

# Pilkington Glaskompendium

Technische Informationen  
und Wissenswertes rund um  
das Thema Glas.

Ausgabe: 10  
Oktober 2007  
ISSN: 1611-0951

**Neue,  
überarbeitete  
Fassung!**

---

## Wärmedämmung mit Verglasungen

---



**PILKINGTON**  
NSG Group Flat Glass Business

Wärmedämmgläser stehen im Vordergrund aller Betrachtungen in der Glasbranche. In diesem, auf den aktuellen Stand gebrachten Glaskompendium wird Grundlegendes zur Wärmedämmung mit Glas behandelt, und es werden auch die Gläser mit den ganz niedrigen  $U_g$ -Werten betrachtet.

**Wie's früher war**

Glas verfügt über eine Fülle positiver Eigenschaften, aber Wärmedämmung gehört eigentlich nicht dazu. Die „Wärmedämmung“ einer einfachen Glastafel bestand in früheren Zeiten lediglich darin zu verhindern, dass warme Raumluft nach außen entweichen konnte. Die Dichtigkeit alleine bewirkte den Schutz, keineswegs jedoch eine irgendwie geartete Form von Isolierung. Im Gegenteil: Glas ist ein sehr guter Wärmeleiter, und zu allem Unglück speichert es die in ihm enthaltene Wärme nur wenig und gibt sie auch noch liebend gerne ab. Dazu muss man sich Folgendes vergegenwärtigen: Wärme, die aus einem beheizten Raum entweichen will (und das will sie immer, denn sie strebt nach einem physikalischen Grundprinzip immer zur Kälte, d. h. zur Nicht-Wärme hin), endet im ersten Anlauf sofort am Glas – wie ein Sträfling im Gefängnis am Gitter. Als Warmluft kann sie nicht hindurch, und als Wärmestrahlung schafft sie es nicht, ungehindert zu passieren, so wie wir es von sichtbarem Licht kennen, denn für die langwellige Wärmestrahlung ist Glas sozusagen eine undurchsichtige Wand. Was bleibt ihr übrig? Sie erwärmt die Glastafel, kriecht durch sie hindurch (und das gelingt ihr leicht wegen der „guten“ Wärmeleitung des Glases) und beginnt sofort wieder, mit allen Mitteln (über die drei physikalischen Wärmetransportmechanismen Strahlung + Leitung + Konvektion) nach außen zu entweichen.

**Und heute?!**

Nun ist es keine intellektuelle Meisterleistung, sich zu überlegen, dass zwei oder drei hintereinander gestaffelte bremsende Glastafeln mehr bewirken als eine einzige. In den entstehenden Zwischenräumen kann immerhin die „Leitung“ (das ist der Wärmetransport durch ein ruhendes Gas) und „Konvektion“ (der Wärmetransport über das sich bewegende Gas, wie bei einem Fön) weitgehend erschwert werden – das ist die Wirkungsweise der Kastenfenster: Faktisch werden zwei Fenster hintereinander angeordnet. Diesen mühsamen Hürdenlauf veranschaulicht die Abbildung 1.

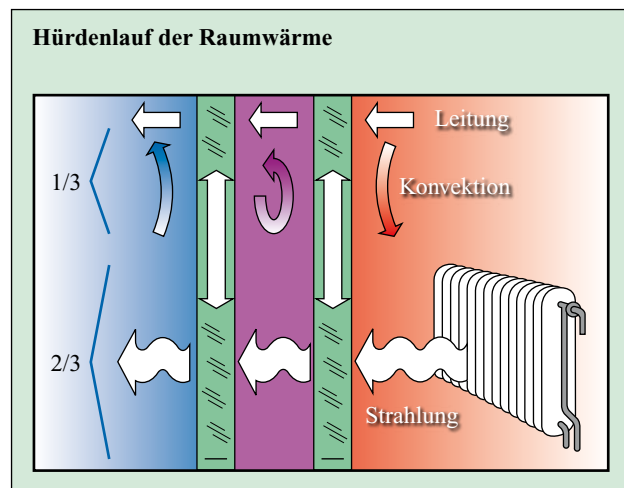


Abbildung 1

Im nächsten Schritt „komprimiert“ man die beiden Fenster. Indem man sie aneinander koppelt und um einen gemeinsamen Drehpunkt öffnen lässt, schafft man die sogenannten Verbundfenster. Sie weisen eine geringere Bautiefe auf, sie sind günstig zu fertigen und in ihrer Isolierung praktisch genauso gut, denn der geringere Abstand der Verglasungen ist keineswegs nachteilig. Ein zu großer Abstand, wie gelegentlich bei den Kastenfenstern anzutreffen, kann nämlich dazu führen, dass die Luft im großen Zwischenraum wieder zu zirkulieren beginnt und damit für ungewollten Wärmetransport sorgt.

