

Sonnenschutzschichten bei Isolierverglasungen (I):

# Ein richtiger Drahtseilakt

In der zeitgenössischen Architektur wird Glas verstärkt zur Gestaltung repräsentativer Gebäude eingesetzt. Großzügige Glasfassaden vermitteln dem Betrachter positive Attribute wie, Offenheit, Transparenz und Helligkeit. Um die Klimatisierungskosten gering zu halten, spielt bei großflächigen Glasfassaden der sommerliche Wärmeschutz eine wichtige Rolle. Eine mehrteilige **glaswelt**-Serie soll dies näher beleuchten.

**E**in effektiver Sonnenschutz wird durch eine geeignete Kombination von Sonnenschutzschichten mit außen- oder innen liegenden Verschattungselementen erreicht. Verschattungselemente nehmen dem Gebäude meist jedoch wieder die ursprünglich gewünschte Transparenz. Alternativ dazu gibt es aber hochselektive Sonnenschutzverglasungen. Damit kann eine gute Transparenz bei stark verminderter Energietransmission ins Gebäude erreicht werden. Eine effektive Sonnenschutzbeschichtung führt jedoch zu einer Verminderung der Transparenz, von den Architekten häufig als „Novemberblick“ kritisiert, wohingegen die Farbe des in der Fassade reflektierten Lichtes oft als gestalterisches Element gewünscht wird.

In diesem Beitrag werden die grundlegenden Prozesse diskutiert, welche durch eine Sonnenschutzbeschichtung in einer Isolierverglasung gesteuert werden können. Es wird der Drahtseilakt beschrieben, der vollzogen werden muß, sobald eine maximale Lichttransmission, minimale Energietransmission sowie eine ansprechende Reflexions- und Transmissionsfarbe mit ein und derselben Sonnenschutzschicht realisiert werden sollen.

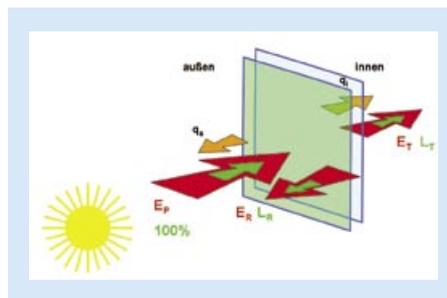
## Allgemeine Anforderungen an Sonnenschutzschichten

Die Anforderungen an Sonnenschutzschichten sind vielfältig. Eine gute farbneutrale Durchsicht und ansprechende Reflexionsfarben sind die sichtbaren positiven Attribute einer modernen Glasfassade. Diese Farben sollten bei spitzen Betrachtungswinkeln, wie sie beim seitlichen Betrachten einer Fassade auftreten, möglichst konstant bleiben. Die

zentrale Anforderung jedoch ist, die Energietransmission in das Gebäudeinnere, d. h. den Gesamtenergiedurchlaßgrad  $g$ , zu minimieren. In den mittel- und nordeuropäischen Märkten wird zusätzlich eine möglichst hohe Lichttransmission gefordert.

## Energetische und lichttechnische Prozesse im Isolierglas

Die energetischen und lichttechnischen Prozesse in einer Isolierverglasungseinheit sind in Bild 1 jeweils mit roten und grünen Pfeilen veranschaulicht.



Die auf die Verglasungseinheit einfallende primäre Sonnenenergie  $E_p$  teilt sich in drei verschiedene Anteile:

- Die direkt transmittierte Sonnenenergie  $E_t$
- Die reflektierte Sonnenenergie  $E_r$
- Die absorbierte Sonnenenergie  $E_a$  (in Bild 1 nicht dargestellt), die in Form der sogenannten sekundären Wärmestrahlung  $q$  in das Gebäude ( $q_i$ ) oder wieder nach außen ( $q_a$ ) abgegeben wird.

Das sichtbare Licht (grün dargestellt) ist als spezifischer spektraler Anteil in der Sonnenenergie enthalten und verhält sich prinzipiell identisch. Ein Anteil des sichtbaren Lichtes wird transmittiert ( $L_t$ ), ein Anteil wird reflektiert ( $L_r$ ) und ein in Bild 1 ebenfalls nicht dargestellter Anteil wird absorbiert, in Wärme umgewandelt und trägt wieder zur sekundären Wärmestrahlung  $q$  bei.

