

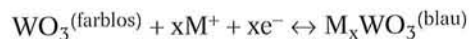
## Schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas

Schon lange wünschen sich Planer und Bauherren sogenannte Smart Windows, d. h. verglaste Bauteile, die je nach Strahlungssituation und Nutzerwunsch ihre Licht- und Energiedurchlässigkeit verändern (Bild 1). Physikalische Effekte, die sich dafür nutzen lassen, werden seit längerem erforscht. Dies sind z. B. die Elektro-, Gaso-, Photo- und Thermochemie. Als brauchbar für die Herstellung großformatiger schaltbarer Sonnenschutz-Isoliergläser erweist sich heute insbesondere die Elektrochromie.

### Elektrochromie

Unter Elektrochromie versteht man die Eigenschaft bestimmter Materialien, ihre spektrale Absorption und damit ihre Licht- und Energiedurchlässigkeit bei Anlegen einer elektrischen Spannung zu verändern. Entdeckt wurde diese Eigenschaft vor ca. 40 Jahren zunächst bei dünnen Schichten aus Wolframtrioxid ( $\text{WO}_3$ ), später auch bei anderen Metalloxiden [2], [3].

Am gründlichsten wurde seitdem  $\text{WO}_3$  erforscht [4]. Als dünne Schicht ist es im oxidierten Zustand nahezu farblos und transparent. Bei Elektronenzufuhr (Reduktion) färbt es sich blau, wobei seine Transparenz erhalten bleibt. Bei Elektronenabgabe (Oxidation) entfärbt es sich wieder. Mit M als Abkürzung für z. B. Wasserstoff (H) oder Lithium (Li) lautet die zugehörige Reaktionsgleichung [5]:



### Elektrochromes Glas

Die Herstellung von elektrochromem Glas auf Basis von  $\text{WO}_3$  hat mittlerweile Serienreife erreicht. Es wird heute bereits in Abmessungen von bis zu  $1,3 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$  gefertigt [6]. Den typischen Aufbau eines elektrochromen Glases zeigt Bild 2. Es handelt sich um ein Verbundglas aus zwei teilvorgespannten Floatgläsern und einer speziellen ionenleitfähigen Polymerfolie. Die Gläser sind elektrisch

leitfähig beschichtet und tragen die Gegenelektrode bzw. die  $\text{WO}_3$ -Schicht. Diese färbt sich bei Anlegen einer elektrischen Gleichspannung von ca. 3 V blau (Elektronenzufuhr). Durch Umpolen der Spannung wird die Beschichtung wieder entfärbt (Elektronenabfuhr). Wird die Stromquelle entfernt, bleibt der zuletzt eingestellte Färbungszustand erhalten. Elektrische Energie wird also nur für den Farbwechsel benötigt. Die erforderliche Schaltenergie ist sehr klein. Sie beträgt nur ca.  $0,5 \text{ Wh/m}^2$ .

### Schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas

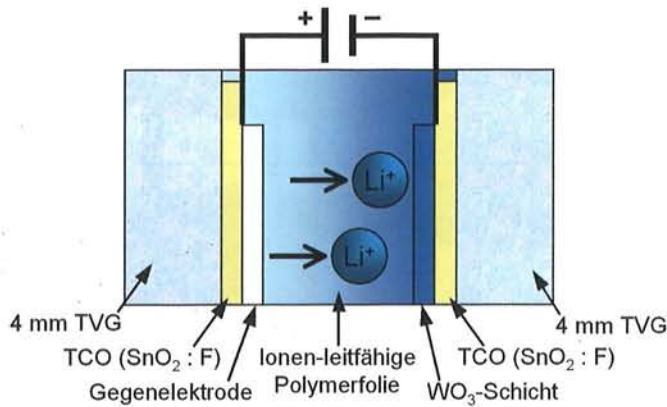
Beim elektrochromen Glas lässt sich zwar die Licht- und Energiedurchlässigkeit, d. h. der  $T_L$ - und der g-Wert, in einem weiten Bereich ändern. Jedoch entspricht sein Wärmedurchgangskoeffizient  $U_g$  dem eines Einfachglases. Damit die heute geforderten  $U_g$ -Werte von ca.  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  und darunter erreicht werden, muss elektrochromes Glas zu Isolierglas weiter verarbeitet werden. Den typischen Aufbau eines schaltbaren Zweifach-Sonnenschutz-Isolierglases zeigt Bild 3. Die Außenscheibe bildet das elektrochrome Glas. Die Innenscheibe besteht bei Vertikalverglasungen i. d. R. aus wärmedämmbeschichtetem Floatglas, bei Überkopfverglasungen aus wärmedämmbeschichtetem Verbund-Sicherheitsglas. Der Scheibenzwischenraum trägt typischerweise 16 mm und ist mit Argon gefüllt. Die gezeigte Isolierglaseinheit lässt sich wie herkömmliches Isolierglas verbauen. Dabei muss silikonfrei gearbeitet werden. Und da ein Steuerkabel im Falzraum verlegt werden muss, ist eine exakte Planung der Kabelführung erforderlich.

