

Einfluß der Verglasungsqualität auf den Heizenergiebedarf

Dr. Klaus Holtmann

Anläßlich der 1. Passivhaustagung hielt Dr. Klaus Holtmann von der Vegla GmbH einen Vortrag über die Zusammenhänge von Isolierverglasung und Wärmebedarf.

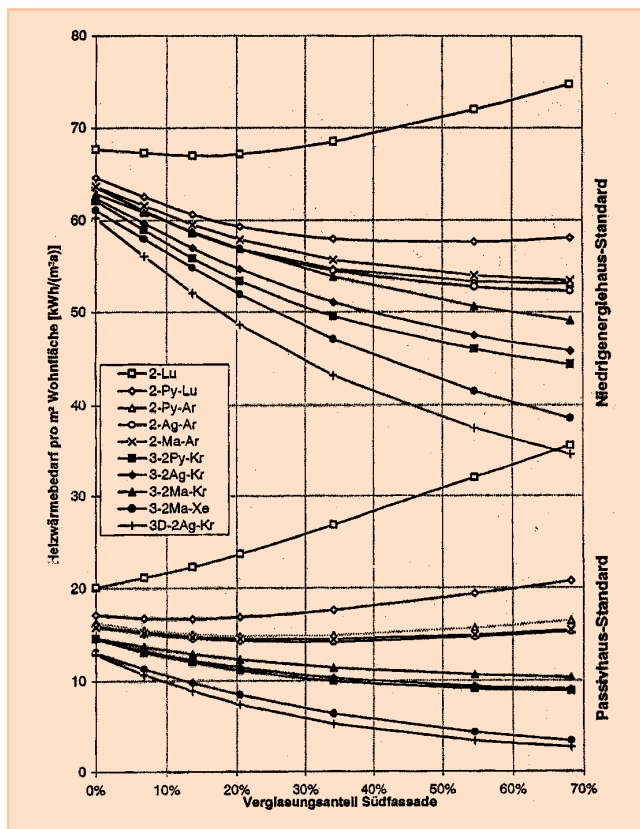
Der heutige hohe Stand der Isolierverglasungen ist auf die konsequente Ausnutzung aller physikalischen Prinzipien zur Reduzierung des Wärmeübertrags zurückzuführen.

Bei einer Isolierglasscheibe sind dabei drei Arten der Wärmeübertragung zu beachten:

1. Wärmeübertragung durch Strahlung.
2. Wärmeübertragung durch Wärmeleitung des Füllgases.
3. Wärmeübertragung durch Konvektion.

Letztere ist bei modernen Isolierverglasungen sehr gering. Dies kann damit erklärt werden, daß ein gewisser Abstand zwischen den Scheiben erforderlich ist, damit das Gas bei Erwärmung aufsteigen und bei Abkühlung sinken kann (nichts anderes bedeutet Konvektion).

Der Beginn dieser Konvektionswalze liegt, abhängig von der Temperatur, für das Edelgas Argon bei 15 mm, für Krypton bei 10 mm und für Xenon bei 8 mm und somit im Bereich der normalen Maße des Scheibenzwischenraums.