Übrigens: Man verachte nicht die „altmodischen“ Kastenfenster, von denen es womöglich noch an die 70 Millionen Stück in Deutschland gibt. Gut in Schuss gehalten oder restauriert, mit neu eingezogenen Dichtungen versehen, haben sie weiterhin ihre Daseinsberechtigung. Nicht nur wegen ihres besonderen Erscheinungsbildes, das stimmig ist zur originalen Gestaltung der Häuser der damaligen Zeit, sondern auch aus technischen Gründen: Die Schalldämmung ist bei ihnen ohne weitere Maßnahmen gut. Zudem lässt sich die einem traditionellen Isolierglas entsprechende Wärmedämmung bereits mit einer einzigen ausgetauschten Scheibe Pilkington **K Glass**<sup>™</sup> – als Einfachscheibe! – auf moderne Fenster-Dämmwerte von immerhin  $U_W = \text{ca. } 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (der Index „W“ steht für window/Fenster) aufrüsten; mit einem eingetauschten Wärmedämmisolierverglas tendiert der Fenster-Wärmedämmwert sogar gegen  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Wenn auch die beiden gekoppelten Flügel des Verbundfensters einfacher zu bedienen sind, es bleiben letztlich doch vier Oberflächen, die verschmutzen und beschlagen können und die zu reinigen sind. In der Stufenleiter der technischen Verbesserungen war es nun nahe liegend, die beiden Glastafeln am Rand fest miteinander verbinden zu wollen. Die Idee dazu ist denn auch „uralt“, nämlich aus dem Jahre 1865, festgehalten als Patent des Amerikaners Stedson. Allein, es fehlten ihm die passenden Werkstoffe. Die kamen erst etliche Jahrzehnte später, mit den ersten randgeklebten (!) Isoliergläsern Anfang der 30er-Jahre, und zwar in den Luxuszügen „Der fliegende Hamburger“, jedoch überraschenderweise noch nicht im Baubereich. Die gelöteten Isoliergläser im „Thermopane“-Randverbund-Verfahren kamen erst in den 50er-Jahren. Damit endlich hatte man einen deutlichen Komfortnutzen erfüllt (kein Kondensat und kein Schmutz auf den zwei inneren Oberflächen), jedoch blieb die Wärmedämmung noch auf dem alten Stand stehen. Aber immerhin, es war die Basis geschaffen für die weit darüber hinausgehenden Verbesserungen unserer Tage.

### Wie optimiert man ein Isolierglas?

Lassen Sie uns jetzt untersuchen, wie man den drei Wärmetransportvorgängen von der warmen zur kalten Glastafel eines Isolierglases zu Leibe rücken kann:

a) Als Erstes nehmen wir uns die Leitung vor, d. h. den Wärmefluss durch das im Scheibenzwischenraum (SZR) ruhende Gas. „Dickes“ Gas erschwert die Wärmeleitung. Daher ersetzt man gerne das billigste Gas, also Luft, durch ein bekanntes Edelgas: Argon, das beispielsweise auch beim Schutzgasschweißen verwendet wird. Argon ist preisgünstig. Kosten verursacht bei der Wärmedämmglas-Fertigung weniger das Gas an sich, sondern der Arbeitsgang des Einfüllens, und das zu einem Mindestfüllgrad von im Allgemeinen 90 %.

Noch effektiver ist ein anderes Edelglas: Krypton. Es ist deutlich seltener als Argon und kann, wie alle Edelgase, nicht künstlich hergestellt, sondern nur aus der Luft extrahiert werden. Daher ist es auch viel teurer. Ein kleines Beispiel dazu: Um eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  um  $1 \text{ mm}$  Höhe zu füllen, benötigt man  $1 \text{ Liter}$ . Ein SZR von  $10 \text{ mm}$ , dem Optimum bei Krypton, verlangt also  $10 \text{ Liter}$  als theoretisches Minimum für das Füllen des SZRs. Da sich Gase aber mischen, d. h. da sich das einströmende Edelgas nicht völlig von der zu verdrängenden Luft trennen lässt, auch nicht bei sorgsamer, langsamer Einfüllung, benötigt man einen gewissen Überfüllgrad. Daher muss man je nach Scheibengröße und -format mit rund  $20 \text{ Liter/m}^2$  rechnen, um den gewünschten Mindestfüllgrad auch tatsächlich zu erreichen.

Noch weiter steigern lässt sich die Wärmedämmung mit Hilfe von Gasen durch Xenon (für Autofans von den besonderen Glühlämpchen her bekannt), das aber extrem teuer ist und erst recht nicht in genügender Menge für eine Isolierglas-Serienfertigung zur Verfügung steht.

Natürlich wären bei ausschließlicher Berücksichtigung der Wärmeleiteigenschaften auch noch viele andere Gase geeignet. Aber sie müssen zugleich (siehe Glaskompendium Nr. 7) billig, nicht-toxisch, nicht material-aggressiv usw. sein, weshalb sich die Auswahl schnell auf die wenigen genannten Edelgase einschränkt.

