

# Pilkington Glaskompendium

Technische Informationen  
und Wissenswertes rund um  
das Thema Glas.

Ausgabe: 7  
Juli 2003  
ISSN: 1611-0951

---

## U-Werte kleiner als $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

---

„Schneller, höher, weiter“ lautet die Maxime im Sport. „Heller, schöner, niedriger“ könnte man als Analogie die Ziele bei den Wärmedämmverglasungen definieren. Weniger feinfühlig sprechen wir auch von der k-Wert-Olympiade oder der U-Wert-Hysterie. Wie auch immer, die Forderungen nach Verbesserungen – auch wenn sie nur scheinbar sind – lassen nicht nach. In dieser Glaskompendiums-Ausgabe soll einmal beleuchtet werden, wie man die Verglasungs- $U_g$ -Werte auf  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  und deutlich darunter schrauben kann.

Ob solch ein Ziel sinnvoll ist oder nicht, das ist eine ganz andere Frage. Denn manche U-Wert-Olympioniken machen es sich arg einfach. Sie haben nur ein einziges Ziel vor Augen, nämlich den U-Wert zu drücken, so zu sagen „koste es was es wolle“. Daher trifft man auf dem Markt Produkte mit angepriesener besonderer Passivhaustauglichkeit oder mit Vorzeige-Werten von bis zu  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  und „vergisst“ dabei so manche der schönen Errungenschaften der vergangenen Jahre, wie etwa hohe Lichtdurchlässigkeit, hohe Gesamtenergiedurchlässigkeit (für die sog. Passive Solare Energiegewinnung), Farbneutralität in Ansicht und Durchsicht, akzeptable Glas-Elementdicke. Und „nebenbei“ ignoriert man auch noch die extremen Kosten für die überdicken Gläser und die dafür benötigten Sonderrahmen-Konstruktionen.



PILKINGTON

Wir werden nun im Folgenden ebenfalls bis zu einem gewissen Punkt wie mit Scheuklappen auf möglichst niedrige  $U_g$ -Werte schauen und alles andere ausblenden.

#### Für „Dickbrettbohrer“:

Wir müssen bei der Betrachtung keineswegs bei Adam und Eva beginnen, sprich bei der Definition eines U-Wertes und seiner Mess- und Berechnungsverfahren, aber dennoch stellt sich zu Anfang die Frage „Über welchen U-Wert reden wir eigentlich?“

Kaum haben wir uns nämlich in der Branche ein wenig daran gewöhnt, dass die frühere Bezeichnung „k-Wert“ durch die Angleichung an den angelsächsischen Sprachgebrauch und an die europäischen Normen jetzt „U-Wert“ heißt (ohne dass damit gleich eine inhaltliche Veränderung verbunden wäre), da kommen neben den bisherigen noch manche neuen Bezeichnungen für ebendiesen U-Wert auf uns zu: Wir lesen also von Wärmedurchgangs-, Bundesanzeiger-, Nenn-, Bemessungs-, Prüfzeugnis-, Rechen-, Bauregellisten- und Ausschreibungswerten, ergänzt um  $\Delta U$ - („Delta U“-) Korrekturwerte und um längenbezogene  $\psi$ - (Psi-) Wärmedurchgangswerte. Daher vorab ein kleiner Rückblick:

- Früher, also vor dem Februar 2002, als die EnEV/Energieeinsparverordnung in Kraft trat, da wurden die k-Werte (eigentlich  $k_V$ -Werte, V=Verglasung) meistens an nur *einem* Prüfmuster gemessen (nach DIN 52619.2) und mit einem Prüfzeugnis belegt. Das waren die in der Branche bekannten „k-Wert-Prüfzeugnisse nach DIN“.
- Daneben gab es für die offizielle Wärmebedarfsberechnung nach der 1995er WSVO/Wärmeschutzverordnung (bis Januar 2002) ein modifiziertes Verfahren: Drei Baumuster wurden gemessen, anschließend wurde ein Mittelwert gebildet und mit Aufschlägen für den Gasverlust und für Emissivitätsschwankungen versehen. Und um nach den Vorgaben der Baubehörden ganz bestimmt auf der sicheren Seite zu liegen, musste außerdem grund-

sätzlich *hochgerundet* werden. Dies ergab den „Bundesanzeigerwert“  $k_{VBAZ}$ . Er war meistens um ein Zehntel höher (ungünstiger) als der entsprechende Prüfzeugniswert  $k_V$  und lag somit in der Beliebtheitskala der Anbieter weit unten.