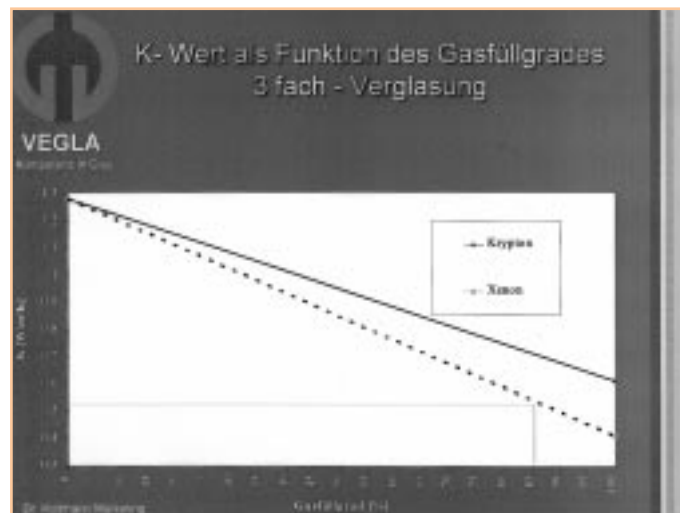
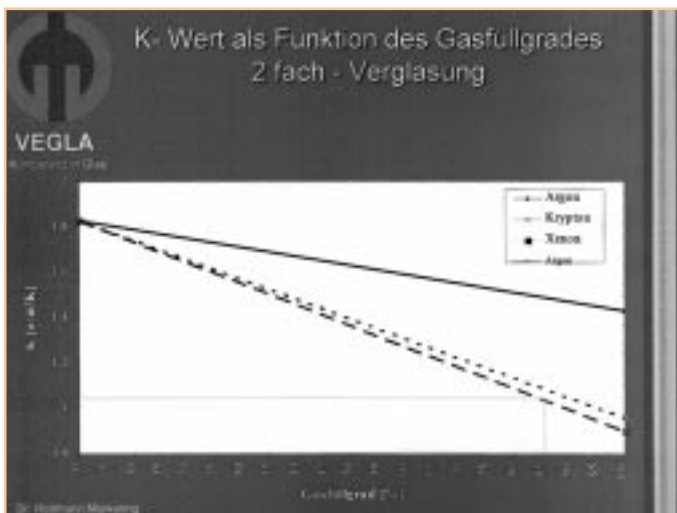


Übersicht Fenster

Strahlung und Wärmeleitung

Weitaus wichtiger für den k-Wert der Verglasung sind die beiden ersten Arten der Wärmeübertragung. Vor allem die Wärmeübertragung durch Strahlung. Diese wird durch die Emissivität der Oberfläche des Glases bestimmt. Unbeschichtetes Glas hat eine Emissivität von $\epsilon = 0,837$, moderne Softcoa-

ting-Schichten erreichen demgegenüber Emissivitäten von 0,1 bis 0,04. Besser als in diesen Zahlen erkennt man den Einfluß der Emissivität auf den k-Wert der Verglasung, wenn man den k-Wert einer luftgefüllten Isolierglasscheibe aus unbeschichtetem Glas mit einem k-Wert von $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit den k-Werten von luftgefüllten Isolierglaseinheiten mit beschichtetem Glas vergleicht. Bei einem $\epsilon = 0,1$ kommt man zu $k = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei $\epsilon = 0,04$ zu $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das heißt, die Beschichtung allein kann für eine Halbierung der Wärmeverluste verantwortlich sein.



k-Wert als Funktion des Gasfüllgrads (Zweifach-Verglasung)

k-Wert als Funktion des Gasfüllgrads (Dreifach-Verglasung)

Eine weitere Verringerung der Wärmeverluste ist nur durch den Einsatz von Edelgasen mit geringer Wärmeleitfähigkeit erreichbar, wie Argon, Krypton, Xenon. Die Füllung mit Argongas bei Zwei-Scheiben-Systemen ist heute Stand der Technik. Erreichbar sind damit k-Werte von 1,3 W/m²K bei $\epsilon = 0,1$ bzw. 1,1 W/m²K bei $\epsilon = 0,04$.

Eine weitere Reduzierung des k-Wertes bei Zweifach-Verglasungen durch den Einsatz schwerer Edelgase, wie z. B. Krypton oder Xenon, ist zwar theoretisch möglich, praktisch aber nicht sinnvoll. Zumindest nicht bei den derzeit erreichbaren Emissivitäten der Schichten.