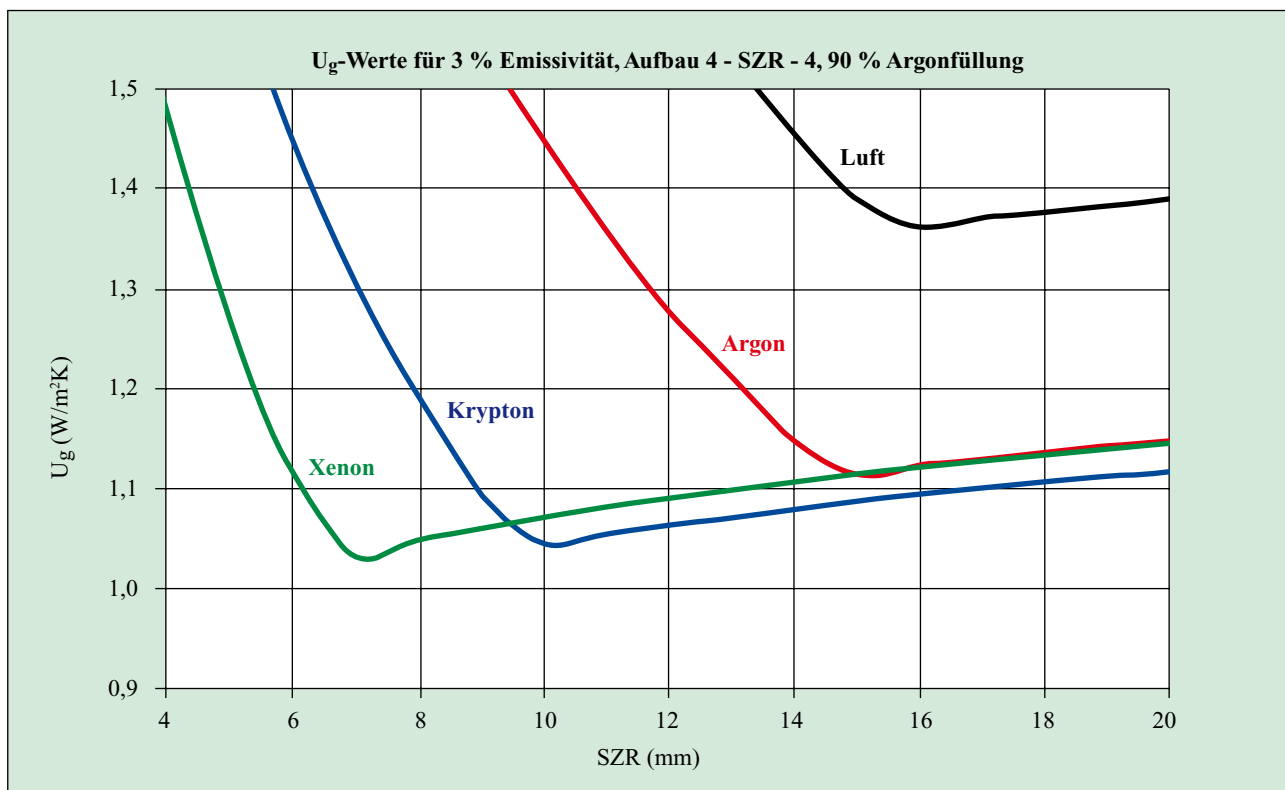
Nur eine Ausnahme gab es vor Jahren: die Gado®- und Sedo®-Gläser der Flachglas AG waren mit CO<sub>2</sub>/Kohlendioxid gefüllt (bekannt als das harmlose, perlende Gas in Mineralwässern). Es verfügt über sehr gute Wärmedämmeigenschaften bei kleinen SZRs, hat aber den Nachteil, durch geklebte Randverbunde zu entweichen. Wegen des Glas-mit-Glas-verschweißten Randes der Gado®-Scheiben blieb es aber gefangen und erlebte somit eine gewisse Blütezeit von den 70er- bis Anfang der 90er- Jahre.

Noch eine kleine Abschweifung: Bleibt denn das Gas tatsächlich im SZR, wird häufig gefragt. Die Antwort ist ein klares Jein! Nein, weil kein geklebter Randverbund absolut dicht sein kann. Ja, weil er – sorgfältige Fertigung vorausgesetzt – ausreichend dicht ist, um auch nach Jahrzehnten nur einen geringfügigen Abfall in der Wärmedämmung sicherzustellen. Die Norm wie auch die Richtlinie für eine güteüberwachte Isolierglasproduktion lässt eine geringe Gasverlustrate von 1 % pro Jahr zu.

b) Sodann schauen wir uns die Konvektion an, also die Bewegung der im SZR eingeschlossenen Luft oder des Gases und den damit einhergehenden Wärmeverlust. Eigentlich wäre ein großer SZR von Vorteil, um die zuvor betrachtete Wärmeleitung zu erschweren, aber bei einem großen Zwischenraum setzt recht bald von alleine eine gewisse „Turbulenz“ ein. Die beiden Effekte wirken gegenläufig; man muss daher zwischen beiden einen Kompromiss oder besser ein Optimum suchen, mit fast nicht vorhandener Konvektion und gleichzeitig stark verminderter Wärmeleitung. Es gibt aber nicht das Optimum, sondern nur ein jeweiliges, das von der Gasart abhängig ist (Abb. 2). Für Luft als alltäglichstes Gas (-gemisch) liegt das Optimum bei etwa 16 mm, für Argon bei 15 mm, für Krypton bei 10 mm und für Xenon bei 7 mm. Diese optimalen SZR-Werte gelten für zweischiebige Isoliergläser; für dreischiebige sind sie jeweils wenige Millimeter größer. Abbildung 2 zeigt dazu die Abhängigkeit der U<sub>g</sub>-Werte vom SZR für verschiedene Füllungen, jeweils bezogen auf den heutigen Normalfall der Wärmedämmgläser mit 3 % Emissivität. Als Lesebeispiel:

Der Wärmedämmwert für einen Aufbau 4-16-4 mit 90 %iger Argonfüllung beträgt 1,1 W/m<sup>2</sup>K, und mit einer teuren Kryptonfüllung erreicht man so gerade eben durch Rundung die „1,0“.

Abbildung 2



Sowohl für die Konvektion als auch für die Leitung wäre es natürlich ideal, sie kämen erst gar nicht vor, mit Hilfe eines Vakuums im SZR. Am Ende dieses Glaskompandiums finden Sie eine ergänzende Kurzinformation zu Vakuum-Isoliergläsern.

c) An die größte Schwachstelle kommen wir damit aber noch nicht heran, nämlich die ausgeprägte Neigung von Glas, sehr schnell die in ihm enthaltene Wärme abgeben zu wollen. Immerhin macht bei einem traditionellen, unbeschichteten Isolierglas, wie es bis Mitte der 90er-Jahre in Deutschland üblich war, der Wärmeverlust über Strahlung recht genau  $\frac{2}{3}$  des gesamten Wärmestroms zwischen den beiden Glas tafeln aus. Da weiß man, wo man anzusetzen hat, um die Eigenschaften drastisch verbessern zu können. Diese Neigung zur Abstrahlung nennt man Emissivität (vom lateinischen Ursprung *emittere* = „weg-schicken“). Zwischen den beiden Extremen, von 100 % (= maximales Abstrahlverhalten, mit der Sonne als dem klassischen Beispiel) bis zu 0 % (= denkt nicht daran abstrahlen, wofür es kein praktisches Beispiel gibt; reines poliertes Silber kommt ihm mit knapp 2 % aber sehr nahe), liegt Glas mit 89 % sehr auf der Seite der „Freigiebigkeit“.