- Als sich „Europa“ näherte, wurde der  $k_V$ -Wert in einem ersten Zwischenschritt in  $U_V$ -Wert umbenannt. Viel wichtiger neben dem einfachen Buchstaben-Tausch von k zu U war aber: U-Werte dürfen nunmehr entweder wie gehabt gemessen (EN 674) oder auch berechnet werden. Dafür gibt es die Norm DIN EN 673. Dies war ein wichtiger Schritt zu einer einfacheren, schnelleren und billigeren U-Wert-Deklaration, denn der Beschichtungshersteller muss jetzt nur noch die Emissivität „ $\epsilon$ “ (Epsilon), d. h. das Wärmeabstrahlungsvermögen seiner Beschichtung messen und überwachen lassen. Auf dieser Basis können die U-Werte nach Norm berechnet werden, und zwar in Abhängigkeit vom SZR, von der Art der Gasfüllung und von ihrem Gasfüllgrad. Prüfberichte in herkömmlicher Art sind somit nicht mehr erforderlich und nicht mehr dem neuesten Stand der Technik entsprechend.

Leider wurde in einer Übergangsphase nur ein halber Schritt gemacht. Zwar wurde die Berechnung nach der schon erwähnten Norm EN 673 möglich, aber noch mit dem früher üblichen „Delta 10 Grad ( $\Delta = 10\text{ °C}$ )“ anstelle der nach der Norm eigentlich vorgesehenen 15 Grad. Damit ist der angenommene Temperaturunterschied zwischen der kalten und warmen Seite der Wärmedämmverglasung gemeint, ähnlich wie an einem kühlen Wintertag. Der etwas größere Unterschied von 15 °C anstelle 10 °C wirkt sich nämlich in einer kleinen Verschlechterung des U-Wertes aus, man ist noch weiter auf der sicheren Seite in der Bewertung.

Das war vielleicht vom Institut für Bautechnik gut gemeint, weil dann die alten  $k_V$ -Werte meistens zahlen- gleich mit den neuen  $U_V$ -Werten waren, aber richtig europäisch war es noch nicht. Außerdem führte diese Zwischenetappe, wenn sie denn überhaupt jemand be- merkte und auch noch verstand, nur zur Verwirrung auf dem deutschen Markt.

- Heute werden die U-Werte korrekt nach der EN 673 berechnet, mit einem vom Hersteller angestrebten Soll- füllgrad. Sie heißen jetzt richtigerweise auch nicht mehr  $U_V$  sondern  $U_g$  (g = glazing). Es könnte sich also lohnen, einmal auf das „Kleingedruckte“, also auf die halbstufig herabgesetzten Index-Buchstaben zu achten.
- Diese  $U_g$ -Werte können unmittelbar für die Heizenergiebe- darfsberechnung nach der EnEV verwendet werden, auch wenn sie in diesem Stadium „nur“  $U_g$ -Nennwerte sind. Ein Alterungs- oder BAZ-Zuschlag ist nicht mehr vorge- sehen. Den wirklichen Grad der Vollkommenheit erreichen sie erst, wenn sie zuvor noch mit Korrekturwerten (nach der DIN V 4108.4:2002-02) versehen wurden, für ein- oder mehrteilige Sprossen im SZR (+ 0,1 bzw. + 0,2 W/m<sup>2</sup>K). Diese Korrekturwerte heißen  $\Delta U_g$  („Delta  $U_g$ “), und sind – wie kaum anders zu erwarten war – eine Korrek- tur zur „sicheren Seite“ hin, letztlich also ein Malus, trotz des so positiv aussehenden „+“-Zeichens. Nun endlich hat man den sog. Bemessungswert  $U_{g,BW}$ - Wert erreicht! Mit ihm und der Norm EN 10077 bzw. der Tabelle der DIN 4108.4 kann in einem weiteren Schritt der Wärmedurchgangskoeffizient für Fenster ermittelt werden.