Durch die Blaufärbung wird die Transmission von Sonnenlicht und -energie deutlich reduziert. Denn eine Blaufärbung ist gleichbedeutend mit dem Entfernen der roten, d. h. langwelligen und energiereichen Anteile aus dem Lichtspektrum (Bild 4).

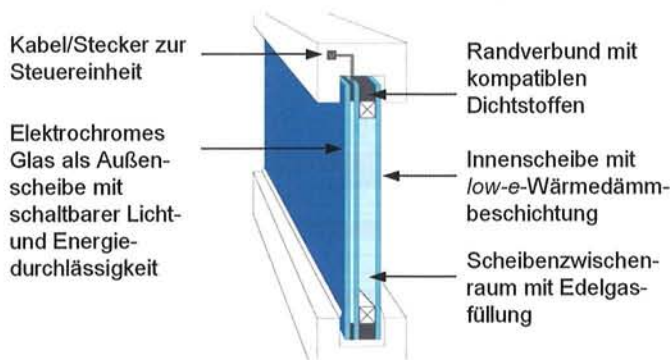
Im Zweifach-Aufbau kann die Gesamtenergiedurchlässigkeit g von 36% auf 12%, die Lichtdurchlässigkeit  $T_L$



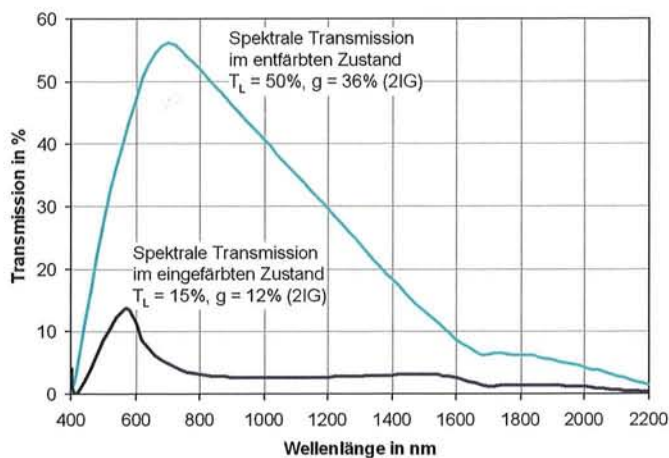
**Bild 1.** Bei schaltbarem Sonnenschutz-Isolierglas kann der Licht- und Energiedurchlass in einem weiten Bereich verändert werden. Die Durchsicht durch das Glas wird dabei nicht behindert. Auch bei stärkster Sonnenschutzstufe bleibt das Glas transparent [1]



**Bild 2.** Typischer Aufbau eines elektrochromen Glases (nach [7])



**Bild 3.** Typischer Aufbau eines schaltbaren Zweifach-Sonnenschutz-Isolierglases (nach [1])



**Bild 4.** Transmissionsspektrum von schaltbarem Sonnenschutz-Isolierglas (nach [7]).

von 50% auf 15% abgesenkt werden. Auf sichtbehindernde Jalousien und Markisen zur Verminderung des solaren Energieeintrags kann daher verzichtet werden.

