

*Transparenz und Wärmedämmung von Isolierglas*

# Brennpunkte einer langjährigen Entwicklung

Dr. Günter Ortmanns

*Der Autor nimmt im folgenden Beitrag eine Bewertung der aktuellen technischen Maßnahmen vor, erläutert den Stand der Technik und gibt einen Ausblick mit Rücksicht auf das produktionstechnisch und funktional Sinnvolle.*

Das Fenster als Bauteil, das Isolierglas als Baustoff und die verschiedenen physikalischen Einflußgrößen zur Erreichung einer Ausgewogenheit zwischen den wichtigsten Eigenschaften – einem möglichst niedrigen Wärmeverlust bei gleichzeitig hohem optischen Nutzen – haben dem Flachglaserzeuger, dem Veredler als Isolierglashersteller und der Produktentwicklung besonders auf der Glasseite ein wahrhaft heterogenes Arbeitsfeld beschert. Erschwerend kommt hinzu, daß in dieses glasbezogene Umfeld weitere selbständige Produkt- und Produktionsbereiche hineinreichen, wie eben der Fensterbau, der Hersteller von Beschichtungsanlagen oder der Erzeuger von Edelgasen. Vor diesem Hintergrund scheint es auf den ersten Blick nicht leicht zu sein, heute das richtige Gesamtglasprodukt für die Anwendung in den Gebäuden anzubieten. Trotz dieser vermeintlich schwierigen Situation lassen sich ganz wenige Produktaufbauten herauschälen, wenn man das funktional Sinnvolle und in der Produktion auch Umsetz-

bare in einen umweltbezogenen und wirtschaftlichen Rahmen stellt.

Das wesentliche Vorprodukt für ein Isolierglas steht als Floatglas weltweit in ausreichender Menge zur Verfügung. Während die optischen Eigenschaften von Floatglas bezüglich seiner Durchlässigkeit für das Sonnenspektrum durch Gemengezusätze (Einfärbungen) bzw. durch ausgewählte Rohstoffe (Entfärbung) veränderbar sind, müssen Einflußnahmen auf die Reflexion im Bereich des Sonnenspektrums und auf das Abstrahlvermögen (Emissivität) der Glasoberfläche für ihre Körperstrahlung durch Beschichtungen auf der Glasoberfläche bewerkstelligt werden. In letzterem Feld hat sich in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten ein Großteil der Flachglasentwicklung abgespielt.

Hierbei konzentriert sich alles auf zwei Prozeßformen: die Vakuumbeschichtung und das Pyrolyseverfahren. Während mittels des Pyrolyseverfahrens Veränderungen des optischen Brechungsindex zur Erhöhung der Reflexion des Sonnenlichts großtechnisch seit langem beherrscht werden, ist eine Veränderung des Abstrahlvermögens, also die Emissivität der Glasoberfläche als beherrschende Einflußgröße auf den k-Wert eines Isolierglases, mit technischen Erschwernissen und funktionalen Beschränkungen verbunden. Im Gegensatz dazu stellt das Vakuumbeschichtungsverfahren hinsichtlich seiner funktionalen und produktionstechnischen Vielfalt und Veränderbarkeit nahezu unbegrenzte Möglichkeiten zur Verfügung.

Bewertet man vor diesem Hintergrund die gegenwärtigen technischen Maßnahmen zur Erzeugung eines Funktionsisolierglases mit dem Schwerpunkt einer Ausgewogenheit zwischen Transparenz, Wärmedämmung und Schalldämmung unter Würdigung des Produktionsstandards beim Isolierglashersteller, dann kri-

stallisiert sich der in Bild 1 dargestellte Pfad heraus. Der mehrfach dargestellte Stand der Technik, z. B. [1], [2], [3], bietet eine Matrix von drei Größen, mit denen eine Beeinflussung der optischen und kalorischen Eigenschaften eines Isolierglases vorgenommen werden kann. Die drei Richtungen mit ihren ganz eigenen Werten zur Festlegung einer fast beliebigen Vielzahl von Punkten im Eigenschaftsraum, quasi der Welt des Isolierglases sind:

- das Abstrahlvermögen oder die Emissivität einer beschichteten Glasoberfläche
- die Art des Gases als Füllung des Scheibenzwischenraums und
- der Abstand der Einzelscheiben.

## *Hinterleuchtung des Erreichten*

Die abhängig von den drei Größen, dem Abstrahlvermögen, der Art des Gases und dem Abstand der Scheiben, festzulegenden optischen und kalorischen Eigenschaften eines Isolierglases bedürfen einer etwas genaueren Beschreibung. Das Abstrahlvermögen (Emissivität) einer beschichteten Scheibe legt je nach der Art der Beschichtungstypus gleichzeitig dessen Transmission und Reflexion im Bereich des Sonnenspektrums fest. Eine Gasfüllung hat keinerlei Einfluß auf die meßbaren optischen Eigenschaften, dafür aber auf den k-Wert, die

Schalldämmung und die sogenannte sekundäre Wärmeabgabe, die in geringem Maße den g-Wert beeinflusst. Letztlich geht der Abstand der Scheiben in die Bewertung für den k-Wert und die Schalldämmung ein.