Wir betrachten aber nun ausschließlich  $U_g$ -Werte, die so genannten Nennwerte, die man als „reine Glaswerte“ berechnen kann, ohne weitere Einflüsse durch Rahmen, Sprossen, Randverbunde usw. Etwas spöttisch könnte man nun fragen „Was hätten Sie denn gerne als  $U_g$ -Wert?“ Wir können nämlich jeden beliebigen Wert als präzise Punktlandung ansteuern. Dazu bedarf es nur weniger „Zutaten“:

- Einer geeigneten Beschichtung mit dem sie charakterisierenden Wärmeabstrahlungsvermögen, der Emissivität  $\epsilon$  („Epsilon“), heute meistens  $\epsilon = 4 \%$ .
- Zweier oder dreier Glastafeln mit je einer (gelegentlich auch je zwei) Low-E-Beschichtung pro Scheibenzwischenraum (SZR).
- Eines Edelgases (meistens Argon, selten Krypton, als extrem teure Spielart Xenon), in ganz seltenen Fällen auch einer Mischung daraus.
- Eines anzustrebenden Gasfüllgrades (meistens 90 %).

Absolute Exotenaufbauten, auch wenn sie durchaus auf dem deutschen Markt anzutreffen sind, werden hierbei nicht betrachtet. Dies sind etwa *vierscheibige* Isoliergläser oder Vakuumgläser. So manches Mal handelt es sich dabei um reine Prestigeaufbau- ten oder um Versuchsprodukte.

Die im Kapitel 3.2.4 des aktuellen Basisgläser 2003-Handbuchs unseres Unternehmens abgedruckten U-Wert-Tabellen geben einen ersten Eindruck von der Bandbreite an  $U_g$ -Werten bei derselben Beschichtung, wenn nur die beiden Parameter SZR und Gasfüllgrad variiert werden. *Stellvertretend sei hier die Tabelle für Gläser mit einer Emissivität von 4 % wiedergegeben (Abbildung 1). Dies sind die gemeinhin als „1,1er“-Gläser be- zeichneter Wärmedämmgläser. Diese Bezeichnung ist zwar sehr weit verbreitet, war aber auch früher nur in wenigen „Stan- dard“-Fällen stimmig. Bei gleichen Voraussetzungen müsste der Begriff nach heutiger Norm „1,2er-Glas“ lauten!*

So geht es im Übrigen aus der Abbildung 1 im Schnittpunkt der 90 % Gasfüllgrad-Spalte mit der 16 mm SZR-Zeile hervor.

Emissivität: 4 % (Argon)					
Gasfüllgrad:	80 %	85 %	90 %	95 %	100 %
SZR:					
6	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
10	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
12	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
14	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
15	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
16	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
20	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Abbildung 1

Darauf aufbauend kann man nunmehr zu „optimieren“ beginnen, wobei wir zunächst einmal dahingestellt sein lassen, ob dies unter Berücksichtigung weiterer Faktoren (Produktionsmöglichkeit, Kosten, Mengen-Verfügbarkeit teurer Edelgase usw.) vernünftig ist oder nicht.

1. Als Erstes ersehen ganz „Clever“ aus der Tabelle, dass man bei den gängigen SZRs (15 mm und 16 mm) nur den Gasfüllgrad leicht auf 95 % anzuheben brauchte, und schon wäre man wieder wie früher bei den 1,1 W/m<sup>2</sup>K. Das sieht viel „schöner“ aus und verschafft vielleicht auch einen Wettbewerbsvorsprung. Die Frage, ob solch ein Vorgehen zulässig ist, kann nur indirekt beantwortet werden: Formal ist das sicherlich nicht zu beanstanden, aber der jeweilige Isolierglashersteller wird sich fragen lassen müssen, ob er diesem sehr hohen Anspruch an seine eigene Fertigungsqualität unter Alltagsbedingungen an seiner Linie gerecht werden und ob er folglich eine externe Güteüberwachungsprüfung entsprechend seiner sog. Typenübersichtsliste bestehen kann. Wahrscheinlich dürfte sein Vorgehen in den meisten Fällen mit der Produktionsrealität weniger übereinstimmen und der Kunde erhielte nicht die deklarierte Ware.
2. Sodann liegt es nahe, über andere Edelgase als das mit Abstand am meisten verbreitete und günstige Argon nachzudenken. Vor allem Krypton und Xenon kommen dafür in Betracht.

