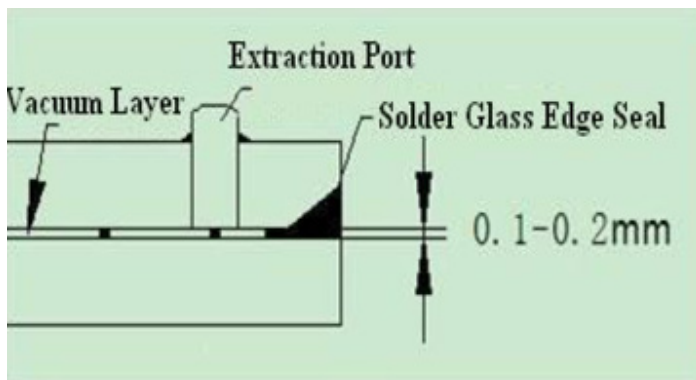


Abbildung 65: Technische Weiterentwicklung bei der Fa. Synergy [Synergy]

Ausführung der 1. Generation:

- Floatglass
- Evakuierungsventil mit Schutzkappe
- Randversiegelung alt
- Stützkörper massiv
- $U_g = 0,6 - 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ausführung der 2. Generation bei Synergy:

- (Teil)vorgespanntes Glas
- Evakuierungsöffnung mit Getter ebenflächig im Glas
- Randversiegelung neu
- Stützkörper hohl
- $U_g = 0,3 - 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Bisherige Ausführung – halbautomatischer Produktionsprozess:

- Floatglass und teilvorgespannt
- Achsabstand der Stützkörper 25 – 30 mm bei Float und 40 mm bei teilvorgespanntem Glas (TVG)
- 0,15 mm Vakuumschicht
- Das Vacuumlevel ist hoch 10^{-3}
- Prozesstemperatur ca. $410 - 430^\circ\text{C}$
- daher nur ausgewählte Offline-Low-E und Online-Low-E-Schichten möglich ($E > 0,03$)
- Evakuierungsventil mit überstehender Schutzkappe
- Randversiegelung mit Handauftrag
- Abstandhalter (Pillars) als Hohlzylinder
- $U_g = 0,6 - 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Neue Ausführung – vollautomatischer Produktionsprozess:

- Teilvorgespanntes und vollvorgespanntes Glas
- 0,15 mm Vakuumschicht
- Der Vacuumlevel ist hoch 10^{-3}
- Achsabstand der Stützkörper mit 40 mm weiter (45 mm in Tests)
- Prozesstemperatur 410°C
- Ausgewählte Softcoating Low-E-Schichten möglich ($E = 0,03$)
- Randversiegelung mit optimierter Glasfritte
- Pillar hohl und mit verbesserter Formgebung
- Evakuierungsöffnung mit flachem integriertem Getter
- $U_g = 0,37 - 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Der Verkaufspreis ist ca. 140 EUR /m².

Kontaktdaten:

BEIJING SYNERGY VACUUM GLAZING TECHNOLOGY Co., Ltd

**2 Zhongguancun South Street, Haidian Enomic-technological Development Area,
Beijing, P.R.C, 0086-52049257 market@bjsng.com, www.bjsng.com/ENIntro.aspx**

4.4 Das Anwendungspotenzial und der Markt für Vakuumglas

Das Anwendungspotenzial im Neubaubereich ist groß

- wenn wir angepasste Fensterrahmen und Fassadenprofile dazu haben werden
- in Kombination mit zusätzlichen Funktionsschichten (Sonnenschutz, Lichtlenkung, ...)

und ein noch größeres Anwendungspotenzial gibt es

- im Sanierungsbereich durch direkten Austausch von Einfachglas gegen VG.
-

In Mittel- und Nordeuropa hat sich Zwei- und Dreifach-isolierglas etabliert. Fast der ganze Rest der Welt hat Einfachverglasungen. Daher sind das Anwendungspotenzial und der Markt für Vakuumglas, überall dort wo es Kühl- und Heizbedarf in den Gebäuden gibt, riesig.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen einige der bislang ausgeführten Objekte.