Die Begründung hierfür ist eigentlich einfach. Wie bereits erwähnt, trägt die Beschichtung zum Löwenanteil der verminderten Wärmeverluste bei. Gleichzeitig kann man aber den Scheibenzwischenraum nicht ohne weiteres erhöhen, da sonst die Konvektion einsetzt und die möglichen Gewinne eines größeren Scheibenzwischenraums kompensiert bzw. sogar

die Dämmung verhindert. Gleichzeitig wird bei dem Einsatz schwerer Füllgase (Krypton, Xenon) der Füllgrad zunehmend entscheidend.

So ist zum Beispiel beim Einsatz von beschichtetem Glas mit einer Emissivität von $\epsilon = 0,04$ beim Einsatz von Xenon ein k-Wert von 0,90 W/m²K möglich. Allerdings nur bei Füllgraden von mehr als 98 %. Diese sehr hohen Füllgrade sind produktionstechnisch nur schwer einhaltbar und erfordern ein Füllen des Scheibenzwischenraums weit über das eigentliche Volumen der Isolierglaseinheit hinaus, um die restliche Luft zu verdrängen. Bei den relativ hohen Kosten für die sehr seltenen, schweren Edelgase ist dies eine teure Lösung. Selbst wenn man die Probleme der Füllung löst und technisch einen Füllgrad von 98 % erreicht, so existiert immer noch das Problem des Gasverlustes über den Einsatzzeitraum des Isolierglases.

Dieser Verlust wird bei den Rechenwerten nach Bundesanzeiger in Betracht gezogen. Für mit Edelgas gefüllte Isoliergläser beträgt die zulässige Gasverlustrate 1 % pro Jahr (prEN 1279 Teil 3). Bei einer vom Gesetzgeber angenommenen Lebensdauer von mindestens 15 Jahren resultiert dies in einer Füllrate von 85 %. Dies bedeutet aber, daß der k-Wert einer derartigen Isolierglaseinheit auf etwa 1,0 W/m²K steigt, da der Einfluß des Füllgases sehr stark ist. Mit den Zuschlägen für die Streuung der Emissivität der Beschichtung, die ebenfalls

vom Gesetzgeber vorgesehen sind, kann es somit zu einem Rechenwert nach Bundesanzeiger von 1,1 W/m²K für eine Doppelverglasung mit einem Prüfzeugnis von 0,9 W/m²K kommen.

Mittelfristig werden sich allerdings die extrem guten Prüfzeugnisse bei Füllgraden von 98 % nicht mehr halten lassen. Grund hierfür ist die Einführung des Ü-Zeichens, das für die Eintragung von Isolierglas in die Bauregeliste A erforderlich ist.

Das Ü-Zeichen wird für mit Edelgas gefüllte Isolierglaseinheiten nur in Verbindung einer Fremdüberwachung erteilt. Teil dieser Fremdüberwachung ist auch der Gasfüllgrad. Daher ist es für die Hersteller sinnvoll, schon im voraus ihre k-Wert-Prüfzeugnisse für realistische Füllgrade um die 85 % ausstellen zu lassen.

Ende der Isolierglas-Entwicklung?

Ist also die Entwicklung des Isolierglases bei k-Wert um 1,1 W/m²K am Ende? Sicherlich nicht! Nur sind andere Wege einzuschlagen.

Da ist zum einen die weitere Senkung der Emissivität der Low-E-Beschichtung. Derzeitige Magnetronschichten erreichen eine Emissivität von 0,1 bis 0,04. Eine weitere Reduzierung auf 0,03 ist prinzipiell machbar, z. B. durch eine erhöhte Leitfähigkeit der Beschichtung durch eine dickere leitfähige Schicht. Dies würde aber auch bedeuten, daß die Lichttransmission und damit auch der g-Wert der Verglasung sinkt, wie dies schon beim Übergang von Isolierverglasungen mit einem k-Wert von 1,3 W/m²K, g = 62 % auf 1,1 W/m²K, g = 58 % der Fall war.