Der  $U_g$ -Wert beträgt im Zweifach-Aufbau typischerweise  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas kann aber auch im Dreifach-Aufbau mit  $U_g$ -Werten bis zu  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefertigt werden (Tabelle 1). Darüber hinaus kann es mit zusätzlichen Funktionen, wie z. B. Schalldämmung, Absturzsicherung oder Einbruchhemmung kombiniert werden.

Jede Isolierglas-Einheit ist über ein Niederspannungskabel mit einem Steuergerät verbunden und einzeln steuerbar. Hierüber lässt sich das Glas manuell in fünf Transmissionsstufen schalten (Bild 5). Es können aber

**Tabelle 1. Technische Daten von schaltbarem Sonnenschutz-Isolierglas [1]**

Aufbau	Schaltzustand	Lichtdurchlässigkeit	Gesamtenergiedurchlässigkeit	U <sub>g</sub> -Wert nach DIN EN 673	Lichtreflexion außen	UV-Durchlässigkeit
		T <sub>L</sub> /%	g/%	W/m <sup>2</sup> K	R <sub>Le</sub> /%	T <sub>UV</sub> /%
Zweifach-Isolierglas	hell	50	36	1,1	11	5
	dunkel	15	12	1,1	9	0,5
Dreifach-Isolierglas	hell	45	30	0,5	12	2
	dunkel	14	10	0,5	9	0,3



**Bild 5. Steuergerät für fünf Transmissionsstufen [6]**

auch ganze Fassadenteile mit bis zu 30 Isolierglas-Einheiten über eine Gruppensteuerung eingestellt werden. Alternativ kann die Elektronik auch an das Bussystem der Gebäudeleittechnik angeschlossen und so eine stufenlose Transmissionsveränderung realisiert werden.

**Schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas in der Praxis**

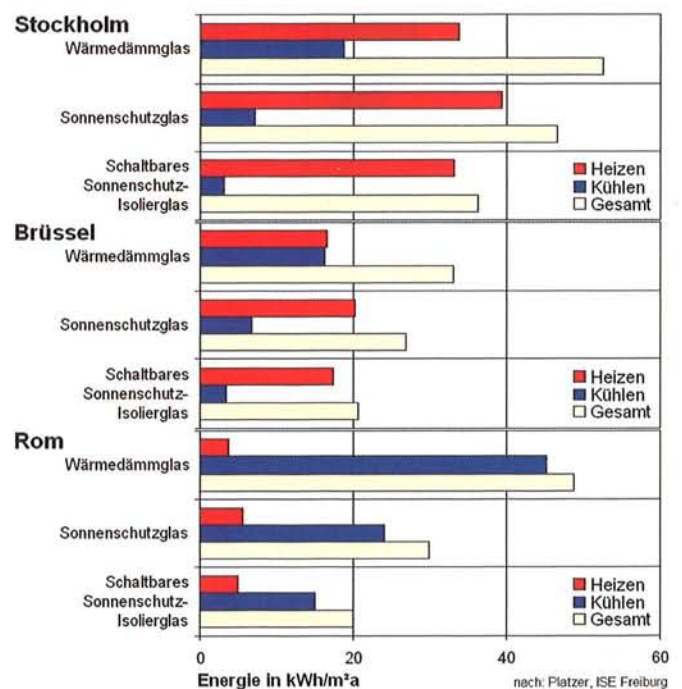
Je nach Strahlungssituation und/oder Nutzerwunsch lässt sich der Licht- und Energiedurchlass des schaltbaren Sonnenschutz-Isolierglases gezielt ändern. Dabei färbt sich die Außenscheibe blau bzw. entfärbt sich, wobei die Durchsicht stets erhalten bleibt (Bild 6). Der Schaltvorgang einer 1 m x 1 m großen Scheibe dauert ca. 12 Minuten, was plötzliche Blendung oder Dunkelheit verhindert. Er verläuft in beiden Schaltrichtungen stufenlos und gleichmäßig auf der ganzen Scheibenfläche. Durch die Hell-Dunkel-Adaption des menschlichen Auges ist er für den Nutzer nur im direkten Vergleich mit ungeschaltetem Glas wahrnehmbar.