Abbildung 66: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas [H. Hohenstein]



Abbildung 67: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas [H. Hohenstein]



Abbildung 68: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas – Aktiv-Plus-Testhaus Stuttgart
 [http://derstandard.at/2000004153602/Ein-Haus-als-Gast-in-der-Siedlung]

Die Universität Stuttgart (Prof. W. Sobek) hat Testscheiben in der Variante VIG (T5 + 0,76P + TL5 + 9A + TL5 + V + T5, $U_g=0,463 \text{ W/m}^2\text{K}$) in das Aktiv-Plus Testhaus „B 10“ eingebaut.
www.aktivhaus-b10.de/home/

Tabelle 6: Kennzahlen des verwendeten Vakuumglases

Structure		Thickness (mm)	Visible light transmittance τ_{vis} (%)	Glazing selectivity coefficient S	Solar heat gain coefficient g	Emissivity of Low-E	Heat transfer coefficient U ($Wm^{-2}K^{-1}$)	Sound insulation (dB)
Outside	Inside							
Laminated+ IG+VG T5+0.76P+TL5+9A +TL5+V+T5		29	61.13	1.6	0.382	0.17 0.059	0.463	39



Abbildung 69: Geplante Objekte mit Vakuumglas – Testhaus VISIONEUM ENERGIE+ Königsbrunn bei Augsburg [Hochschule Augsburg]

Die Hochschule Augsburg (Prof. G. Sahner) baut gerade 300 m² Testscheiben in ihr Versuchsgebäude „Visioneum Energie+“ ein.

Bei der Internationalen Baumesse München im Jänner 2015 hat die Fassadenbaufirma RAICO diese Konzeptidee eines Fassadensystems mit Vakuumglas ausgestellt.

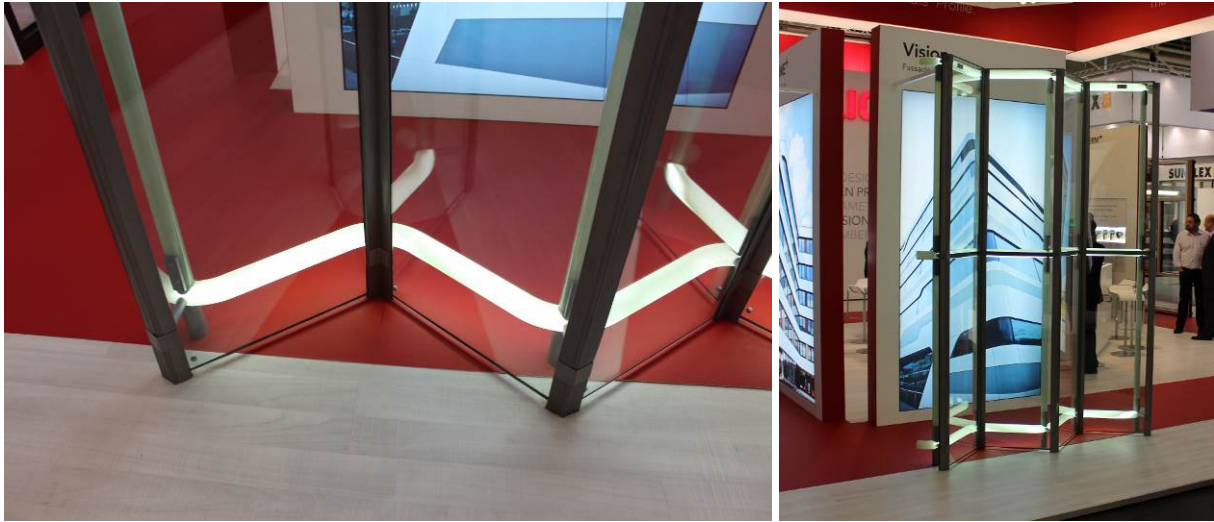


Abbildung 70 und 71: Fassadensystem mit Vakuumglas – Fa. Raico



Abbildung 72: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas – Aktiv-Plus-Testhaus Stuttgart
[\[http://derstandard.at/2000004153602/Ein-Haus-als-Gast-in-der-Siedlung\]](http://derstandard.at/2000004153602/Ein-Haus-als-Gast-in-der-Siedlung)

