

Hochwärmegedämmte Fenstersysteme

Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben beschäftigt sich das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) mit den Themen neue Energiequellen bzw. Energietechniken und Umwelt. Ein aktuelles Projekt untersuchte kürzlich den Bereich Fenster und Randverbund. Mit der Abwicklung wurde der Projektträger Biologie, Energie, Ökologie (BEO) des Forschungszentrum Jülich GmbH beauftragt. Die Projektdurchführung lag in den Händen der Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde. Das Ergebnis der Untersuchung wurde in der BINE-Projekt-Info Nr. 5/96 veröffentlicht und der GLASWELT-Redaktion zum Nachdruck zur Verfügung gestellt.

Das Herabsetzen der Wärmeverluste bei Gebäuden ist eine der kosteneffektivsten Maßnahmen des Energiesparens. Während Planer und Bauausführende das konsequente Vermeiden von Wärmebrücken zum Ziel haben müssen, ist zusätzlich sowohl im Neuen als auch im Altbau auf die Verwendung von Materialien zu achten, die den Wärmefluß von innen nach außen herabsetzen. Bei der Konstruktion der Gebäudehülle ist der Einsatz von Dämmstoffen und von wärmetechnisch optimierten Bauteilen einzuplanen. Dazu gehören zweifelsfrei auch die Fenster. Während in der Standardbauweise inzwischen Wärmedurchgangskoeffizienten (k -Werte) bei den Wänden von $k_w = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden, liegen sie bei den Fenstern (k_f) in der Regel bei über 1,5. Dabei wurden 1995 ca. 35 Mio. m^2 Isolierverglasungen je zur Hälfte im Neu- und Altbaubereich eingesetzt.

In der Forschung und Entwicklung ist in den vergangenen Jahren bei den Fenstersystemen einiges erreicht worden. Beschichtungen senken das Emissionsvermögen der Glasoberflächen von 84 bis auf 4 % und vermindern so die Verluste aufgrund von Wärmestrahlung deutlich (Bild 1). Edelgase als Füllstoff im Scheibenzwischenraum (SZR) reduzieren zusätzlich die Verluste durch Wärmeleitung. Je besser die Verglasung wird, desto mehr gilt es, die Aufmerksamkeit auch auf die Verminderung der Wärmeverluste durch den Fensterrahmen zu richten. Nicht zuletzt gewinnt die

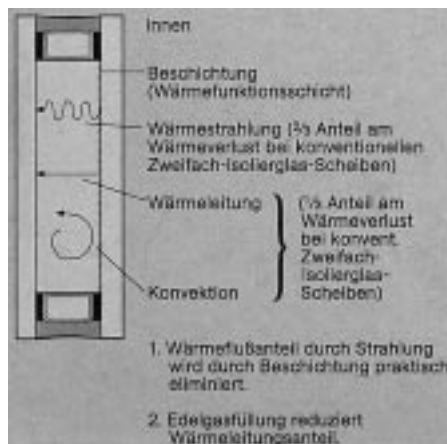


Bild 1: Wärmetechnische Wirkungsweise von beschichtetem Warmglas
Zeichnung: Interpane

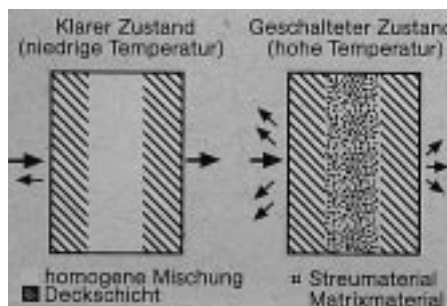


Bild 2: Transmissionsschaltung mit thermotropen Schichten
Zeichnung: FhG-ISE

wärmetechnische Verbesserung des Randverbundes der Verglasung an Bedeutung. Er dichtet die SZR zur Umgebungsluft ab. Jedoch wirken die hier zumeist als Abstandhalter zwischen den Scheiben eingesetzten Aluminiumprofile als Wärmebrücke im Fenster. Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) wurde die Möglichkeit der Substitution durch Abstandhalter aus polymeren Kunststoffen untersucht.