Nebenbei: Warum eigentlich immer nur diese drei Edelgase, wird man sich fragen? Nun, für Wärmedämm-Isoliergläser geeignete Gase müssen sehr viele Anforderungen gleichzeitig erfüllen: Wärmedämmend + in ausreichender Menge verfügbar + nicht toxisch + nicht umweltschädlich + ggf. schalldämmend + im SZR verbleibend, d. h. praktisch so gut wie nicht durch den Randverbund ausdiffundierend + nicht aggressiv gegen Glas/Randverbunddichtstoff/Abstandhalter + preiswert sowieso. Argon erfüllt all' das hervorragend, Krypton mit etlichen Einschränkungen, Xenon nur noch teilweise, andere Gase scheitern völlig. Die Crux an den Edelgasen ist, dass sie nicht chemisch hergestellt und vermehrt werden können. Sie fallen beim Verfahren der Luftverflüssigung an.

Die Abbildung 2 zeigt exemplarisch, was passiert, wenn man die drei Gas-Favoriten (mit den für sie jeweils besonders günstigen Zwischenräumen) hoch und immer höher füllt. Wie schon zuvor ausgeführt, grenzen diese Betrachtungen an theoretische Spielereien, denn Gasfüllgrade jenseits des anzustrebenden Füllgrades von 90 % sind im Labor gut ausführbar, sie sind aber in einer Wärmedämmglas-Massenproduktion bei ehrlicher Einschätzung eher eine (recht unrealistische) Wunschvorstellung.

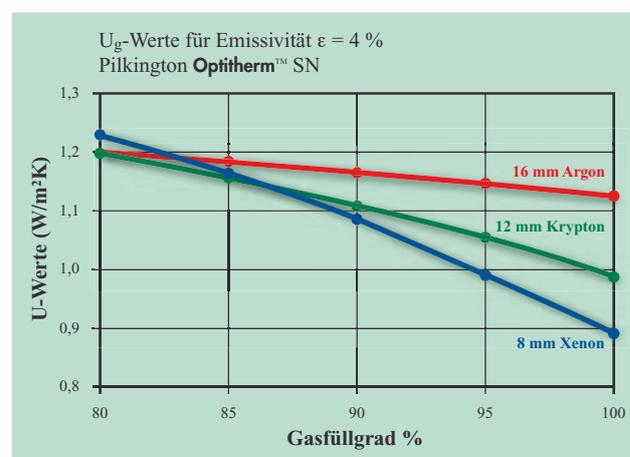


Abbildung 2

(nach EN 673)

### Man erkennt schnell

- je höher der Füllgrad, desto niedriger = günstiger wird der U<sub>g</sub>-Wert
- bei dem relativ teuren Edelgas Krypton und erst recht bei dem noch viel teureren und gar nicht in großer Menge verfügbaren Xenon ist die Verbesserung durch sehr hohe Füllgrade besonders ausgeprägt
- es ist mit Hilfe der Formeln der EN 673 nur ein Computer-Rechenspiel herauszufinden (oder im Diagramm der Abbildung 2 abzulesen), wie hoch der Mindestgasfüllgrad jeweils sein müsste, um die U-Wert-Olympiade 1,2 → 1,1 → 1,0 W/m<sup>2</sup>K usw. voranzutreiben.
- im (nicht mehr praxistauglichen) Extremfall kann sogar mit einem zweischeibigen Isolierglasaufbau ein U<sub>g</sub>-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K oder gar (bei einer Beschichtung mit 2 % Emissivität) 0,8 W/m<sup>2</sup>K erreicht werden

3. Wem das noch nicht genügt, der kann sich durchaus noch steigern.
- Zum Einen wären da die aufwändigen Low-E-Beschichtungen mit der physikalisch nicht mehr unterbietbaren 2 %-Emissivität, meistens (wenn auch fälschlich) „1,0er Beschichtung“ genannt. Für sie gilt näherungsweise die gleiche Abbildung wie zuvor. Die Kurven wären darin nur jeweils um ein Zehntel parallelverschoben nach unten.
  - Zum Anderen ist noch das weite Feld der Dreifach- (oder im Extremfall sogar Vierfach-) Isoliergläser zu nennen, mit je einer Low-E-Beschichtung pro SZR, und mit den gleichen Möglichkeiten der Variationen an Beschichtungsarten, an Scheibenzwischenräumen und an Gasarten, -füllgraden oder gar -mischungen. Die Abbildung 3 zeigt für vier Dreifach-Aufbauten beispielhaft, wie man die Wärmedämm-Olympiade bis zum Exzess zu treiben kann.