Dazu ein paar Beispiele: Bei einer üblichen Glas tafel ist es so, als stellten wir uns im Winter in Badekleidung ins Freie. Der Wind trägt unsere Körperwärme fort, vor allem aber strahlt unsere unbedeckte Haut die Umgebung an, was uns zittern lässt. Das Gegenbeispiel dazu ist die knapp bekleidete Goldbepuderte Schöne in 007 – „Goldfinger“: Sie ist keineswegs am Goldstaub erstickt, wie viele glauben, denn mit unserer Haut atmen wir nur in ganz geringem Maße; tatsächlich ist die Dame an Überhitzung zugrunde gegangen, denn ihr Körper konnte die im Inneren stetig weiter produzierte Wärme nicht mehr abgeben.

Übertragen auf das Bauen heißt das: Warme Gegenstände, die an ihrer Oberfläche (und nur die ist entscheidend, auch wenn das entsprechende Material dort extrem dünn ist) eine Schicht aus schlecht abstrahlendem Material besitzen, behalten ihre Wärme für lange Zeit. Technischer ausgedrückt: Schlecht abstrahlende Materialien (die übrigens stets gut elektrisch leitend sind) sind „niedrig emittierend“ im Infrarotbereich, was im Englischen als Low Emissivity bezeichnet wird, abgekürzt als Low-E oder gleich ganz kurz LE.

### Die Thermoskanne als Vorbild

Praktische Anwendungen für dieses Prinzip gab es schon lange vor den ersten LE-Gläsern im Baubereich. Auch jede Thermoskanne verdankt diesem Prinzip ihr Dasein: Einer der beiden ineinander stehenden Glasbehälter ist mit einer dünnen Silberschicht versehen. Der Strahlungsaustausch zwischen den beiden Behältern ist unterdrückt, also bleibt Heißes heiß, und Kaltes bleibt kalt. Die Thermoskanne nimmt im Kleinen das Wärmedämmglas von heute vorweg. Ein Querschnitt durch ihre Wandung zeigt schon die wichtigsten Merkmale: Zwei Glas tafeln, im Abstand zueinander, eine davon ist zum SZR hin Edelmetall-/Silber-beschichtet.

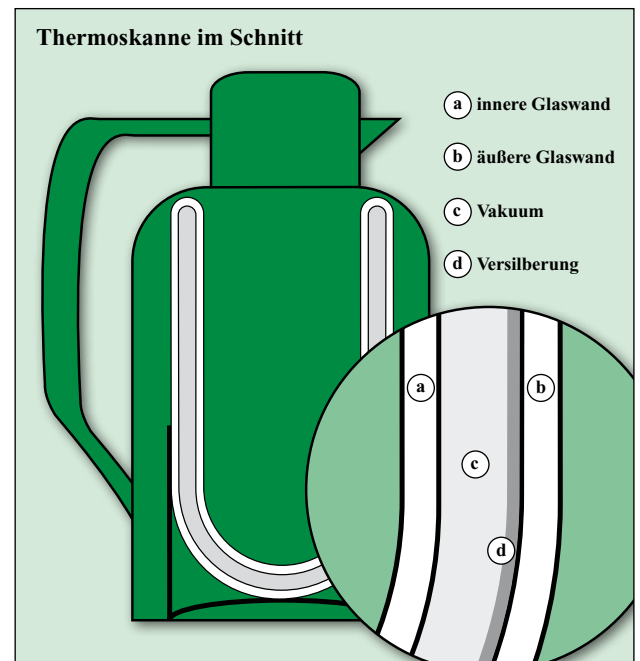


Abbildung 3

Allerdings hat es die Thermoskanne ein wenig einfacher. Bei ihr ist die Gleichmäßigkeit der Beschichtung unerheblich, anders als auf einer Fläche von fast 20 Quadratmetern wie bei unseren großen Bandmaßen. Hindurchgucken braucht man nicht, und es ist völlig unwichtig, ob die Spiegelung zu hoch oder zu niedrig ist, ob sie neutral ist oder in eine Farbe abdriftet, ob die Lichtdurchlässigkeit ein Maximum erreicht, ob das Basismaterial ein Hell- oder Weißglas ist und ob die Beschichtung transportfähig und vor der Weiterverarbeitung waschbar ist. Beim Wärmedämmglas müssen jedoch all diese Details stimmen; sie sind es, die die Entwicklung der letzten zwei Jahrzehnte ausmachten.

Die größte Kleinigkeit dabei ist die immer komplizierter werdende Abfolge einzelner, jeweils hauchdünner Schichten, von denen manche nur wenige Atomlagen dünn sind. Aber auch sie gehorchen ein paar Grundregeln: Auf das Glas bringt man als Erstes eine Haftschrift auf, dann die Funktionsschicht. Sie bewirkt die geschilderte niedrige Abstrahlung, also die verbesserte Wärmedämmung. Das am besten geeignete Material ist Silber (wie bei allen Pilkington **Optitherm™**- und Pilkington **Suncool™**-Typen), gefolgt von Gold (bei sehr vielen der alten Infrastop®-Typen).