Ein bereits heute technisch gangbarer Weg ist die Vergrößerung des Scheibenzwischenraums durch die Einführung einer Dreifach-Scheibe. Dies ist nötig, um die Konvektionsverluste zu minimieren. Da bei einer Dreifach-Verglasung die Wärmeleitung schon sehr gering ist, lohnt es sich zudem eine zweite Low-E-Beschichtung in die Isolierglaseinheit zu integrieren, um somit auch die Strahlungsverluste zu reduzieren. Unter Verwendung existierender Beschichtungen und Kryptongas sind damit k-Werte von 0,7 W/m²K, g = 48 % oder 0,5 W/m²K, g = 42 % möglich. Beim Einsatz von Xenon kann man bei genügend hohen Füllgraden (≤ 98 %) auch einen k-Wert von 0,4 W/m²K erreichen. Dabei gilt aber wieder das bereits bei Zweifach-Verglasungen gesagte.

Um den k-Wert und g-Wert, den man bei Verglasungen nicht vergessen sollte, ins richtige Verhältnis zu setzen, sollte man sich jedoch Gedanken um die Bauphysik und den Einsatz solcher hochisolierenden Verglasungssysteme machen.

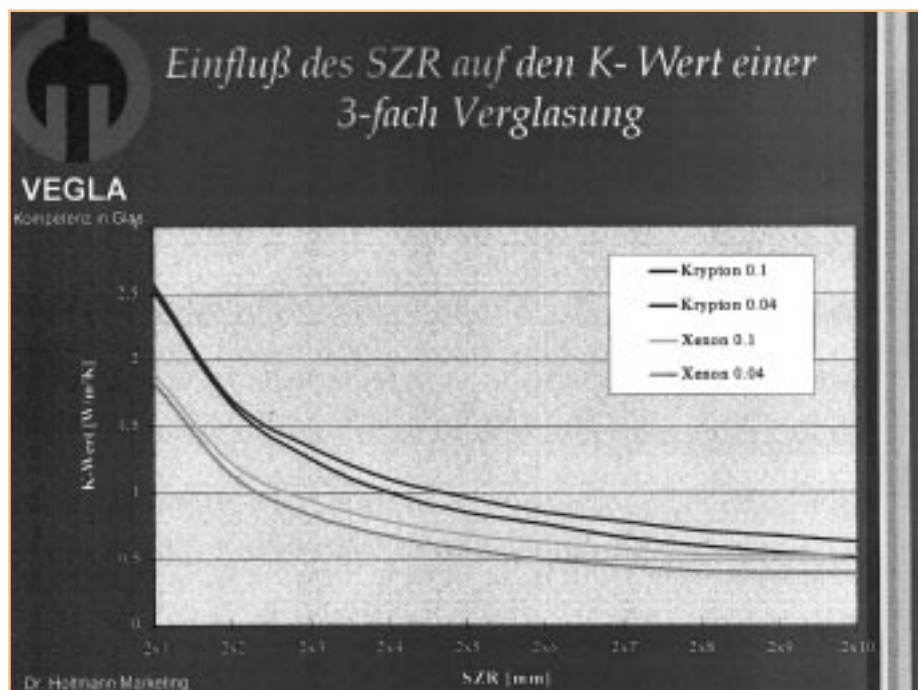
Vorrangiger Einsatzbereich von hochisolierenden Dreifach-Verglasungen sind großflächig verglaste Gebäude in der Niedrigenergiehausbauweise (Heizenergiebedarf 70 kWh/m²a) und

Passivhäuser (Heizenergiebedarf ≤ 15 kWh/m²a). Letztere sind ohne Dreifachverglasungen nicht realisierbar. Dafür gibt es folgende Gründe:

Zunächst, und vielleicht vorrangig, ist die hohe Scheibeninnentemperatur zu nennen. Diese liegt bei einer Verglasung mit einem k-Wert von 0,7 W/m²K nur 1 °C unter der Raumtemperatur. Damit entfällt die Notwendigkeit, Heizkörper vor die Scheibe zu setzen, um den Kaltluftschleier