Dies vorausgeschickt lassen sich die drei zu bewertenden Größen vor dem Hintergrund des technisch Machbaren nunmehr wie folgt eingrenzen. Die aktuellen Werte für die Emissivität bewegen sich von  $E = 0,04$  für eine Vakuumschicht auf der Basis von Silber mit der besten elektrischen Leitfähigkeit über  $E = 0,10$  für die derzeitige Standard-Silberschicht bis hin zu  $E = 0,17$  für eine halbleitende Pyrolyseschicht auf der Basis von fluordotiertem Zinnoxid. Dabei entspricht  $E = 0,04$  nahezu der theoretischen Emissivität von massivem Silber mit  $E = 0,02$ . Somit ist hier die physikalische Grenze erreicht. Der hohe obere Eckwert von  $E = 0,17$  für die Pyrolyseschicht ist die Folge der Halbleitereigenschaft von Zinnoxid und ist spezifisch nicht mehr verbesserbar, außer über eine weitere Erhöhung der Schichtdicke, was Transmissionsverluste insbesondere durch Absorptionserhöhung zur Folge hat.

Die zur Auswahl stehenden Gase als Ersatz für die trockene Luft im Scheibenzwischenraum beschränken sich auf die Edelgase mit den niedrigsten Werten für ihre Wärmeleitfähigkeit. Das bisher noch mit Rücksicht auf die Schalldämmung verwendete edelgasähnliche Schwefelhexafluorid scheidet endgültig aus der Diskussion aus, obschon es auf die Schalldämmung im mittleren Frequenzbereich teilweise verbessernd einwirkt, was aber durch das äußerst nachteilige Verhalten bei niedrigen Frequenzen und mehr noch durch den schon katastrophal schlechten Einfluß auf den k-Wert absolut in Frage gestellt ist, ganz zu schweigen von der umweltbeeinflussenden Brisanz. Aus diesen Gründen sind auch Mischungen aus Argon und Schwefelhexafluorid nicht mehr zu vertreten. Bleibt als dritte Größe der Scheibenzwischenraum. Aber auch hierfür führt der für jedes Edelgas günstigste Scheibenzwischenraum zu einer sinnvollen Beschränkung auf drei Werte. Für Argon gilt 16 mm, für Krypton 12 mm (mit

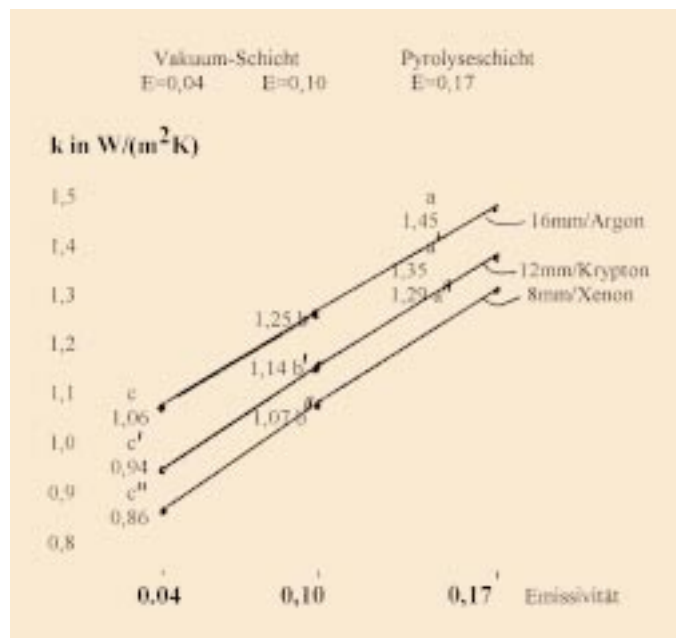


Bild 1: k-Wert in Abhängigkeit von der Emissivität, für die Gasfüllungen mit Argon, Krypton, Xenon bei gegebenem günstigsten Scheibenabstand

Rücksicht auf die Schalldämmung, sonst 10 mm) und für das Edelgas Xenon mit der niedrigsten Wärmeleitfähigkeit 8 mm.