Verglasungen

In der Wärmeschutzverordnung (WSVO) werden seit dem 1. 1. 1995 höhere Anforderungen an den Wärmeschutz von Wohngebäuden gestellt. Um möglichst geringe Transmissionswärmeverluste zu erreichen, sind nicht nur die k -Werte der Wand-, Dach- und Bodenflächen, sondern ebenfalls die der Fenster klein zu halten. Entsprechend wurden auch die Vergabekriterien des „Blauen Engels“ für Wärmeschutzgläser verschärft. Diese schreiben nun einen Verglasungs- k -Wert von k_v unter 1,3 vor. Die WSVO läßt aber auch die Verrechnung passiver solarer Energiegewinne zu, die durch Fenster erreicht werden können. Deshalb hat der Gesamtenergiedurchlaßgrad der Verglasung (g -Wert) an Bedeutung gewonnen. Dieser setzt sich aus dem direkt durchgelassenen Strahlungsfluß und der sekundären Wärmeabgabe der Verglasung nach innen zusammen. Entscheidend für

gute Wärmeschutzverglasungen ist also das Erzielen möglichst kleiner k -Werte unter Zulassung möglichst großer g -Werte. Dann können die Glasflächen über die Heizperiode gemittelt nicht nur für geringere Wärmeverluste, sondern sogar für Wärmegewinne sorgen.

Herkömmliches

Scheibenbeschichtungen: Bei Verglasungen mit einem k_v -Wert von 1,3 handelt es sich in der Regel um einen zweiseibigen Aufbau. Die dem Innenraum zugewandte Scheibe ist mit einer Wärmefunktionsschicht überzogen. Diese ist vor allem für die kurzwellige Sonnenstrahlung im sichtbaren Bereich (Wellenlänge 380 bis 780 nm) weitgehend transparent, aber für die langwellige Wärmestrahlung im Infrarotbereich (3000 bis 50 000 nm) reflektierend. Die Sonnenenergie kann also nahezu ungehindert in den Wohnraum gelangen. Sie wird dort von den Möbeln und den raumbegrenzenden Flächen absorbiert und als Wärmestrahlung wieder abgegeben. Die Beschichtung der Verglasung verhindert dann den Austritt dieser langwelligeren Strahlung. Ihre Emissivität beträgt derzeit überwiegend noch 10 %. Die Wärmefunktionsschicht besteht zumeist aus Silber mit einer Dicke von ca. 0,01 μm . Sie wird eingeschlossen von Metalloxidschichten, die als Entspiegelungsschichtsystem für niedrige Reflexion und farbneutrales Verhalten sorgen. Die zweiseibigen Wärmeschutzverglasungen erreichen g -Werte um 60 %.

Scheibenzwischenraum (SZR): Einfache Isolierverglasungen waren früher im SZR mit Luft befüllt. Die auftretenden Verluste durch Wärmeleitung und Konvektion konnten bei den Wärmeschutz-Isolierverglasungen durch den Einsatz von Edelgasen reduziert werden, die eine geringere Wärmeleitfähigkeit λ aufweisen. Derzeit wird zumeist eine Argonfüllung eingesetzt, womit die 2-Scheiben-

Wärmeschutzverglasungen in der Regel einen k_v -Wert von 1,3 erreichen. Wird diese durch Krypton ersetzt (2WSK), verbessert sich der k_v -Wert auf etwa 1,1. Wird bei Luft- und argonbefüllten Verglasungen der SZR vergrößert, so nimmt der k_v -Wert ab,