Möglichkeiten der Optimierung

Grundsätzlich sind zwei Ansätze möglich, die Verglasung für ein Passivhaus zu optimieren: Senkung des k-Wertes bei gleichzeitiger Senkung des g-Wertes oder eine Optimierung des g-Wertes bei gleichem k-Wert. Wie bereits erwähnt, ist aus bauphysikalischen Gründen ein k-Wert von 0,7 W/m²K der Verglasung ausreichend, um die Konvektion der Luft im In-



Einfluß des SZR auf den k-Wert einer Dreifach-Verglasung

und das Beschlagen der Scheiben zu verhindern. Eine weitere Senkung des k-Wertes hat einen nicht mehr spürbaren Einfluß auf die Scheibeninnentemperatur, sondern senkt nur den g-Wert und damit den Anteil der nutzbaren solaren Energie.

Der nächste wichtige Grund ist die Wärmedämmung. Dabei ist zu bedenken, daß gerade das Passivhaus durch das Gleichgewicht zwischen solaren Gewinnen und Transmissionsverlusten realisierbar wird. Dies bedeutet, daß auch in der eigentlichen Heizperiode durch die Verglasung genügend solare Energie in das Innere des Hauses gelangt, um die Speichermassen zu erwärmen. Gleichzeitig müssen aber auch die Transmissionsverluste auf ein Minimum reduziert werden.

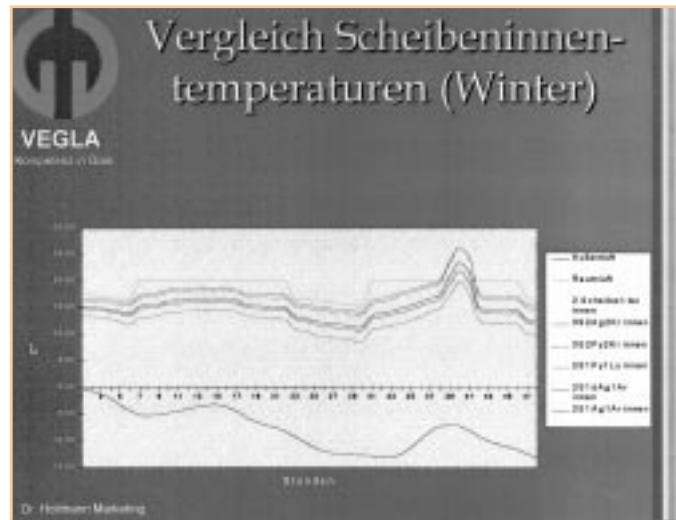
nenraum zu unterdrücken. Dies bedeutet, daß bei Dreifach-Verglasungen – im Gegensatz zu Zweifach-Verglasungen – der g-Wert über die Qualität entscheidet, solange der k-Wert von 0,7 W/m²K nicht überschritten wird. Die Vegla optimierte beispielsweise ihr bereits bekanntes Dreifach-Glas „Climatop“ (k = 0,7 W/m²K; g = 48 %) hinsichtlich des g-Wertes. Das Ergeb-

nis ist ein Spezialprodukt für das solare Bauen im allgemeinen und das Passivhaus im speziellen. „Climatop Solar“ weist neben einem k-Wert von $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ einen g-Wert von 60 % auf. Das heißt eine beinahe Halbierung des k-Wertes von konventionellen Isolierverglasungen bei Erreichen eines g-Wertes einer Zweifach-Ver- glasung.

Erreicht wurde dies durch den Ein- satz von eisenarmem Glas, eine Spezi- albeschichtung („Planitherm Solar“) und einen optimierten Scheibenauf- bau. Wichtiger als die reinen techni- schen Daten (k_{eq} gemittelt über alle Orientierungen: $= -2 \text{ W/m}^2\text{K}$) sind die bauphysikalischen Auswirkungen von „Climatop Solar“ im Passivhaus. Dazu wurde das Haus in Kranichstein als Referenzmodell benutzt.