Ein Versuch zur thermischen Modernisierung von Bestandsfenstern mit Vakuumglas wurde bei der Baumesse ebenfalls gezeigt. Dazu wurde als Modernisierungsbeispiel der Einbau von VG in den Innenflügel eines Holz-Verbundfensters aus dem Jahr 1955 demonstriert. Diese Maßnahme ist

- optisch kaum sichtbar

und zusätzlich wurde eine

- neue umlaufende Selbstklebedichtung

eingebaut. Diese Maßnahmen verbesserten den Wärmeschutz von

- vorher $U_w = 2,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
- auf $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit VG.

Durchgeführt wurde der Versuch von Prof. Dr. Armin Rogall von der FH Dortmund.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Vakuumglastechnologie ist noch sehr jung aber entwickelt sich in Asien sehr dynamisch. Wegen Verschärfung der Gesetzeslage ist zuletzt eine prinzipiell hohe Nachfrage in Südkorea aber auch in China zu verzeichnen. Eine Reihe von interessanten Erprobungen und Tests in Europa zeigt das Potenzial und Anwendungsmöglichkeiten auf.

Diese gezeigten Beispiele und auch die interessanten Ergebnisse dieses Projekts zeigen eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten für Vakuumglas im Neubaubereich und in der Modernisierung des Gebäudebestands.

Dazu sind noch einige technische Fragen zu klären. In der Bestandsmodernisierung durch Einbau in Bestandsfenster müssen noch optimierte Einbaukonzepte entwickelt werden. Für die Nutzung im Neubaubereich sind die Fensterrahmen noch entsprechend den Spezifika von Vakuumglas anzupassen und vor allem können nun dünnere und leichtere Konstruktionen entwickelt werden.

Schwieriger ist die Einschätzung der Wirtschaftlichkeit.

Die derzeit große Preisdifferenz zum Mehrscheiben-Isolierglas zu Vakuumglas und Vakuum-Isolierglas (und auch zu Heat-Mirror-Verglasungen) scheint die Anwendung im Neubaubereich zu begrenzen. Allerdings wenn man den Gesamtnutzen für Gebäude und Mensch sieht, bewerten dies führende Architektur-Gruppen sehr positiv.

Bei Reparaturmaßnahmen von wertvollen Bestandsfenstern ist der Einsatz von VG sicher immer sinnvoll.

Der Austausch von Einfachglas gegen VG in wertvollen Bestandsfenstern ist vor allem als Verbesserungsmaßnahme zum Innenraum-Nutzungscomfort zu sehen. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist relevant und kann fallweise auch wirtschaftlich sinnvoll sein.

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heat Mirror® Isolierglas Isolierglas-Vergleichstabelle [www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx].....	18
Tabelle 2: THERMUR HM Isolierglas-Vergleichstabelle (Zahlen lt. Minusdrei gmbh)	19
Tabelle 3: Technische Kennwerte Pilkington Spacia [www.pilkington.com/products/bp/bybenefit/thermalinsulation/spacia/default.htm].....	47
Tabelle 4: Technische Kennwerte Eagon.....	49
Tabelle 5: Verfügbare VG-Gläser bei Synergy	53
Tabelle 6: Kennzahlen des verwendeten Vakuumglases.....	56