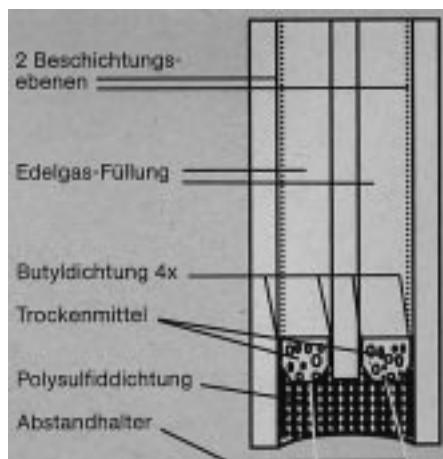


Bild 3: Darstellung des Glasrandverbundes einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung
Zeichnung: Interpane

während Dicke und Gewicht zunehmen. Je nach Einsatzzweck werden Fensterverglasungen mit SZR von 12 bis 16 mm angeboten. Bei Kryptonfüllung kann ein SZR bis herab zu ca. 10 mm verwendet werden, ohne daß eine k_v -Wert-Verschlechterung eintritt.

Stand der Technik

3-Scheiben-Verglasung: Mit dem Einbau einer weiteren Scheibe und dem Anbringen einer zusätzlichen Wärmefunktionsschicht auf die der Außenseite zugewandten Scheibe wird der k_v -Wert nochmals um 0,4 herabgesetzt. Eine kryptongefüllte 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (3WSK) erzielt so einen k_v -Wert von 0,7.

Gleichzeitig wird aber durch die zusätzliche Scheibe der Gesamtdurchlaß verringert und damit nur noch ein g -Wert von ca. 50 % erreicht. Mit der Verringerung der Emissivität auf 4 % (E4) ist bei allen bisher beschriebenen 2- und 3-Scheiben-Verglasungen eine k -Wert-Verbesserung von 0,1 bis 0,2 zu realisieren.

Xenonbefüllte Verglasungen: Als weiterer Schritt der Luftsubstitution im SZR bietet sich das Edelgas Xenon an. Der k_v -Wert wird gegenüber dem Kryptoneinsatz nochmals verbessert. Das xenonbefüllte 2-Scheiben-Wärmeschutzglas (2WSX) erreicht mit E4-Beschichtung einen k_v -Wert von 0,9, die 3-Scheibenverglasung (3WSX) schließlich sogar einen k_v -Wert von 0,4. Gleichzeitig können auch hier geringe SZR von 8 mm und somit günstige Einbaudicken und -gewichte realisiert werden. Der g -Wert verringert sich bei diesen Verglasungen aber auf 40 bis 45 %.

Randverbund und Fensterrahmen

Isolierglasrandverbund: Der Randverbund einer Verglasung bildet die Verbindung zwischen den Scheiben und trennt den SZR von der Umgebung ab. Kernstück ist ein Abstandhalter, der in der Regel aus einem Aluminiumhohlprofil besteht. Er soll als dauerhaftes Distanzstück zwischen den Scheiben wirken und ist mit einem Trockenmittel gefüllt. Umgeben ist er von Dichtmaterialien, z. B. Butyl und Polysulfid, die sowohl den Austritt des Edelgases als auch das Eindringen von Luft und Wasserdampf verhindern sollen. Nach [3] beschreibt der Wärmebrückenverlustkoeffizient (k^*) alle nicht durch die Verglasung und den Rahmen verursachten Wärmeverluste an einem Fenster. Er wird auf den Umfang der Verglasung bezogen (Einheit: W/mK), da er im wesentlichen durch die Art des Abstandhalters bestimmt wird. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium

($\lambda = 230 \text{ W/mK}$) bilden übliche Randverbundsysteme eine Wärmebrücke an der Verglasung. Der bei Aluminiumprofilen mit einer Wandstärke von 0,5 mm auftretende k^* -Wert von 0,115 W/mK trägt bei einem üblichen Holzfenster mit sehr guter Wärmeschutzverglasung (3WSK oder 3WSX) zu etwa 20 % der Wärmeverluste bei (Tabelle 2).