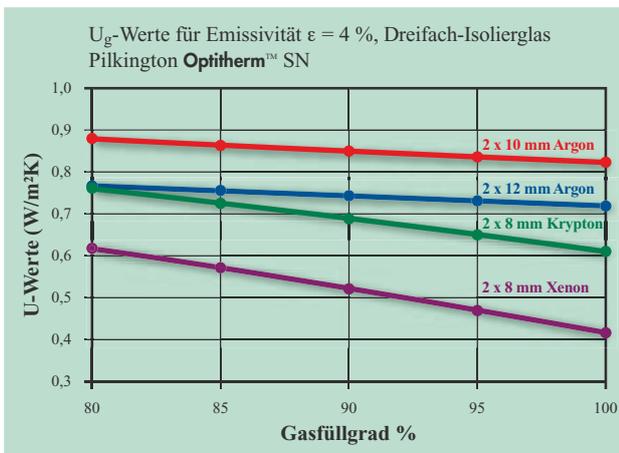


Abbildung 3 (nach EN 673)

Spätestens jetzt ergibt sich ein Dilemma für dieses Glaskompensium, denn je genauer darin beschrieben wird, was man denn alles tun könnte und wo genau der jeweilige Grenzwert für den einzuhaltenden Mindest-Gasfüllgrad beim gewählten Beschichtungstyp und dem jeweiligen SZR liegt, desto eher könnte man dies als Aufforderung zur Nachahmung auffassen. Genau das aber wäre der falsche Weg, indem mancherlei Unsinnigkeit Vorschub geleistet würde. Daher sollen im Folgenden nur wenige ausgewählte Beispiele gezeigt werden. Wenn man die mathematische Rundung ganz ausreizt, dann ist – im Extremfall – sogar ein rechnerischer Wert von 1,049 noch „1,0“. Diese Vorgehensweise voraussetzend (haarscharf an der

Grenze des Zulässigen, aber andererseits in der schon mehrfach zitierten EN 673 ausdrücklich so erwähnt), ergeben sich die nachstehenden zwei- und dreischiebigen Modell-Aufbauten mit ihren Gasarten und Mindest-Füllgraden.

Angestrebter U <sub>g</sub> -Wert (W/m²K)	Emissivität ε <sub>n</sub> der Low-E-Beschichtung	Isolierglas-Aufbau	Edelgas (Rest Luft)	Mindest-Füllgrad (%)
1,0	4 %	–	Argon	–
1,0	4 %	4-10-4	Krypton	94
(1,0)	(2 %)	(4-16-4)	(Argon)	(100)
<b>1,0</b>	<b>2 %</b>	<b>4-10-4</b>	<b>Krypton</b>	<b>86</b>
<b>0,9</b>	<b>4 %</b>	<b>4-8-4</b>	<b>Xenon</b>	<b>90</b>
<b>0,9</b>	<b>2 %</b>	<b>4-8-4</b>	<b>Xenon</b>	<b>86</b>
0,8	4 %	4-8-4	Xenon	94
0,8	4 %	4-10-4-10-4	Argon	91
0,8	2 %	4-8-4	Xenon	91
<b>0,8</b>	<b>2 %</b>	<b>4-10-4-10-4</b>	<b>Argon</b>	<b>80</b>
<b>0,7</b>	<b>4 %</b>	<b>4-12-4-12-4</b>	<b>Argon</b>	<b>88</b>
0,7	2 %	4-8-4	Xenon	95
<b>0,7</b>	<b>2 %</b>	<b>4-12-4-12-4</b>	<b>Argon</b>	<b>80</b>
0,6	4 %	4-8-4-8-4	Krypton	95
<b>0,6</b>	<b>2 %</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>Krypton</b>	<b>90</b>
<b>0,5</b>	<b>4 %</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>Xenon</b>	<b>88</b>
<b>0,5</b>	<b>2 %</b>	<b>4-8-4-8-4</b>	<b>Xenon</b>	<b>83</b>
0,4	2 %	4-8-4-8-4	Xenon	93

Abbildung 4 (Alle Werte berechnet nach DIN EN 673)

Diejenigen Aufbauten, die den angestrebten U<sub>g</sub>-Wert mit praxistauglichen max. 90 % Gasfüllgrad erreichen, wurden farblich hinterlegt und **fett** gedruckt.

Bei Füllgraden von mehr als 90 % ist die Herstellbarkeit im normalen Produktionsalltag zunehmend fraglich. Dies gilt erst recht für solche Aufbauten, für die Gasfüllgrade von mehr als 95 % erforderlich wären; sie wurden daher wegen mangelnder Praxisrelevanz erst gar nicht mehr aufgeführt.