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Wärmeschutzglases	7	
Abbildung 2: Entwicklung der Low-E-Beschichtung	8	
Abbildung 3: Einfluss der Neigung auf die Konvektion.....	8	
Abbildung 4: Pumpbewegungen bei Dreifach-Isolierglas	9	
Abbildung 3: Verglasungen mit Krypton - Ausschnitt Komponentendatenbank [http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE]n	10	
Abbildung 6: Verglasungen mit Argon - Ausschnitt Komponentendatenbank [http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE]n	12	
Abbildung 7, 8 und 9 : Spitzenreiter bei den Ug-Werten in Abhängigkeit vom Verglasungsaufbau - Ausschnitt Komponentendatenbank [http://passiv.de/komponentendatenbank/de-DE]	12	
Abbildung 9 : Systemschnitt des SGIC CLIMATOP LUX LIGHT Isolierglassystems [www.glaswelt.de/GLASWELT-2014-1/3-fach-aber-leichter,QUIEPTU2OTYzNyZNSUQ9MTA0ODcw.html].....	15	
Abbildung 9 : Systemschnitt des SGIC CLIMATOP LUX LIGHT Isolierglassystems [minusdrei gmbh]	16	
Abbildung 12 : Systemschnitt des Randverbunds bei mehreren zwischengespannten Folien und den nach innen gezogenen Abstandhaltern [www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx].....	17	
Abbildung 13 : Schnittdarstellungen von Mehrkammer-isolierglas mit Heat-Mirror Folien [www.eastman.com/Brands/HeatMirror/Residential/Pages/How_It_Works.aspx].....	18	
Abb. 14 : THERMUR HM auf der Baumesse	Abb. 15 : Schnittdarstellungen mit 3 Heat-Mirror Folien	19
Abb. 14 : Gegenüberstellung Heat-Mirror-Glas gegen Dreifach-Isolierglas	20	
Abbildungen 17, 18 und 19 Belastungstest Dünnglas (©Lisec)	22	
Abb. 20 : Aufbau MEM4WIN 4-fach Iso (©Lisec).....	23	

Abb. 21 : Dreifach-Vakuumglas-Konzept, Patent Zoller 1913 []	24
Abb. 22 : Laser-verschweißtes Vakuumglas-Konzept mit Glaskugeln als Stützkörper [https://www.google.com/patents/US4683154]	25
Abb. 23 : Richard E. COLLINS [http://www.nsg-spacia.co.jp/spacia/]	25
Abb. 24 : Aufbau MEM4WIN 4-fach Iso (©Lisec)	26
Abb. 25 und 26: Patente für Evakuierungsventil und Abstandhalter für Richard Edward Collins und Jian-Zheng Tang [https://www.google.com/patents/US6054195 und https://www.google.com/patents/US6071575]	26
Abb. 24 : Prinzip-Darstellungen vom Vakuumglas Spacia [www.nsg-spacia.co.jp/tech/index.html]	28
Abb. 24 : Vakuumglasscheibe von NSG, Pilkington Spacia™ [NSG]	29
Abb. 24 : Einfachscheibe mit Kondensat / VG ohne Kondensat [http://www.sun-wind.jp/dannetsu-ketsuro]	29
Abb. 30 : VG ohne Kondensat / Einfachscheibe mit Kondensat [http://lixil-reformchain.jp/shop/SC00183004/case/016478.html]	30
Abb. 30 : Museum Hermitage Amsterdam. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Hermitage_Amsterdam_-_Ingang.JPG]	30
Abb. 32 : Einglasen der VG-Scheiben mit Kittfase in die Bestandsrahmen [www.schildersvak.nl/download/i/09svk001z022.pdf]	31
Abb. 32 : Eingebaute VG-Scheiben in den Bestandsrahmen [NSG Pilkington Spacia]	31
Abb. 34 : Eingebaute VG-Scheiben in den Bestandsrahmen [www.brikbasesites/default/files/best3_barry.pdf]	32
Abb. 35 und 36: Eingebaute VG-Scheiben mit Ventil [www.brikbasesites/default/files/best3_barry.pdf]	32
Abb. 37 : Prinzip und Komponenten von Vakuumglas [© ZAE Bayern, Würzburg]	33
Abb. 38 und 39: Randverbund mit Glaslot und verschweißtem Metall [[rechts © ZAE Bayern, Würzburg]	34
Abb. 40: Produktionsschritte bei Vakuumglas mit Glaslot-Randversiegelung	34
Abb. 41: Die Wärmetransportvorgänge in VG	35
Abb. 42: Detail einer VG-Scheibe von Synergy	36
Abb. 43: Der patentierte Getter und das Evakuierungsventil von Synergy unter Abdeckkappe	36
Abb. 44: Pillar und Randversiegelung in VG von Synergy	37
Abb. 45: Der patentierte Pillar von Synergy	38
Abb. 46: Berechnung des Wärmetransports durch Pillars	38
Abb. 47: Der Zusammenhang zwischen Pillar-Abstand und Wärmeleitfähigkeit von VG [Synergy]	39
Abb. 48: Der Zusammenhang zwischen LowE-Beschichtung und Wärmeleitfähigkeit von VG	39
Abb. 49: Der Zusammenhang der Wärmeleitung von Strahlung, Wärmeleitung von Pillar und U-Wert der jeweiligen Low-E-Vakuumverglasung	40