Betrachtet man die verschiedenen Anteile der Sonnenenergie gilt die einfache Beziehung:

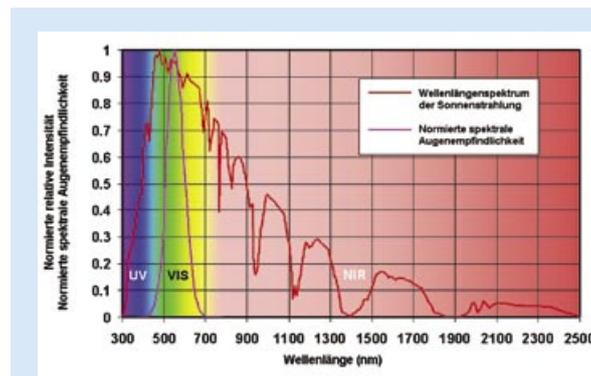
$$E_p = E_t + E_r + E_a \quad (1)$$

Der Gesamtenergiedurchlaßgrad  $g$  (g-Wert) ist definiert als die gesamte durch die Verglasung ins Gebäude gelangte Energie, also die Summe aus der direkt transmittierten Energie  $E_t$  und der sekundären Wärmestrahlung  $q_i$ , die ins Gebäude abgegeben wird, bezogen auf die primäre Sonnenenergie  $E_p$ . Es gilt:

$$g = \frac{E_t + q_i}{E_p} \quad (2)$$

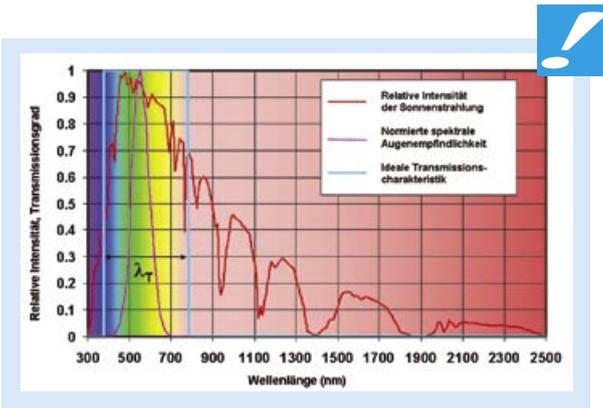
Der Gesamtenergiedurchlaßgrad wird minimiert durch eine möglichst geringe direkt transmittierte Energie  $E_t$ . Eine geringe sekundäre Wärmeabstrahlung  $q_i$  in das Gebäude wird erreicht durch eine minimale absorbierte Sonnenenergie  $E_a$ . Wird  $E_t$  und  $E_a$  minimiert, so erkennt man aus (1), daß die einfallende primäre Sonnenenergie  $E_p$  durch

**Bild 1: Energiefluß (rot) und Lichtfluß (grün) in einer Isolierverglasungseinheit**



**Bild 2: Das Sonnenspektrum, UV-VIS-NIR**

Bilder: Arcon



**Bild 3: Ideales Transmissionsband einer Sonnenschutzbeschichtung**

die Sonnenschutzschicht reflektiert werden muß, um den Gesamtenergiedurchlaßgrad zu minimieren, im Idealfall zu 100 %.

### 100%iger Sonnenschutz ( $g = 0 \%$ )

Was geschieht im Fall  $E_T = 100 \%$  mit dem sichtbaren Teil des Sonnenspektrums? Welcher Anteil gelangt ins Gebäude? Welcher Anteil wird reflektiert? Wie ist der farbliche Eindruck der Fassade mit einer derartigen Sonnenschutzschicht?

Um diese Fragen zu beantworten, muß das Wellenlängenspektrum der Sonnenstrahlung näher betrachtet werden. Bild 2 zeigt das Spektrum zwischen den Wellenlängen 300 nm und 2500 nm. Die Wellenlänge der Strahlung ist ein Maß für die Lichtenergie. Im sichtbaren oder visuellen Teil des Spektrums ist die Wellenlänge zugleich ein Ausdruck für die Farbe des Lichtes. Im Bereich zwischen 280 nm und 380 nm spricht man von ultravioletter Strahlung (UV).

Das Spektrum zwischen 780 nm und 2500 nm wird als nahe Infrarotstrahlung (NIR) bezeichnet. Zwischen 380 nm und 780 nm, im visuellen Spektralbereich (VIS), wird die Strahlung vom menschlichen Auge als „Licht“ wahrgenommen. Die normierte spektrale Augenempfindlichkeit in Bild 2 zeigt, daß das Auge im grünen Spektralbereich am empfindlichsten ist, während blaues und rotes Licht weniger intensiv wahrgenommen wird. Der nicht dargestellte Wellenlängenbereich zwischen 5000 nm und 50000 nm ist das infrarote Spektrum ( $I_R$ ) und wird vom Menschen als Wärmestrahlung „gefühl“.

Wie man in Bild 2 erkennt, ist die relative Intensität der Sonnenstrahlung im UV-Bereich gering. Sie steigt zum sichtbaren Spektralbereich hin steil an und hat ihr absolutes Maximum ungefähr in dessen Mitte bei etwa 550 nm (grün). Im unsichtbaren nahen Infrarotbereich fällt die Sonnenintensität im

Mittel wieder und kann jenseits der 2500 nm nicht mehr nachgewiesen werden.