Mit dieser Eingrenzung für die Emissivität, die Gasarten und den Abstand der Scheiben läßt sich der k-Wert als die wichtigste und für die Bauanwendung dominante Kenngröße eines Isolierglases auf die drei Kurven gemäß Bild 1 beschränken. Wegen der jeweils drei Werte für die Emissivität, den SZR und die Edelgase lassen sich neun Werte errechnen. Aus diesen neun Werten bleiben bei einer strengen Bewertung vor dem Hintergrund des physikalisch und wirtschaftlich Sinnvollen, des beim Isolierglashersteller Umsetzbaren und der Berücksichtigung von Umweltkriterien praktisch nur noch wenige k-Werte übrig (s. Bild 1):

1. Pyrolyseschicht ( $E = 0,17$ ), Argonfüllung, SZR = 16 mm,  $k = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Punkt a)

- Standard-Vakuumsilberschicht ( $E = 0,10$ ), Argonfüllung, SZR = 16 mm,  $k = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Punkt b)
- Vakuumsilberschicht ( $E = 0,04$ ), Argonfüllung, SZR = 16 mm,  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Punkt c)
- Standard-Vakuumsilberschicht ( $E = 0,10$ ), Doppel-Silberschicht ( $E = 0,04$ ), Kryptonfüllung, SZR = 12 mm,  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Punkt b), bzw.  $k = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Punkt c')

Wodurch läßt sich diese Auswahl von nur noch wenigen Varianten aus einer Menge von neun rechtfertigen? Die Antwort ist folgende:

- Der Einfluß der Emissivität in den heutigen produktbezogenen Abstufungen von 17 % über 10 % auf 4 % wirkt sich mit jeweils einer Absenkung um zwei Zehntel im k-Wert am stärksten aus.
- Bei Verwendung einer der drei dem Isolierglashersteller zur Verfügung stehenden Schichtarten (d. h. bei konstanter Emissivität) sinkt der k-Wert demgegenüber höchstens um ein Zehntel, wenn man das preiswerte Argon durch Krypton oder Xenon ersetzt; der Einsatz von Krypton ist deshalb primär aus Schalldämmgründen zu empfehlen.
- Solange die Standard-Silberschicht ( $E = 0,10$ ) nicht durch die abstrahlungsschwächere mit  $E = 0,04$  ersetzt

wird, ist eine 12 mm dicke Kryptonfüllung wegen der verbessernden Schalldämmwirkung sinnvoll, zumal gleichzeitig  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  resultiert.

● Ein vierter Produktaufbau (Punkt c'') mit der besten Vakuum-Silberschicht bei  $E = 0,04$  führt mit dem sehr engen Abstand von nur 8 mm mit einer Xenon-Füllung nochmals zu zwei Zehntel k-Wert-Erniedrigung auf  $k = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

## Ausblicke und Vorgaben

Zwei Neuerungen sind in Ansätzen in jüngster Zeit zum Bestand der besten Isoliergläser geworden. Das gilt zumindest schon mit einer weiten Marktdurchdringung für die Vakuum-Silberschicht (sogenannte Doppel-Silberschicht) mit  $E = 0,04$ . Der Einsatz der Edelgase Krypton oder Xenon hat ebenfalls bisher in den sogenannten Superglazings (Dreifach-Scheiben mit zwei Low-E-Beschichtungen) zur Erzielung von niedrigsten k-Werten zwischen  $0,4$  und  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  seine längst anerkannte Berechtigung gefunden [1]. Für die Verwendbarkeit von Krypton im Normalisiererglas kommt aber aus den oben beschriebenen Gründen bezüglich der Problematik von Schwefelhexafluorid auch das Argument der Schalldämmung [4] hinzu.

Dies mögen die Bilder 2 und 3 dokumentieren. Bild 2 zeigt die Verbesserung mittels Krypton gegenüber Luft auf. Bild 3 zeigt, daß ein Argon/Schwefelhexafluorid-Gemisch mit seinem der Luftfüllung entsprechenden k-Wert bezüglich des bewerteten Schalldämmmaßes nicht besser ist als eine Krypton-Füllung. Insofern ist wegen des positiven Einflusses von Krypton auf den k-Wert (Bild 1, Punkt a', b', c') der vollständige Ersatz von Gasfüllungen auf der Basis von Schwefelhexafluorid durch das Edelgas Krypton dem Isolierglashersteller zwingend zu empfehlen.