Probe	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
Aluabstandshalter #1 20 mm	970	2,20
Aluabstandshalter #2 12 mm	965	1,35
Aluabstandshalter #3 12 mm	1010	0,89
Swiggle Strip 12 mm	1156	0,63
Super Spacer 12 mm	852	0,20
Stahlabst.h. 20 mm/0,3 mm	1457	1,07
Butylgummiabst.h. 8 mm	1239	0,27
Polykarbonatabst.h. + Alufolie	684	0,10
Abst.h. aus rostfr. Stahl 0,15mm	1042	0,37

Tabelle 1: Gemessene Wärmeleitfähigkeiten für Abstandhalter [1]

Abstandhalter aus Edelstahl: Im Vergleich zu Aluminium weist Edelstahl zwar eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit ($\lambda = 15 \text{ W/mK}$) auf. Trotzdem ist durch dessen Einsatz in Hohlprofilen mit 0,5 mm Dicke nur eine vergleichsweise geringe Verbesserung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten k^* von etwa 10 % zu erreichen. Auch die bei diesem Material mögliche Verwendung dünnerer Abstandhalter von 0,2 mm führt nur zu einer Einsparung von lediglich 15 %. Dies liegt daran, daß mit Edelstahl immer noch eine Art thermischer Kurzschluß zwischen den Scheiben erzeugt wird.

Abstandhalter aus Kunststoff: Bei den bisher entwickelten und eingesetzten Abstandhaltermaterialien aus Kunststoff werden in der Regel Metallfolien als Wasserdampf- oder Gassperre eingesetzt. Es ist aber eine wesentlich geringere mechanische und thermische

Belastbarkeit sowie keine ausreichende Diffusionsdichtheit zu beobachten. Dabei bieten sich Kunststoffe als alternative Abstandhalter durchaus an, da sie mit einem λ von ca. 0,25 W/mK erheblich geringere Wärmebrücken erwarten lassen. Die Verluste könnten an dieser Stelle um etwa 40 % vermindert werden. Deshalb unterstützte das BMBF die Entwicklung eines geeigneten polymeren Kunststoffabstandhalters. Aufbauend auf Erfahrungen in der Verpackungsindustrie wurde verschiedenen Basiskunststoffen eine Reihe geeigneter Additive zugesetzt. Aus diesen Proben wählte man nach der Untersuchung wichtiger physikalischer Parameter die vielversprechendste Mischung aus. Tatsächlich konnte diese sowohl bei der thermischen als auch bei der mechanischen Belastbarkeit überzeugen. Es wurde ein ausgewogenes Verhältnis von Festigkeit, Steifigkeit und zähelastischen Parametern nachgewiesen. Die Haftung der Polymerabstandhalter an Polysulfid-Dichtstoffen konnte durch das Aufbringen einer haftvermittelnden Beschichtung erreicht werden. Die ermittelte Wasserdampfdurchlässigkeit übersteigt mit 3,02 % den nach DIN zulässigen Wert von 2,5 % und liegt doppelt so hoch wie bei Aluminiumabstandhaltern. Die Barriereigenschaften am Polymer sind also noch zu verbessern.

Fensterrahmen: Der Anteil des Rahmens an der Gesamtfläche eines Fensters beträgt zwischen 15 und 35 %. Mit dem Baustoff Holz werden bei einer Dicke von 58 mm Wärmedurchgangswerte von $k_R = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. Rahmen aus PVC liegen ebenfalls in diesem Bereich, solche aus Aluminium aber aufgrund der bereits genannten hohen Wärmeleitfähigkeit noch deutlich darüber. Auch die Erhöhung der Materialdicke auf 90 mm führt bei Holz nur zu einem k_R -Wert von 1,2. Im Vergleich mit der Dämmwirkung einer hochwertigen Wärmeschutzverglasung mit z. B. $k_v = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ immer noch zu hoch. Auch in einem solchen Fenster hat der Rahmen bei Verwendung eines Aluminiumabstandhalters noch einen Anteil von über 30 % an den Wärmeverlusten.

