

Entwicklungen und Bewertungen von Vakuum-Isolierglas-Technologien

Vielfältige Einsatzbereiche

Siegfried Glaser

BEIM WÄRMESCHUTZ VON GEBÄUDEN bilden Fenster trotz beachtlicher Fortschritte z. B. in der Beschichtungstechnik immer noch die entscheidende thermische Schwachstelle. Während opake Fassaden beim Passivhaus-Standard mittlerweile U-Werte von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen, liegen die U-Werte (Verglasung inkl. Rahmen) exzellenter Fenster lediglich bei $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, also um den Faktor 5 darüber. Generell weisen hochdämmende Fenster durch ihren bisherigen Dreischeibenaufbau große Systemstärken ($> 30 \text{ mm}$) und ein hohes Gewicht auf.

Eine Verbesserung der Dämmwirkung einer Verglasung kann durch Evakuierung des Scheibenzwischenraumes erreicht werden. Bei Drücken unter 10^{-3} mbar kann die Gaswärmeleitung nahezu vernachlässigt werden, so dass solche evakuierten Systeme U-Werte von ca. $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreichen. Eine Zerstörung der Glasscheiben durch den Umgebungsdruck muss durch Einbau von Stützen im Scheibenzwischenraum verhindert werden.

Evakuierte Verglasungen sind bereits kommerziell erhältlich [NSG 2005], [QHI 2004], [Velux 2006] erreichen bisher jedoch lediglich U-Werte von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ in der Scheibenmitte (also ohne Randverbund und Rahmen).

Das Vakuum-Isolierglas Prinzip

Der Aufbau und das Prinzip von Vakuum-Isoliergläser sind in Bild 1 dargestellt. Charakteristisch für VIG sind:

- eine gute Wärmedämmung $U \approx 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ein geringes Gewicht (nur 2 Scheiben)
- ein schlanker Aufbau $\approx 10 \text{ mm}$

Kommerzielles Vakuum-Isolierglas

Zurzeit sind zwei Anbieter kommerzieller Vakuum-Isoliergläser auf dem Markt präsent (siehe Tabelle 1). Beide verwenden im Standardaufbau $2 \times 4 \text{ mm}$ Floatglas. Die U-Werte liegen mit über $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ noch sehr hoch, allerdings bei einer sehr geringen Systemdicke von unter 10 mm .

Die Stützen weisen einen Abstand von $20\text{--}25 \text{ mm}$ auf und bestehen aus offenen Metallringen bzw. Metallzylindern. Die optische Unauffälligkeit der Stützen ("Unsichtbarkeit") wird bei der chinesischen Verglasung als sehr gut, beim japanischen Produkt als gut eingestuft.

Im europäischen Markt bietet Velux seit einiger Zeit eine Vakuum-Energiespar-Scheibe an, bei der ein Vakuum-Isolierglas in einen Zweischeibenaufbau integriert wird. Das System weist einen U-Wert von $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei 24 mm Systemdicke auf. Es kann also im Sanierungsfall als Ersatz für eine normale Zweischeibenverglasung dienen. Auch hier liegt der Evakuierstutzen im Sichtbereich der Scheibe.

Zusammenfassend weisen die aus Japan und China bekannten Vakuum-Isoliergläser folgende Vorteile auf: Die Stützen sind kaum sichtbar und aufgrund des Zweischeibenaufbaus besitzen die Systeme ein geringes Gewicht sowie einen sehr schlanken



Bild 1: Weitere Anwendungsgebiete liegen z. B. im mobilen Bereich, wo es auf geringes Gewicht und schlanke Systeme bei gleichzeitig sehr gutem Dämmwert ankommt

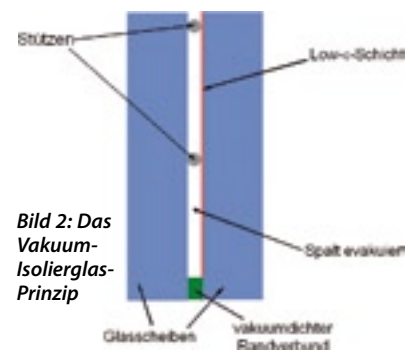


Bild 2: Das Vakuum-Isolierglas-Prinzip

! Info

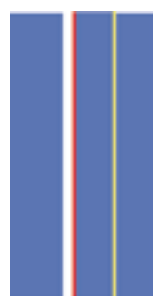
Vorteile und Charakteristik von Vakuum-Isolierglas:

- VIG bietet exzellente Dämmeigenschaften bei schlankem Aufbau und geringem Gewicht
- kommerzielle VIG sind thermisch wie Standard-Wärmeschutzverglasung ($U \geq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- VIG mit $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist machbar, s. Forschungsprojekt VIG
 - ▶ Restgasdruck im Scheibenzwischenraum 10^{-4} mbar
 - ▶ Stützen mit einem Durchmesser von $< 0,6 \text{ mm}$
 - ▶ Verwendung hocheffizienter IR-reflektierender Schichten mit einem Emissionsgrad $< 0,03$ (bei einer Schicht).

Bild 3: Mögliche VIG-Aufbauten – hier Standard Wärmeschutz, Systemdicke $< 10 \text{ mm}$: $2 \times 4 \text{ mm}$ Float – Beschichtung auf Pos. 3 – $U \approx 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$



Bild 4: Mögliche VIG-Aufbauten – hier Sicherheit und Wärmeschutz, Systemdicke $< 16 \text{ mm}$: 6 mm Float, 8 mm VSG ($2 \times 4 \text{ mm}$) – Beschichtung auf Pos. 3 oder 4 – $U \approx 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$



! Kommerzielles Vakuum-Isolierglas

Firma	Qingdao Hengda Industry (China)	Nippon Sheet Glass (Japan)
Aufbau	4 mm Float 0,1 mm evakuierter Spalt 4 mm Float mit low-e	4 mm Float 0,2 mm evakuierter Spalt 4 mm Float mit low-e
Dicke	ca. 8 mm	ca. 8 mm
U-Wert	1,1 W/(m²K)	1,2 W/(m²K)

Tabelle 1: Zurzeit sind zwei Anbieter kommerzieller Vakuum-Isoliergläser auf dem Markt präsent

ken Aufbau. Die Preise liegen mit 50–80 € pro Quadratmeter (ab Werk) etwas über den Werten für konventionelle Wärmeschutzverglasungen mit vergleichbaren U-Werten. Deutlich nachteilig wirkt sich der Evakuierstützen im Sichtbereich aus. Aufgrund der relativ schlechten U-Werte dieser kommerziellen Produkte stellen sie momentan noch keine richtige Konkurrenz zu konventionellen Wärmeschutzverglasungen dar. Die erreichten U-Werte ($U \geq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) sind für hochwärmedämmende Isoliergläser, nach europäischen Standards, nicht akzeptabel.

Optimierungspotenziale von VIG

Ein Konsortium aus Industrie und Forschung arbeitet im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes VIG, AZ 032 7366A (<http://www.vig-info.de>), an der Entwicklung eines Vakuum-Isolierglases mit einem U-Wert von $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Eine weitere Verbesserung wird die Vermeidung des Evakuierstützens im Sichtbereich sein. Die Zielpreise dieser Gläser sollen nicht über denen herkömmlicher Dreifachgläser liegen. In einem Vakuum-Isolierglas tragen mehrere Effekte zum Wärmedurchgang bei: Wärmeleitung durch das Restgas, Wärmestrahlung, Wärmeleitung über die notwendigen Stützen und Wärmeleitung über den Randverbund. Vor allem dem letzten Effekt sollte durch Einbau der Verglasung in einen hoch-

Tabelle 2: Berechnete Wärmedurchlasskoeffizienten für die einzelnen Wärmetransportmechanismen, gesamter Wärmedurchlasskoeffizient und U-Wert für die gesamte Verglasung bei optimiertem Aufbau (geringe Werte links) und falls weniger stringente Designparameter gewählt werden (höhere Werte rechts). Die Schwerpunkte des VIG-Projektes liegen in der optischen und thermischen Optimierung des VIG-Aufbaus sowie in der Entwicklung eines gasdichten Randverbundes, der sich mit einem "kalten" Fügeverfahren herstellen lässt. Momentan befinden sich unterschiedliche Randverbundaufbauten im Test. Neben der Gasdichtigkeit wird auch die mechanische Stabilität der Randverbunde geprüft.