Im Rahmen der oben beschriebenen Einflußgrößen zur Einstellung von niedrigsten k-Werten sind die technischen Grenzen insbesondere bezüglich der extrem niedrigen Emissivität der

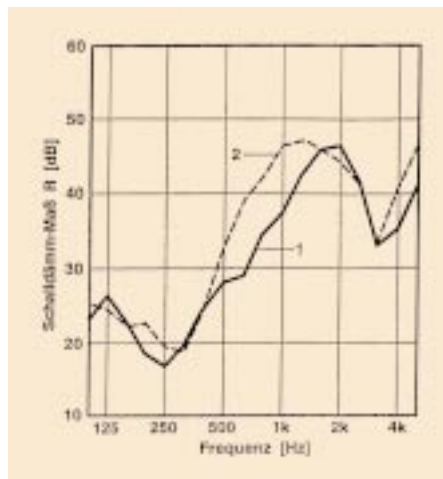


Bild 2: Schalldämm-Maß einer Doppelscheibe 4 – 12 – 4 mm mit verschiedenen Füllungen

- |            |                       |                          |
|------------|-----------------------|--------------------------|
| 1. Luft    | $R_w = 31 \text{ dB}$ | $C_{tr} = -4 \text{ dB}$ |
| 2. Krypton | $R_w = 33 \text{ dB}$ | $C_{tr} = -5 \text{ dB}$ |

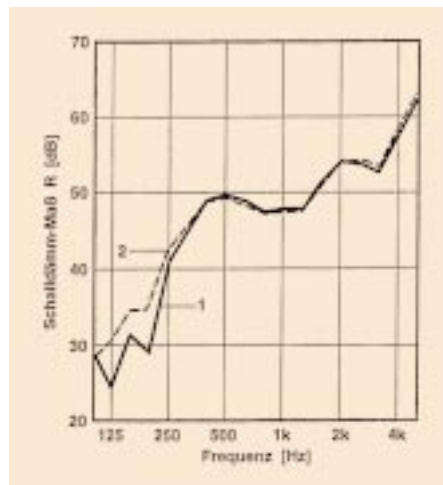


Bild 3: Schalldämm-Maß einer Doppelscheibe 9GH – 16 – 12 mm mit verschiedenen Gasfüllungen

- |                                     |                       |                          |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1. Krypton                          | $R_w = 48 \text{ dB}$ | $C_{tr} = -7 \text{ dB}$ |
| 2. 65 % Ar/<br>35 % SF <sub>6</sub> | $R_w = 48 \text{ dB}$ | $C_{tr} = -7 \text{ dB}$ |

Vakuum-Silberschichten sowie der Einfluß der Edelgase aufgezeigt worden. Obschon bei der Emissivität mit  $E = 0,04$ , der Verwendung von Krypton oder Xenon und durch den günstigsten Abstand der Scheiben im Isolierglasaufbau somit die physikalischen Möglichkeiten quasi ausgereizt sind, muß dies auf keinen Fall weitere Verbesserungen dieses so einflußreichen Bauproduktes ausschließen. Weitere Verbesserungen können folgerichtig aber nur auf technologischen

Möglichkeiten beruhen. Auch hier liefert das Vakuum-Beschichtungsverfahren mit einer neuen Kathodentechnik einen verheißungsvollen Ansatz, der völlig neue Dimensionen der Qualität der Schichtsysteme eröffnet. Bisher schwer abzuscheidende Materialien wie Titan und Silizium, höhere Sputterraten für die bisherigen Schichtsysteme wie Zink oder Zinn und Silber, wesentlich glattere Schichten und damit besonders für Silber eine erheblich verbesserte „Grundlage“ mit der Folge einer Steigerung der Schichtleitfähigkeit ohne Materialmehrauftrag sind die brillanten Ergebnisse einer neuen Kathodenform – der Zwillingmagnetron-Kathode. Diese Zwillingmagnetron-Kathode ist in die bestehenden Anlagen integrierbar, so daß man davon ausgehen kann, daß in Zukunft mehr und mehr hiermit erzeugte Schichten in die Anwendung kommen werden. Das Ergebnis wird zwar am k-Wert nichts mehr ändern, da dieser wie oben beschrieben die physikalischen Grenzen erreicht hat; es wird aber zu einer deutlich höheren Transmission im Sonnenspektrum bei der niedrigsten Emissivität von  $E = 0,04$  führen. Das zukünftige Standard-Isolierglas in der zweischiebigen Form mit k-Werten um  $k = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  und in der dreischiebigen Form im Bereich von  $k = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  wird mit optischen Werten bezüglich der Lichttransmission und dem g-Wert aufwarten, die die Leistungsfähigkeit hinsichtlich Transparenz und Wärmedämmung von Isolierglas in vorzüglichster Art und Weise unterstreichen. □

## Literatur

- [1] Ortmanns, G.: Non-Plus-Ultra-Produkt, GLASWELT, Heft 8, 1994, (8)
- [2] Ortmanns, G.: Beschichtungen auf Flachglas, GLASWELT, Heft 11, 1994, (68–76)
- [3] Ortmanns, G.: Vakuum-beschichtetes Low-Emissive-Glass, Glas + Rahmen, Heft 6, 1996, (276–284)
- [4] Koch, S., Scholl, W.: Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Bericht B-BA 2/1996