Wie bereits bekannt, ist dieses erste Passivhaus mit „Climatop“ verglast. Erstaunlicherweise konnte beim Ersatz der derzeitigen Verglasung durch „Climatop Solar“ der Heizenergiever- brauch von $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf $5,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ gesenkt werden. Selbst bei einer Ost- oder Westorientierung der verglasten Fläche sind mit der neuen Solarverglasung Heizenergie- verbräuche von $8,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ mög- lich. Dies bedeutet, daß Passivhäuser unabhängig von der Orientierung rea- lisiert werden können, wobei der Ein- fluß der Verglasung auf das Raumkli- ma im Sommer noch zu klären ist. Es bedeutet aber auch, daß bei ungünsti- ger Lage des Gebäudes, d. h. baulicher Beschattung, im Winter immer noch ausreichend solare Energie ins Innere des Hauses gelangt, um die Transmis- sionsverluste der Nacht auszugleichen. Das Bauen wird einfacher.

Auch das Thema Fensterrahmen scheint in eine entscheidende Phase gekommen zu sein. Dies war auch notwendig, da die nach DIN 4108 Teil



Vergleich der Scheibeninnentemperaturen im Winter

Grafiken: Vegla

4 (Entwurf) Tabelle 3 vorgegebenen k-Werte der Fenster in Rahmengruppe 1 für einen k-Wert der Verglasung $0,5$ nach Bundesanzeiger ein k-Wert von $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgegeben und für einen k_v -Wert von $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ nach Bundesanzeiger ein k_F von $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Es beweist, wie kritisch die k-Werte der Verglasung zu betrachten sind. Nimmt man zum Beispiel den nach der Wärmeschutzverordnung vorgeschriebenen k_{eq} -Wert eines Fensters, so ergeben sich bei „Climatop Solar“ Werte von

	S	O/W	N
$k = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 60 \%$	$-0,24$	$0,210$	$0,63$
$k = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 42 \%$	$-0,08$	$0,307$	$0,56$

Dies zeigt auch, daß – wenn man mit konventionellen Rahmen arbeiten muß, was natürlich beim Passivhaus- bau zu vermeiden ist – ein extrem niedriger k-Wert aufgrund der Wär- mebrückeneffekte im Rahmen hin- sichtlich des k_F -Wertes nicht soviel ausmacht wie die Erhöhung des g-Wertes bei gleichem k-Wert. Das ist bei der Einhaltung der Vorschriften der Wärmeschutzverordnung zu berücksichtigen.

Überflüssige Diskussion

Die Diskussion um den k-Wert der Doppelverglasung ist eigentlich über- flüssig. Zwar besteht rechnerisch die Möglichkeit, bei einer Emissivität von $0,04$ und 98% Füllgrad durch den Einsatz von Xenon einen k-Wert von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen. Jedoch ist

damit immer noch nicht der für das Passivhaus nötige k_v von $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. Der Einsatz in normalen Niedrigenergiehäusern ist eine Frage der Kosten- und Nutzenanalyse. Prin- zipiell sind aber auch bei großen Ver- glasungsflächen k-Werte zwischen $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ aus- reichend.

Die Frage, ob extrem niedrige k-Werte bei Dreifach-Ver Glasungen eine Verbesserung hinsichtlich des Erreichens des Passivhausstandards bringen, kann nach den vorliegenden Simulationen am Passivhaus in Kran- nichstein verneint werden. Vielmehr ist es wichtig, den k-Wert des Fen- sters nicht ab $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ rutschen zu lassen, um somit Konvektionsproble- me auszuschließen. Das heißt, bei Dreifach-Ver Glasungen nimmt die Be- deutung des g-Wertes zu. Wie die Simulation zeigte, sind bedeutende Einsparungen durch den Einsatz von „Climatop Solar“ möglich, sogar eine Ost- oder Westverglasung kann damit zum Passivhaus führen. □