**Energiebilanz**

Rechnerische Untersuchungen zum Energieverbrauch zeigen, dass sich die Energiebilanz von Gebäuden bei Steuerung der Sonnenschutz-Isoliergläser durch entsprechende Haustechnik-Systeme verbessern lässt (Bild 7). Denn im



**Bild 6. Schaltbares Sonnenschutz-Isolierglases in einer Schule [6] (Bilder 1, 3, 5, 6: EControl-Glas GmbH & Co. KG, Plauen)**



**Bild 7. Ergebnisse von Vergleichsrechnungen zum Energieverbrauch (nach [6]) (Bilder 2, 4, 7: Flachglas MarkenKreis GmbH, Gelsenkirchen)**

Gegensatz zu statischen Wärmedämm- und Sonnenschutzgläsern können schaltbare Sonnenschutz-Isoliergläser die solaren Wärmegewinne je nach klimatischer Situation gezielt nutzen oder vermeiden. Das spart je nach Gebäudestandort unterschiedliche Mengen Heiz- und Kühlenergie.

**Fazit**

Nach Jahren intensiver Forschung haben schaltbare Sonnenschutz-Isoliergläser mit elektrochromem Glas auf Basis von WO<sub>3</sub> die Serienreife erreicht. Ihre Vorteile gegenüber einem herkömmlichen, mechanischen Sonnenschutz mittels Lamellen, Jalousien oder Geweben sind:

- Der Licht- und Energiedurchlass kann in einem weiten Bereich stufenlos verändert werden. Auf einen mechani-

- schen Sonnen- und Blendschutz kann verzichtet werden.
- Die Durchsicht durch das Glas wird nicht behindert. Auch bei stärkster Sonnenschutzstufe bleibt das Glas transparent.
  - Der Sonnenschutz ist auch bei hoher Windgeschwindigkeit voll wirksam, da die WO<sub>3</sub>-Funktionsschicht, die den Sonnenschutz bewirkt, geschützt im Glas eingebettet ist.
  - Spezielle Fenster- oder Fassadenprofile sind nicht erforderlich, da schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas wie herkömmliches Isolierglas verbaut werden kann.

Bei Steuerung des Glases durch entsprechende Haustechnik-Systeme lässt sich die Energiebilanz des Gebäudes verbessern, da solare Wärmegewinne je nach klimatischer Situation gezielt genutzt oder vermieden werden können. Außerdem gewinnt ein Gebäude durch schaltbares Sonnenschutz-Isolierglas erheblich an Komfort. Denn die Gläser lassen sich auch individuell, z. B. raumweise, vom Nutzer schalten. Dabei verläuft der Schaltvorgang vollkommen geräuschlos. Und da es keine außen liegende Verschattungselemente gibt, entfallen die von Lamellen

oder Jalousien bekannten und gefürchteten Windgeräusche. Darüber hinaus bleibt eine glasbetonte Fassadenansicht innen wie außen auch in der stärksten Sonnenschutzstufe erhalten. Das lang ersehnte Smart Window ist damit Realität geworden.

#### Literatur

- [1] [www.flachglas-markenkreis.de](http://www.flachglas-markenkreis.de).
- [2] Deb, S. K.: Appl. Opt., Suppl., 1969, 3, 192.
- [3] Kanu, S. S., Binions R.: Proc. R. Soc. A, 2010, 466, 19.
- [4] Niklasson, G. A.; Granqvist C. G.: J. Mater. Chem., 2007, 17, 127.
- [5] Granqvist, C. G.: Electrochim. Acta, 1999, 44, 3005.
- [6] [www.econtrol-glas.de](http://www.econtrol-glas.de)
- [7] Jödicke, D., Wittkopf H.: Proc. Glass Performance Days 2007, 394.

#### Weitere Informationen

Flachglas MarkenKreis GmbH,  
 Auf der Reihe 2, 45884 Gelsenkirchen,  
 Tel. (02 09) 9 13 29-23, Fax (02 09) 9 13 29-29,  
[m.reick@flachglas-markenkreis.de](mailto:m.reick@flachglas-markenkreis.de),  
[www.flachglas-markenkreis.de](http://www.flachglas-markenkreis.de)