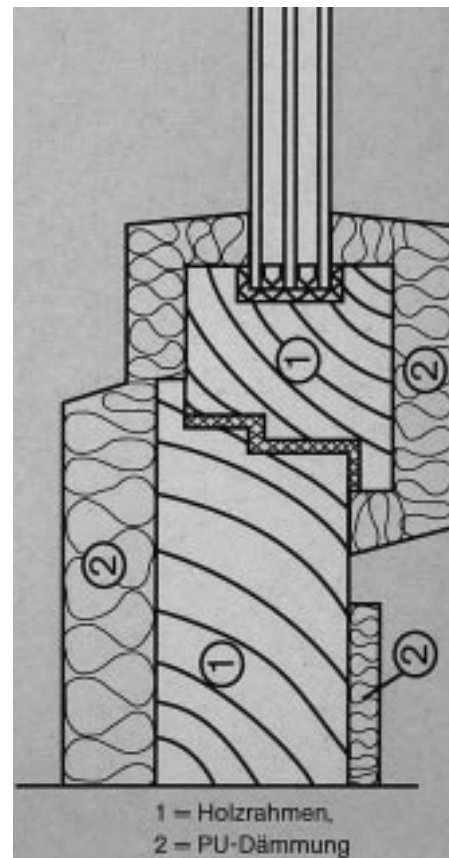


Bild 4: Dämmung von Fensterrahmen und Isolierglasrandverbund mit Polyurethan [2] Zeichnung: Interpane

Wärmedämmung von Rahmen und Glasrand: Eine Möglichkeit auch bei Holzrahmen einen der Isolierverglasung entsprechenden geringen Wärmedurchgang zu erreichen, ist das Anbringen eines Wärmedämmstoffes. Dies wurde bei der Realisierung des Passivhauses in Darmstadt-Kranichstein erprobt. Ein 58 mm dicker Holzrahmen mit einer beidseitigen Isolierung von 10 mm PU-Schaum weist demnach nur noch einen k_R -Wert von 0,7 W/m²K auf. Wird der PU-Dämmstoff zusätzlich auch noch über die Rahmenkante bis auf die Glasfläche gezogen, sind auch im Bereich des Randverbundes deutlich geringere Wärmebrücken festzustellen. Ein Streifen von 10 × 10 mm führte in diesem Bereich zu einer Reduzierung der Verluste um über 50 %.

Füllstoff	Kennwerte Fensterart	Verglasung	Randverbund	Rahmen	Gesamt-Fenster	Gesamtenergie-	$k_{eq,F} = k_f - (g \cdot S)$	
		k_v (W/m ² K)	k^* (W/mK)	k_R (W/m ² K)	$k_f = (Q_v + Q_{rv} + Q_R) / A_f$	durchlaß	Ausrichtung	
		$Q_v = k_v \times A_v$ (W/K)	$Q_{rv} = k^* \times U_v$ (W/K)	$Q_R = k_R \times A_R$ (W/K)	(W/m ² K)	g-Wert (%)	Süd:S=2,4	Nord:S=0,95
ARGON	2 WSA	1,1	0,115	1,6	1,42	60	-0,02	0,85
	ohne PU	3,41	0,81	1,44				
	2 WSK	1,0	0,115	1,6	1,34	60	-0,1	0,77
	ohne PU	3,1	0,81	1,44				
KRYPTON	2 WSK	1,0	0,056	0,7	1,03	60	-0,41	0,46
	mit PU	3,1	0,39	0,63				
	3 WSK	0,6	0,115	1,6	1,03	48	-0,12	0,57
	ohne PU	1,86	0,81	1,44				
	3 WSK	0,6	0,056	0,7	0,72	48	-0,43	0,26
	mit PU	1,86	0,39	0,63				
XENON	3 WSK	0,4	0,115	1,6	0,87	42	-0,14	0,47
	ohne PU	1,24	0,81	1,44				
	3 WSK	0,4	0,056	0,7	0,57	42	-0,44	0,17
	mit PU	1,24	0,39	0,63				

Tabelle 2: Gegenüberstellung einiger 2- und 3scheibiger Fenster (2 x 2 m) mit E4-Beschichtung, Holzrahmen (Breite 0,12 m) und Aluminiumabstandhalter, teilweise mit beidseitig 10 mm dicker PU-Rahmendämmung, die 10 mm auf die Verglasung gezogen ist