Wird nun der  $g$ -Wert minimiert, indem die gesamte Sonnenenergie durch eine entsprechende Beschichtung zu 100 % reflektiert wird, betrifft dies das gesamte dargestellte Spektrum. Vor allem betrifft dies den sichtbaren Bereich mit den darin befindlichen Maxima der Sonnenstrahlung und der Augenempfindlichkeit. Das hat die

banale und häufig nicht verstandene Folge, daß ein bei einem Gesamtenergiedurchlaßgrad  $g = 0 \%$  die Verglasung opak ist, d. h. für die Lichttransmission gilt ebenfalls  $L_T = 0 \%$ .

Eine bloße Minimierung des  $g$ -Wertes führt also nicht zum Erfolg. Vielmehr stellt sich die Frage, wie der  $g$ -Wert bei gleichzeitig maximaler Lichttransmission minimiert werden kann. Diese Forderung kann durch einen einfachen Quotienten die sogenannte Selektivität  $S$  exakt formuliert werden:

$$S = \frac{T_T}{g} \quad (3)$$

Bei jeder Sonnenschutzmaßnahme wird eine hohe Lichttransmission in Verbindung mit einem geringen  $g$ -Wert angestrebt. Diese beiden Forderungen haben nach (3) eine Maximierung der Selektivität  $S$  zur Folge. Ist neben dieser zentralen Anforderung noch ein neutraler Farbeindruck in Transmission und Reflexion gewünscht, führt dies zu dem in Bild 3 hellblau dargestellten idealen „kastenförmigen“ Transmissionsband einer Sonnenschutzbeschichtung. Das gesamte Transmissionsband  $\Delta_T$  des sichtbaren Spektrums ( $380 \text{ nm} \leq \Delta_T \leq 780 \text{ nm}$ ) tritt zu 100 % durch die Verglasung hindurch und bewirkt dadurch eine maximale Lichttransmission und Farbneutralität.

Die beiden anderen „unsichtbaren“ Spektralbereiche, das UV und das NIR werden vollständig reflektiert und minimieren so den  $g$ -Wert.

Berechnet man die lichttechnischen Daten einer Doppelverglasung mit dieser idealen Beschichtung auf Ebene 2 und einer „idealen“ unsichtbaren Gegenseibe (100 % Transmission und 0 % Reflexion über das gesamte Spektrum), so erhält man nach der Berechnungsvorschrift DIN EN 410 folgendes Ergebnis:

Lichttransmission:  $L_T = 100 \%$   
 Lichtreflexion:  $L_R = 0 \%$   
 $g$ -Wert:  $g = 57 \%$   
 Selektivität:  $S = 1,75$

Das absolute Minimum des  $g$ -Wertes bei einer vollständig farbneutralen Lichttransmission von  $L_T = 100 \%$  und maximaler Transparenz (Lichtreflexion  $L_R = 0 \%$ ) beträgt also  $g = 57 \%$ . Dieses Minimum kann unter den genannten Bedingungen der Farbneutralität und der maximalen Transparenz nicht unterschritten werden. Die Selektivität beträgt 1,75 und stellt unter diesen Bedingungen das absolute Maximum dar.

### Ergebnisse

- Hauptaufgabe einer Sonnenschutzbeschichtung ist es, die Energietransmission ins Gebäudeinnere, d. h. den Energiedurchlaßgrad  $g$  zu minimieren.
- Das sichtbare Licht ist als spezifischer spektraler Anteil in der Sonnenenergie enthalten. Es stellt den wesentlichen Anteil der gesamten Sonnenenergie.
- Ein 100%iger Sonnenschutz mit  $g = 0 \%$  kann durch eine vollständige Reflexion der gesamten Sonnenenergie erreicht werden. Dann gilt auch für die Lichttransmission  $L_T = 0 \%$ . Die Verglasung ist „undurchsichtig.“
- Mit der „Selektivität“, dem Quotienten aus Lichttransmission und  $g$ -Wert können beide Forderungen, die maximale Lichttransmission und ein minimaler  $g$ -Wert gemeinsam bewertet werden. Beide Forderungen haben eine Maximierung der Selektivität zur Folge.
- Ist eine farbneutrale maximale Transmission und damit 100 %ige Transparenz gefordert, kann ein minimaler  $g$ -Wert von 57 % nicht unterschritten werden. Für die maximale Selektivität gilt  $S = 1.75$ .

In der nächsten Folge werden Möglichkeiten und Grenzen des farbneutralen Sonnenschutzes näher beleuchtet. Außerdem werden die in der Fassade sichtbaren Konsequenzen diskutiert, die aus einer Senkung des  $g$ -Wertes bei weiterhin hoher Lichttransmission folgen. ■

### Der Autor:

Dr. Marcus Frank ist seit 1999 bei der Arcon-Gruppe und dort für die Entwicklung der Beschichtungsprodukte verantwortlich. Der Diplom-Physiker war von 1994 bis 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik tätig und hat über das Thema „Mikrostrukturierte Interferenzschichtsysteme“ promoviert.