! Wärmedurchlasskoeffizienten

U_{gas}	0,02–0,2 W/(m²K)
$U_{\text{stütz}}$	0,07–0,2 W/(m²K)
U_{rand} (Randverbund + Rahmeneinstand)	0,2–0,7 W/(m²K)
U_{rad}	0,15–1,0 W/(m²K)
$U_{\text{tot}} = U_{\text{gas}} + U_{\text{stütz}} + U_{\text{rand}} + U_{\text{rad}}$	0,44–2,1 W/(m²K)
U_{w}-Wert (mit Randverbund + Rahmen)	0,41–1,5 W/(m²K)
U-Wert (Scheibenmitte; ohne U_{rand})	0,23–1,1 W/(m²K)



Bild 5: Die Einsatzbereiche von Vakuum-Isolierglas sind vielfältig, sie können sowohl in gewerblichen...

dämmenden Rahmen mit großem Rahmeneinstand begegnet werden. Der Anteil der einzelnen Effekte am U-Wert der Verglasung kann für kleine U-Werte durch simple Addition der einzelnen Wärmedurchlasskoeffizienten abgeschätzt werden.

Verfügbarkeiten und Anwendungspotenziale

Sowohl Wärmeschutz- als auch Sonnenschutzverglasungen müssen als Vakuum-Isolierglas hergestellt werden. Bei nahezu gleichen Eigenschaften hinsichtlich Energiedurchlass und Lichttransmission können beim Vakuum-Isolierglas die U-Werte jedoch deutlich gesenkt werden.

Bild 6: Systemaufbau von „Nippon Sheet Glass“: Evakuierstützen – Randverbund Glaslot, $T \geq 400^\circ\text{C}$ – daher nur Hardcoatings mit $e \approx 0,2$ (Softcoatings: $e \approx 0,03$) – thermische Vorbehandlung beeinträchtigt (z. B. ESG)

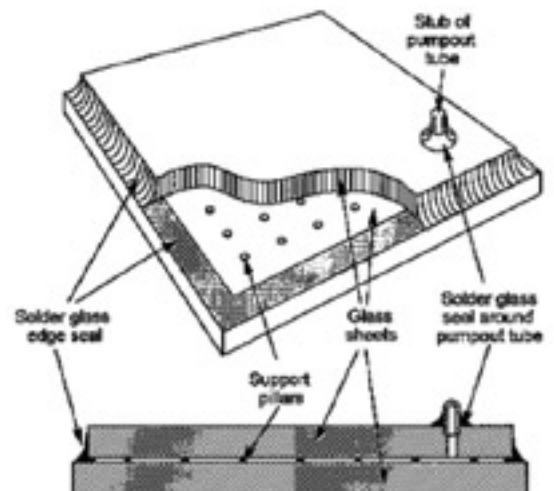




Bild 7: ...als auch privaten und öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden, z. B. bei Fenstern, Fassaden und Überdachungen

Ausblick

Die Einsatzbereiche von Vakuum-Isolierglas sind vielfältig. Die Schwerpunkte sind gewerbliche und private Gebäudeverglasungen (Fenster, Fassaden, Überdachungen). Weitere Anwendungsgebiete liegen z. B. im mobilen Bereich, wo es auf geringes Gewicht und schlanke Systeme bei gleichzeitig exzellentem Dämmwert ankommt. Nischenmärkte wie gewerbliche und private Kühlgeräte bieten ebenfalls interessante Anwendungsbereiche für VIG.

Das neue Vakuum-Isolierglas wird momentan getestet und die Konzeptionsphase soll bis Mitte 2006 abgeschlossen sein. Die anschließende markttechnische Umsetzung wird voraussichtlich bis 2009 dauern, so dass bereits in wenigen Jahren entsprechende Produkte vorliegen werden. Parallel wird die Entwicklung hochdämmender und schlanker Rahmen vorangetrieben, damit einheitliche Konzepte für die Fassadenintegration von Vakuum-Isolierglas möglich sind.

Quellen:

[NSG 2005] Webseite von Nippon Sheet Glass Co., Ltd., Japan, <http://www.nsg-spacia.co.jp>

[QHI 2004] Vacuum Glazing Glass & Special Purpose Machine, Produktinformation der Qingdao Hengda Industry Co., Ltd., China.

[elux 2006] Webseite von Velux, <http://www.velux.de>



! Autor

Siegfried Glaser ist Vorsitzender des Forums Glastechnik im VDMA und Gründer und Geschäftsführer der Glaser FMB GmbH & Co. KG
37688 Beverungen
Tel. (0 52 73) 62 57
s.glaser-fmb@t-online.de