Üblicherweise wird die Funktionsschicht eingehüllt von „Interferenzschichten“ (sehr dünnen metallischen Zwischenschichten), die für die Entspiegelung, den Korrosionsschutz und für die gewünschte Neutralität oder farbliche Gestaltung im Aussehen und in der Durchsicht sorgen. Sehr oft kommt bei den neueren Schichtentwicklungen eine weitere Funktionsschicht im „Doppelsilberaufbau“ hinzu, sowohl um die Wärmedämmung weiter zu verbessern als auch um die Sonnenschutz-Selektivität noch stärker anzuheben. Typisch dafür sind die Pilkington **Suncool™** Brilliant-Typen. Und schlussendlich wird das gesamte Schichtpaket noch von einer optisch neutralen Schutzschicht abgedeckt, die dafür Sorge trägt, dass die beschichteten Halbzeuge transportfähig sind und vor der Weiterverarbeitung gewaschen werden können. Alles in allem kann ein komplettes Schichtpaket aus bis zu einem Dutzend einzelnen Lagen bestehen.

Nun haben wir sozusagen alle Zutaten für das Rezept beisammen. Das „Zusammenbacken“ beherrschen wir auch, sehr gut sogar, denn schließlich schauen wir auf mehr als drei Jahrzehnte Erfahrung mit Wärmeschutzgläsern oder, wie wir heute sagen, Wärmedämmgläsern zurück. Die ersten Thermoplus®-Gläser wurden nämlich schon 1975 angeboten, das war genau 20 Jahre, bevor die dritte Wärmeschutzverordnung Mitte der 90er-Jahre sie zum Standard im Bauwesen machte.

### **Die Kenngröße für die Wärmedämmung**

Die Haupteigenschaft eines Wärmedämmglases fasst man in einer Kenngröße zusammen, dem  $U_g$ -Wert. Jedermann weiß: Je niedriger der  $U_g$ -Wert, um so besser. Das aber ist nur ein Teil der Wahrheit, quasi die Scheuklappensicht ausschließlich auf die Negativseite, d. h. die Wärmeverluste. Dabei hat unser Werkstoff Glas im Gegensatz zu allen anderen Materialien in einer Gebäudehülle auch die Eigenschaft, kostenlos Energie ins Haus hineinzulassen, „passive solare Energiegewinnung“ genannt. Sie war sehr anschaulich in der Wärmeschutzverordnung 1995 über den  $k_{eq}$ - oder Bilanz-k-Wert beschrieben. Die jetzt gültige Energieeinsparverordnung erfasst ebenfalls die kostenlose Sonnenenergie, und zwar mit einem genaueren, damit leider auch umständlicheren und weniger anschaulichen Verfahren. Es gibt aber Hinweise darauf, dass der alte Bilanz-k-Wert unter einer geänderten Bezeichnung in der nächsten EnEV wiederbelebt werden wird. In jedem Fall lohnt es aber, sich bei einer Produktübersicht auch die begleitenden Werte wie Gesamtenergie-durchlässigkeit, Lichttransmission, Farbneutralität anzusehen.

Wie beschrieben ist man mit einem  $U_g$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ziemlich am Ende der Fahnenstange der zweischiebigen Wärmedämmgläser angekommen. Das ist nun der Stand der Technik! Man kann zwar immer noch ein wenig „herumtricksen“, z. B. mit nicht-praxisgerechten Gasfüllungen von fast 100 % oder mit Exotengasen. Aber dann ist schnell Schluss. Übrigens: Die häufig geäußerte Vermutung, zwei Beschichtungsebenen mit je 3 % Emissivität könnten noch den letzten kleinen Kick geben, um von „1,1“ auf „1,0“ zu kommen, hilft nicht weiter. Man scheitert bei der  $U_g$ -Wert-Berechnung nach EN 673 knapp an der Rundungs-Hürde zum 1,0.

In jüngster Vergangenheit ist auf dem deutschen Glasmarkt eine neue Spielart aufgetaucht, um auch mit einem nur zweischiebigen Isolierglasaufbau doch noch die magischen „1,0“ zu erreichen, sogar mit üblicher 90 %iger Argonfüllung, um die teure Kryptonfüllung zu umgehen. Man muss dazu „nur“ eine vorhandene Wärmedämmbeschichtung „verstärken“, so dass sie sich einer theoretischen Emissivität von 1 % nähert, und kriegt dann gerade eben die Kurve zu den 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Dieses Verfahren ist derzeit in der Branche noch etwas umstritten, weil es gezielt die zulässige Toleranzbreite bei der Emissivität voll ausnutzt und weil es offenbar schwierig ist, tatsächlich in der Serie innerhalb dieser Bandbreite zu produzieren. Davon einmal abgesehen gibt es aber bekanntlich nichts umsonst: Dieser kleine Erfolg beim U<sub>g</sub>-Wert wird unweigerlich erkauf mit Einbußen an anderer Stelle, nämlich bei der Licht- und Energiedurchlässigkeit. Diese für eine Wärmedämmglas gleichermaßen wichtigen Kenngrößen rutschen dann auf ein für dreischiebige Gläser vergleichbares Niveau.