Abb. 50 und 51: Wärmestrom in der Glaslot-Randversiegelung	40
Abb. 52: U-Werte, Isothermenbild und Wärmestrom in der Glaslot-Randversiegelung	41
Abb. 53: Thermografiebild einer Vakuumglas-Scheibe []	41
Abb. 54: Zusammenhang zwischen Breite Randverbund, Einfeldtiefe und U-Wert	42
Abb. 55: Darstellung der relevanten Einfeldtiefe VG im Fensterrahmen	42
Abb. 56: Ergebnis thermischer Stresstests für VG im Prüflabor des ZAE Würzburg	43
Abb. 57: Glasbewegungen bei Klimlasten IG und VG [H.Hohenstein]	44
Abbildung 58: Vakuumglasscheibe Pilkington Spacia™	46
Abbildung 59: Vakuumglasscheibe Pilkington Spacia™ Seitenansicht mit Evakuierungsventil	46
Abbildung 60: Vakuumglasscheibe Eagon als VIG [Eagon]	48
Abbildung 61: Vakuumglas (VG) in vielen Kombinationen mit Isolierglas (VIG) [http://www.tjskl.org.cn/images/czae8e51-pz2702078-vacuum_insulating_glass.html]	50
Abbildung 62: Ein Probestück Vakuumglas (VG) von Hengda [http://www.tjskl.org.cn/images/czae8e51-pz2702078-vacuum_insulating_glass.html]	51
Abbildung 63: Produktionsanlage der Fa. Synergy [Synergy]	52
Abbildung 64: Evakuierungsöfen der Fa. Synergy [Synergy]	52
Abbildung 65: Technische Weiterentwicklung bei der Fa. Synergy [Synergy]	53
Abbildung 66: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas [H. Hohenstein]	55
Abbildung 67: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas [H. Hohenstein]	56
Abbildung 68: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas – Aktiv-Plus-Testhaus Stuttgart [http://derstandard.at/2000004153602/Ein-Haus-als-Gast-in-der-Siedlung]	56
Abbildung 69: Geplante Objekte mit Vakuumglas – Testhaus VISIONEUM ENERGIE+ Königsbrunn bei Augsburg [Hochschule Augsburg]	57
Abbildung 70 und 71: Fassadensystem mit Vakuumglas – Fa. Raico	58
Abbildung 72: Ausgeführten Objekte mit Vakuumglas – Aktiv-Plus-Testhaus Stuttgart [http://derstandard.at/2000004153602/Ein-Haus-als-Gast-in-der-Siedlung]	58