Eine (in Klammern gesetzte) Ausnahme in der Abbildung 4 bildet lediglich die früher so genannte „1,0er“-Beschichtung mit ihrer physikalisch nicht mehr zu unterschreitenden Emissivität von 2 % und einer üblichen Argonfüllung. Rein rechnerisch gelingt es mit ihr, den U<sub>g</sub>-Wert von 1,0 W/m²K zu erreichen, wenn man ihren 16 mm SZR zu genau 100 % mit Argon füllt, aber mit nicht einem einzigen Prozent weniger! Damit soll, nur zu Vergleichszwecken, gezeigt werden, dass es die „1,0er“ Gläser mit Argon bei *zwei*-scheibigen Gläsern unter realistischen Voraussetzungen nach heute gültigen Normen nicht mehr geben kann!

## Fazit:

- Jeder  $U_g$ -Wert ist punktgenau einstellbar, rechnerisch sogar auf mehrere Nachkommastellen genau, bis hinunter zu  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  (wenn man sich bis zu *vierscheibigen* Isolierglasaufbauten versteigt).

Das zu erreichen hat mit dem Können des Beschichters allerdings relativ wenig zu tun. Dessen Kunst besteht eher im Einhalten des überaus anspruchsvollen Balanceakts von niedriger Emissivität + hoher Farbneutralität + besonderer Gleichmäßigkeit der Beschichtung + guter Transport-/Lager-/Verarbeitungsfähigkeit + kostengünstiger Produktion + kundengenaue Lieferung.

- Es gibt (als Beispiel) nicht die 1,1er- oder 1,0er-Beschichtung! Statt dessen gibt es ein paar verschiedene Beschichtungen mit charakteristischen Emissivitäten, die im Zusammenspiel mit anderen Zutaten die  $U_g$ -Werte in einem weiten Spektrum erlauben.
- Die „guten alten Zeiten“ mit ihren zeitraubenden und kostenintensiven Prüfberichten haben sich überlebt, weil  $U_g$ -Werte heutzutage berechnet werden können.  
Es bedarf für den Weiterverarbeiter und den Endkunden lediglich der Sicherheit, vom Beschichtungshersteller ein gutes Wärmedämm-Basisglas mit „Zertifikat“ zu beziehen, um sich sodann den gewünschten  $U_g$ -Wert zusammenzustellen über den richtigen Isolierglasaufbau.

Aus unserem Haus sind das die Produkte

mit 4 % Emissivität: Pilkington **Optitherm**™ SN und SN ProT

mit 3 % Emissivität: Pilkington **Suncool**™ HP Titan 65/39

mit 2 % Emissivität: Pilkington **Suncool**™ Brilliant 66/33,

Brilliant 50/25 und Silver 50/30,

Pilkington **Optitherm**™ S2

Realistisch für den Markt, also unter Abwägung von

- Edelgas-Verfügbarkeit in einer Menge, die für mehr als ein paar Demo-Bauvorhaben ausreicht,
  - Kosten für teure Gase und für besondere Beschichtungen,
  - Isolierglas-Elementdicke und -gewicht, sowie Folgekosten für aufwändige Rahmenkonstruktionen,
  - möglicher Einbuße an Licht- und Energiedurchlässigkeit,
  - im normalen Produktionsalltag einhaltbaren Gasfüllgraden,
- sind nur wenige, in Abbildung 4 gelistete Aufbauten.

Es sei denn, man begänne auch verschiedenste theoretisch mögliche Gas-Mischungen in die Überlegungen einzubeziehen und bei den Dreifach-Isolierglasaufbauten mit unterschiedlichen SZRs herumzuspielen. Dann aber wüchse die Zahl der zu untersuchenden Fälle gleichsam ins Unendliche, und man entfernte sich immer weiter von der Realität.

## Impressum

**Herausgeber:** Pilkington Deutschland AG

Alfredstraße 236 45133 Essen

**Verantwortlich:** Daniela Lemanczyk, Horst Harzheim

Telefon +49 (0) 201 1 25 53 15 Telefax +49 (0) 201 1 25 50 99

**Gestaltung:** Identity Development GmbH, Essen

Pilkington Glaskompodium

Ausgabe 7, Juli 2003 – ISSN 1611-0951



PILKINGTON

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