### **Wozu dreischiebige Isoliergläser?**

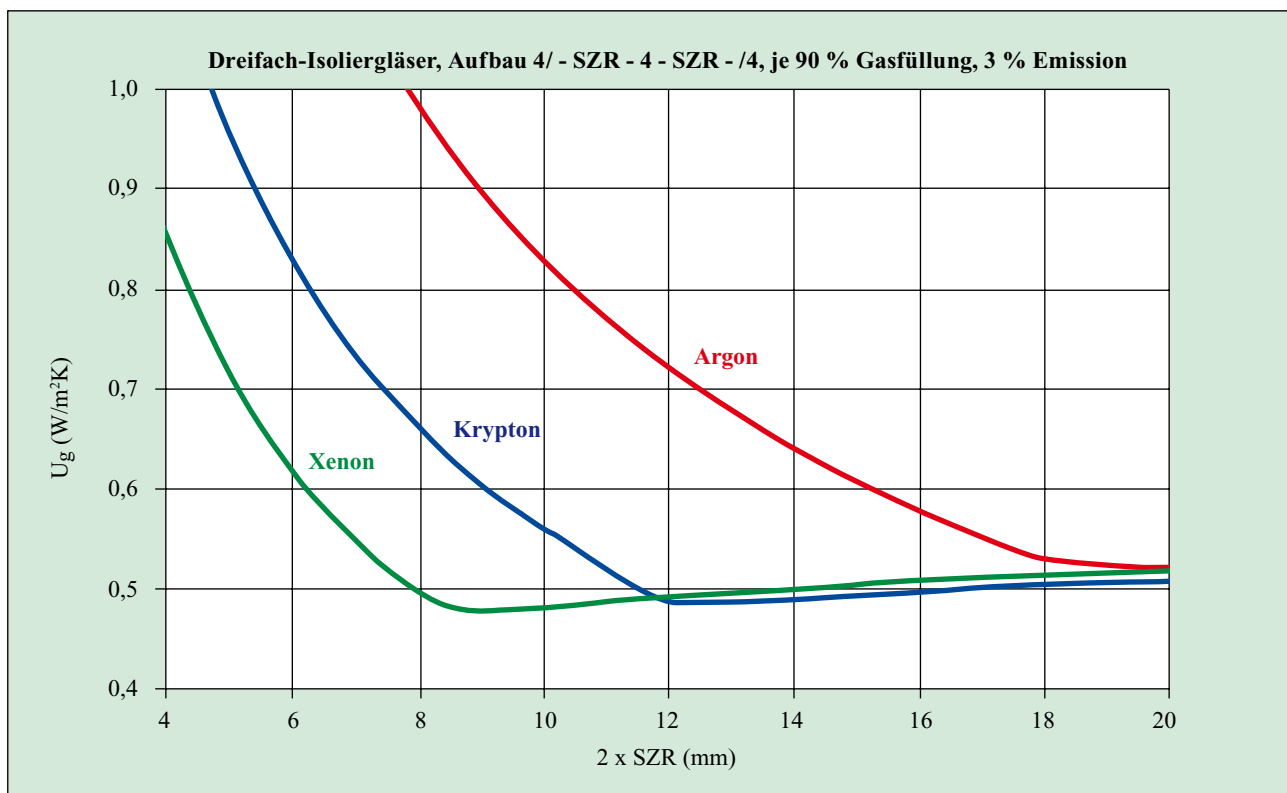
Und damit sind wir gleitend angekommen bei der nächsten Stufe der U<sub>g</sub>-Wert-Olympiade. Eine weitere bedeutende U<sub>g</sub>-Steigerung ist nämlich nur über Dreifach-Wärmedämmgläser möglich (ggf. auch in der Variante als „1 + 2“ in Kasten- und Verbundfenstern). Es ist damit zu rechnen, dass sie auf mittlere Sicht einen nennenswerten Marktanteil erreichen werden, da die staatlichen Anforderungen an den Wärmeschutz weiter ansteigen werden, wie aus den Beratungen für die nächste EnEV schon jetzt klar erkennbar ist. Davon sind sowohl die Wärmedämmgläser wie auch die Sonnenschutzgläser betroffen, und unsere Flachglas MarkenKreis-Lizenznehmergruppe stellte sich bereits mit einer „Thermoplus® III“- und „Infrastop® III“-KlimaschutzGlas-Produktreihe aktuell darauf ein. Man ist damit bereits jetzt für die zukünftigen Anforderungen sowohl an die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung durch verbesserte Wärmedämmeigenschaften wie für den sommerlichen Wärmeschutz und damit Energieeinsparung bei der Kühlung von Gebäuden gewappnet.

Um nun einen Eindruck davon zu vermitteln, in welche  $U_g$ -Wert-Regionen man vorstoßen kann mit Dreifachaufbauten, betrachte man die Abb. 4. Sie zeigt wie die vorherige Abb. 2 den Verlauf der möglichen Wärmedämmwerte, diesmal aber für drei Scheiben mit zwei Low-E-Beschichtungen und einer Argon- bzw. Krypton- und einer exotischen Xenon-Gasfüllung.

Auf diese Weise rückt die Wärmedämmung der Dreifachwärmedämmgläser in die Nähe einer heutigen guten steinernen Wand mit Isolierschicht. Begrenzt man die beiden Scheibenzwischenräume auf vernünftige Maße, d. h. auf jeweils höchstens 12 mm, um Einbaudicken und Pumpeffekte in Grenzen zu halten, so könnte sich ein  $U_g$ -Wert von 0,7 W/m<sup>2</sup>K bei Argonfüllung als neuer Stand der Technik herausbilden! In der Abbildung kann man Werte für eine Kryptonfüllung von bis zu 0,5 W/m<sup>2</sup>K ablesen; solche Gläser werden aus Kosten- und Verfügbarkeitsgründen in der Praxis nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Umso mehr gilt dies für die extrem teure Xenonfüllung; sie ist nur deswegen mit in das Diagramm aufgenommen worden, um zu zeigen, dass mit ihr die gelegentlich propagierten Wunderwerte wirtschaftlich nicht erzielbar sind. Und auch hier gilt wieder: „Umsonst“ gibt es diese Leistungssteigerung natürlich nicht. Weder bei den Herstellkosten und den sich daraus ergebenden Preisen, noch bei der Einbautiefe (und den dann notwendigen dickeren Rahmen), noch beim Gewicht oder bei der Licht- und Energiedurchlässigkeit, die beide um ein paar Prozent in die Knie gehen: Mit den Pilkington **Optitherm**™ S3-Gläsern erreicht man aber doch immerhin etwa 71 % Licht- und 50 % Energiedurchlässigkeit. Solche Lichtdurchlässigkeit entspricht annähernd dem Niveau der nur zweischiebigen Gläser vor ein paar Jahren und sie ist übrigens immer noch deutlich höher als bei den ersten, damals noch goldbeschichteten zweischiebigen Low E-Gläsern Mitte der 70er Jahre, die 60 % bzw. 65 % erreichten.