Fazit

Waren die Fenster bisher die energetischen Schwachpunkte eines Gebäudes, so kann man heute Systeme einsetzen, die aufgrund ihrer geringen Wärmeleitung bei gleichzeitig hoher selektiver Transparenz für Sonnenstrahlung sogar als Wärmequelle im Winter geeignet sind. Anhand des äquivalenten Fenster-k-Wertes ($k_{eq,F}$) nach WSVO, der auch die solaren Gewinne berücksichtigt, können Fenstersysteme und ihre Komponenten verglichen werden (Tabelle 2). Es wird vor allem deutlich, welche Einsparmöglichkeiten durch Verbesserungen im Bereich des Fensterrahmens und des Isolierglas-Randverbundes noch zu erschließen sind. □

Literatur

- [1] Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft GmbH & Co, Lauenförde (Hrsg.): Hochwärmedämmende Isolierglasrandverbundsysteme. Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben 0329390 A/B. 1996.
- [2] Fraunhofer-Institut für Solar Energiesysteme (ISE), Freiburg im Breisgau (Hrsg.): Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden. 1994.
- [3] Wakili, K. G.; Frank, T.: Thermal conductivity measurements on glass, sealant and spacer materials using a symmetrically arranged heat flow meter apparatus. Report IEA Task 18/B9/CH1/93. 1993.
- [4] Feist, W.; Hinz, E.; Jäckel, M., Institut für Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt: Fenster und Rahmendämmung im Passivhaus. Nov. 1994. Passivhaus-Bericht Nr. 7.

Sonnenschutz

Konsequente Südausrichtung und vertikaler Einbau der Fenster lassen keine großen Anteile der Strahlung hochstehender Sommersonne in das Gebäude herein. Die hochdämmende Wirkung der Verglasung mit einem k_v -Wert von 0,7 oder kleiner reduziert auch die Wärmeleitung von außen nach innen. Wird die Wohnung mit kühler Morgenluft geflutet, können die sehr gut gedämmten Bauteile diese „Kälte“ speichern. Dort, wo die konsequente Bauweise der Passivhäuser nicht möglich ist, sind aber unter Umständen Maßnahmen zur Verhinderung einer Überhitzung unumgänglich.

Mechanische Sonnenschutzsysteme: Im einfachen Fall können dies Rolläden vor den Fenstern sein. Ist jedoch ein Fenster mit Durchsichtsmöglichkeit gewünscht, können transparente Folienrollen im SZR eingesetzt werden, die selektiv beschichtet sind und einen Großteil der Sonnenstrahlung nicht durchlassen. Solche mechanischen Sonnenschutzsysteme sind aber in der Regel relativ störanfällig.

Sonnenschutzverglasungen: Selektive Schichten auf den Scheiben führen zu relativ kleinen g-Werten und vermindern damit den Energiegewinn im Winter. Als Lösung kämen Glasbeschichtungen in Frage, die temporär den g-Wert herabsetzen können. Solche Verglasungen befinden sich auch mit Unterstützung des BMBF noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Es bieten sich zwei unterschiedliche Beschichtungen an:

- **Thermotrope Schichten:** Sie bestehen aus zwei Komponenten, die unterhalb einer bestimmten Temperatur molekular vermischt und transparent sind. Wird die Temperatur überschritten, entmischen sie sich und haben dadurch einen veränderten Brechungsindex (Bild 2). Die Schicht wird weiß eingetrübt und nur ein geringer Teil des Lichts wird noch transmittiert. Bei sinkenden Temperaturen kehrt sich der Prozeß um und die Scheibe wird wieder klar. Diese Schichten eignen sich nur dort, wo keine ständige Durchsicht gefordert ist.
- **Elektrochrome Schichten:** Durch Anlegen einer Spannung an eine Metalloxidschicht (z. B. Wolframoxid) wird deren optisches Verhalten verändert. Sie kann so von einem transparenten in einen farbigen Zustand geschaltet werden. Die Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung läßt sich stufenlos regeln und die Durchsicht durch das Fenster ist jederzeit möglich.