Abbildung 4





### Ergänzendes zu den Fensterrahmen

Jetzt noch ein paar wenige Worte zum „Drumherum“, den Rahmen: Vielfach ist nicht bekannt, dass Wärmedämmgläser, auch schon die „nur“ zweischiebigen, in den allermeisten Fällen eine deutlich bessere Wärmedämmung bieten als die sie haltenden Rahmen. Holz- und Kunststoffrahmen, die heutzutage im Mittel noch bei etwa  $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  liegen (der Index „f“ steht für frame/Rahmen), können mit einigem Aufwand in Richtung  $U_f = 1,2$  bzw.  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  ausgebaut werden. Bei den im Objektbereich dominierenden Aluminiumprofilen liegen die Werte im Allgemeinen sogar um gut vier Zehntel höher, sind sozusagen meilenweit vom Glas entfernt.

Der relative Abstand wird sich vermutlich mit den kommenden dreischiebigen Gläsern noch weiter erhöhen. Wie zuvor gezeigt, sind bei den Gläsern noch deutliche Steigerungen bei der Wärmedämmung möglich, bei den Rahmen müsste man aber „Klimmzüge“ anstellen, um auch nur annähernd mit Glas gleichzuziehen.

### Der Ausblick: Vakuum-Isolierglas

Bekanntlich war die Weiterentwicklung der Kerze nicht eine besonders große Kerze sondern die Glühbirne. Man muss sich also fragen, ob es bei den Wärmedämmgläsern der Zukunft weiterhin „nur“ um die Feinarbeit an Beschichtungen, Dichtstoffen und Gasfüllungen gehen wird, oder ob nicht ein gänzlich anderes Verfahren kommen könnte. Das Tolle ist: So etwas gibt es sogar schon! Besonders geeignet für spezielle Anwendungen, bei denen eine geringe Einbautiefe im Vordergrund steht. Es handelt sich um Vakuum-Isolierglas, das der Pilkington-Mutterkonzern NSG in Japan unter dem Namen „Spacia“ längst serienmäßig anbietet. Die Ausgangslage für eine außergewöhnlich gute Wärmedämmung ist im Prinzip exzellent: Wo kein Gas im SZR, da keine Wärmeleitung und keine Konvektion! Und der große Anteil an Wärmestrahlung zwischen zwei Glas tafeln wird durch eine gute Low-E-Beschichtung auch noch weitestgehend unterdrückt. Auf diese Weise errechnet sich ein supergünstiger  $U_g$ -Wert von weniger als  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ , bei nur wenigen Millimetern Bautiefe.

Leider muss man jetzt gleich, wie bei Radio Eriwan, dazwischenrufen: „Ja, aber ...!“, denn alles wäre wunderschön, wäre da nicht eine extreme Form eines „Klimaeffektes“ zu beachten, das Vakuum eben. Von beiden Seiten lastet der normale Luftdruck mit 1 bar auf den Scheiben. „1 bar“ klingt wenig, füllt man doch an der Tankstelle mehr als das Doppelte in einen Autoreifen. Vergegenwärtigt man sich aber, dass 1 bar der Last von 10 m Wasserhöhe entspricht, wird schnell klar, dass die armen Scheiben erbarmungslos zusammenpresst werden. Dem kann man nur begegnen durch eine Unzahl kleiner Stützpunkte, wie an den Kreuzungspunkten eines Schachfeldes, im Abstand von etwa 20 mm. Diese „Pfeiler“ müssen stabil sein, auch nach langer Zeit und bei wechselnden Temperaturen, sie sollen kaum Wärme leiten, und man sollte sie möglichst nicht sehen können. Leider sind die Pfeiler (über ihre Wärmeleitung wie bei einem thermischen Kurzschluss) Spielverderber, so dass der Dämmwert auf  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  ansteigt. Das aber bei einer unschlagbar geringen Element-„Dicke“ von nur 6 mm! Damit sind die Vakuum-Isoliergläser prädestiniert für Einbausituationen, die keine Isoliergläser üblicher Dicke oder gar Dreifach-Isoliergläser und den entsprechenden wuchtigen Rahmen zulassen, wie etwa in historischen Fassaden oder in denkmalgeschützten (Rahmen-) Bauteilen.

Fairerweise muss man allerdings konstatieren, dass dort, wo normale Rahmen zur Verfügung stehen, die bewährten Wärmedämmgläser schon allein aus Kostengründen noch auf lange Zeit das Feld beherrschen werden. Jedoch gibt es auch heute schon, ähnlich wie im Automobilbereich, Hybrid-Versionen, d. h. die Kombination von Vakuum-Isolierglas mit einer Low E-Gegenscheibe, quasi als Dreifach-Wärmedämmglas, und man erreicht damit exzellente  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  bei vergleichsweise geringer Bautiefe.

## Glossar

### Der $U_g$ -Wert

Bis vor ein paar Jahren hieß der U-Wert noch k-Wert. Eine tiefere Bedeutung kommt keinem der beiden Buchstaben zu, es sind auch keine Abkürzungen. Nur im Rahmen der europäischen Normung wurde aus der mitteleuropäischen Traditionsbezeichnung „k“ ein international seit langem gebräuchliches „U“. Gleichzeitig wurde das Bewertungsverfahren ein wenig geändert, so dass entsprechend der europäischen Norm DIN EN 673 die Zahlenwerte geringfügig größer sind als früher. (Siehe das Glaskompodium Nr. 7). Bei Verglasungen redet man zudem genauer vom  $U_g$ -Wert. Der Index „g“ steht für glazing = Verglasung. Es handelt sich um den Nennwert, gültig für die „reine Verglasung“, ohne Korrekturwerte für eventuelle Sprosseneinlagen und ohne Berücksichtigung von Einflüssen durch Randverbund und Rahmen.

Der U-Wert gibt den Wärmefluss pro Zeit-, Flächen- und Temperatureinheit an.  $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  besagt, dass durch ein Bauteil die Wärme-Leistung von 1,1 Watt (1 Joule pro Sekunde) verloren geht, bezogen auf die Fläche von  $1 \text{ m}^2$  und 1 Grad Temperaturunterschied.

Als Beispiel: Unter Norm-Bedingungen belüftet sich der Wärmeverlust durch die Verglasungsfläche für ein Einfamilienhaus mit großzügigen  $25 \text{ m}^2$  Glas an einem Wintertag (drinnen 22 Grad, draußen 0 Grad) auf:

$$1,1 \text{ W/m}^2\text{K} \times 25 \text{ m}^2 \times 22^\circ \text{ Temperaturunterschied} = 605 \text{ Watt}$$

Das ist soviel wie die Leistung von sechs 100W-Glühbirnen oder wie die zu einem Drittel eingeschaltete Schnellkochplatte.

## Die Wärmetransport-Mechanismen

Strahlung, Leitung und Konvektion sind die drei möglichen Transportformen für Wärme. In den meisten Fällen kommen sie gemeinsam zum Zuge, wenn auch mit unterschiedlichen Gewichtungen. Es gibt aber auch viele Beispiele, wo nur eine der drei Transportformen auftritt.

### 1.Strahlung:

Das bekannteste Beispiel ist die Sonnenstrahlung. Sie erreicht uns über riesige Entfernungen durch das Vakuum des Weltalls. Sie tritt dann in „reiner“ Form auf, ohne jede begleitende Leitung und Konvektion, benötigt also kein Transport-Medium. In Wikipedia, der freien Internet- Enzyklopädie, findet man aktuell folgende Definition (auszugsweise): *Wärmestrahlung ist ein umgangssprachlicher Begriff für Infrarotstrahlung. Sie ist die Temperaturstrahlung oder thermische Strahlungsemission, d. h. eine elektromagnetische Strahlung, die jeder Körper abhängig von seiner Temperatur emittiert. Mit zunehmender Temperatur eines Körpers steigt auch die Intensität seiner Wärmeabstrahlung (siehe Stefan-Boltzmann-Gesetz), und das Emissionsmaximum verschiebt sich zu kürzeren Wellenlängen (siehe Wien'sches Verschiebungsgesetz). Einen starken Einfluss auf die abgestrahlte Intensität hat auch die Oberflächenbeschaffenheit des Körpers, sie ist durch dessen Emissionsgrad charakterisiert. Sie tritt im Gegensatz zu den beiden anderen Mechanismen auch im luftleeren Raum auf.*

### 2.Wärmeleitung:

Damit bezeichnet man einen Wärmestrom durch eine ruhende Substanz (fest, flüssig oder gasförmig) als Folge einer Temperaturdifferenz. Ein Beispiel: Einen Metalllöffel in die heiße Suppe gehalten spüren wir sehr schnell warm werden, ein Holzstab im Feuer lässt uns jedoch kalt.

Wieder aus Wikipedia zitiert: *Unter Wärmeleitung, auch Wärmediffusion oder Konduktion genannt, wird in der Physik der Wärmefluss in einem Kontinuum (Feststoff oder ruhendes Fluid) in Folge eines Temperaturunterschiedes verstanden.*

Wärme fließt dabei aufgrund des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik von selbst immer nur in Richtung geringerer Temperatur. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes geht dabei keine Wärme verloren. Auch in Flüssigkeiten und Gasen wird die Wärmeleitung durch Stöße zwischen Teilchen dominiert, doch ist deren Bewegung stärker und es wirken auch andere Effekte (Durchmischung, Diffusion etc.). Die Wärmeleitung in Gasen hängt nicht vom Druck ab, solange die freie Weglänge der Teilchen klein gegen die Gefäßdimensionen ist. Leichte Atome bzw. Moleküle leiten besser als schwere.

### 3.Konvektion:

Ein Wärmetransport durch sich bewegende kleinste Flüssigkeits- und Gasteilchen, z. B. durch die Warmluft bei einem Fön oder durch das Warmwasser im Heizkörper. Temperaturdifferenzen in Flüssigkeiten oder Gasen verursachen Strömungen. Dabei wird Wärme von einer Stelle zu einer anderen Stelle transportiert. Bei der Erwärmung einer Flüssigkeit oder eines Gases nimmt seine Dichte ab. Eine Ausnahme ist Wasser, das bei 4 °C seine größte Dichte besitzt. Wenn sich die Flüssigkeit oder das Gas in einem Gravitationsfeld befindet, steigt die wärmere, weniger dichte Flüssigkeit nach oben, während die kältere, dichtere Flüssigkeit nach unten sinkt. Diese Bewegung, die ihre Ursache allein in den unterschiedlichen Temperaturen der Flüssigkeit hat, wird als natürliche Konvektion bezeichnet.

### **Impressum**

**Herausgeber:** Pilkington Deutschland AG

Hegestraße 45966 Gladbeck

**Verantwortlich:** Daniela Lemanczyk, Horst Harzheim

Telefon +49 (0) 2043 4 05 56 60 Telefax +49 (0) 2043 4 05 56 66

**Gestaltung:** Identity Development GmbH, Essen

Pilkington Glaskompendium

Ausgabe 10, Oktober 2007 – ISSN 1611-0951



**PILKINGTON**  
NSG Group Flat Glass Business

[www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)