

Seit Jahren werden schaltbare Schichten für den Einsatz in der Architektur entwickelt. Nachdem im ersten Teil der „glaswelt“-Serie über schaltbare Verglasungen (glaswelt 6/2003, Seite 42) die Planung und Integration solcher Systeme behandelt wurde, steht in dieser und den nächsten Folgen die Arbeitsweise verschiedener Systeme im Vordergrund.

Dazu sollen die folgenden Fragen näher erläutert werden: Wie funktionieren schaltbare Verglasungen? Wie weit sind die verschiedenen Technologien entwickelt? Welche Effekte, Materialeigenschaften und Kennwerte werden erreicht? Und in welchen Bereichen können die neuen Verglasungen sinnvoll eingesetzt werden?

## Technik, Typen und Systeme

Je nach Art der Aktivierung der optischen Schaltung oder nach deren Aufbau unterscheidet man folgende schaltbare Schichten (Bild 1):

### ● Elektrochrome Schichten:

Schaltung in Form einer Abdunklung (Blaufärbung) durch einen elektrischen Strom, stromloser Endzustand.

### ● Gaschrome oder Hydrochrome Schichten:

Schaltung in Form einer Abdunklung (Blaufärbung) durch Kontakt mit einem Gas.

### ● Photochrome Schichten:

Schaltung in Form einer Abdunklung durch Bestrahlung.

### ● Photoelektrochrome Schichten:

durch Sonnenstrahlung aktivierte elektrochrome Schaltung.

### ● Thermochrome oder thermotrope Schichten:

Schaltung in Form eines Farbwechsels oder einer weißen Eintrübung bei Überschreiten einer bestimmten Schwellentemperatur.

### ● Polymer-Dispersed Liquid Crystal (PDLC)-Systeme:

Schaltung in Form eines Aufklarens durch Orientierung von lichtstreuenden Flüssigkristallen bei Anlegen einer elektrischen Spannung, Stromverbrauch für klaren Zustand.

## Schaltbare und regelbare Verglasungen (II):

# Durchsicht per Knopfdruck

### ● Suspended-particle-devices (SPD):

Schaltung in Form eines Aufklarens durch Orientierung optisch anisotroper absorbierender Teilchen bei Anlegen einer Spannung.

### ● Schaltbare Spiegel auf Metallhydridbasis:

Übergang von metallischem Spiegel zu transparentem Halbleiter durch Kontakt mit einem Gas.

## Elektrochrome Verglasungen

**Funktionsprinzip:** In elektrochromen Schichten lassen sich mit der Aufnahme oder der Abgabe von Ladungsträgern die optischen Eigenschaften verändern. Wird eine Spannung angelegt und fließt elektrischer Strom, so findet der erwünschte Ladungsträgertransfer statt und die Schicht ändert ihre Durchlässigkeit für Sonnenlicht. Einige Metalloxide zeigen solche Farb-

wechsel, Wolframoxid z. B. erreicht eine intensive Blaufärbung. Die Transmission wird durch eine erhöhte Absorption langwelliger sichtbarer und nah-infraroter Strahlung reduziert. Dies kann hohe Schicht- oder Glastemperaturen bewirken, was bei dem Design von Verglasungseinheiten für Gebäude zu berücksichtigen ist.

**Technik:** In elektrochromen Verglasungen befindet sich die aktive Schicht in einem Verbund (Bild 2), der von zwei mit transparenten Elektroden beschichteten Gläsern eingerahmt wird. Durch eine externe Stromversorgung werden bei Bedarf Ladungsträger in die Schicht transportiert, wobei ein Flüssig- oder Polymer-Elektrolyt den Stromfluß gewährleistet. Es existieren auch Systeme mit Festkörpern als Ionenleiter, die als Schichtverbund auf Glas aufgebracht sind.

Derzeit können Scheiben bis zu einer Größe von  $1,2 \times 2$  m realisiert werden. Der elektrochrome Verbund kann in eine Wärmeschutzverglasung integriert werden (Bild 3). Die elektrische Ansteuerung erfolgt mit einem Steuergerät, dessen Leistungsaufnahme (pro Verglasungseinheit der genannten Größe) in der derzeitigen Entwicklungsstufe 2 W im Ruhezustand und 18 W während des Schaltvorganges beträgt. Der Energieeintrag läßt sich bedarfsgerecht regeln, denn das Steuergerät läßt sich raumweise von Hand bedienen oder auch mit der Gebäudeleittechnik verbinden.

**Wirkung und Kennwerte:** Die Transmission läßt sich stufenlos verändern, die Durchsicht bleibt dabei immer erhalten. Elektrochrome Verglasungen können also in allen Fassadenbereichen eingesetzt werden – bei direktem Sonnenlicht gibt es allerdings keinen sicheren Blendschutz, eine mögliche Blendung wird bloß stark reduziert. Die Anforderungen an den Sonnenschutz dagegen werden voll erfüllt. So reduziert eine geschaltete elektrochrome Verglasung mit einem U-Wert von  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  die sichtbare Transmission von 0,50 zu 0,15 bei einer g-Wert-Schaltung von 0,36 zu 0,12.

**Status:** Wolframoxid konnte als bislang einziges Material für großflächige Verglasun-



### Beteiligte Firmen und Institute:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
Dr. Peter Nitz u. a.  
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co. KG  
Dr. Harald Hagenström  
Sahnreistr. 21, 37697 Laubförde

Metallbau Ralf Boetker GmbH  
Bernd Neubauer,  
Meenheit 53, 28816 Stuhr

Flabeg GmbH & Co. KG  
Thomas Deinlein,  
Siemensstraße 3, 90766 Fürth

Gesimat GmbH  
Dr. Matthias Rottmann  
Köpenicker Str. 325, 12555 Berlin

Verschiedene schaltbare Schichten und Verglasungen im Überblick									
	Durchsicht		Farbe		Schalthub / Potenzial		Entwicklungsstatus	spezifische Vorteile	spezifische Nachteile
	hell	dunkel	hell	dunkel	Sichtbar (Licht)	Solar (Energie)			
<b>Elektrochrom</b>	ja	ja	nein/ gering	ja (blau)	hoch	hoch	Pilotproduktion	Durchsicht bleibt erhalten	Schaltung durch Absorption, Blendungsgefahr
<b>Gaschrom</b>	ja	ja	nein/ gering	ja (blau)	hoch	hoch	Pilotproduktion	Durchsicht bleibt erhalten	Schaltung durch Absorption, Blendungsgefahr
<b>Photochrom</b>	ja	ja	nein/ gering	ja (grau, braun)	hoch	hoch	Produkte (keine Verglasungen!)	Durchsicht bleibt erhalten, hoher Schalthub	Schaltung durch Absorption, Blendungsgefahr, stark temperaturabhängige Schaltgeschwindigkeit
<b>Photoelektrochrom</b>	ja	ja	nein/ gering	ja (blau)	mittel	mittel	Labormuster	Durchsicht bleibt erhalten	Geringe Transmission im hellen Zustand, Blendungsgefahr, Umsetzbarkeit noch nicht absehbar
<b>Thermochrom</b>	ja	ja	ja	ja	gering	gering	Labormuster	schaltet selbsttätig	Geringe Transmission im hellen Zustand, geringer Schalthub, Blendungsgefahr
<b>Thermotrop</b>	ja/ bedingt	nein	nein (weiss)	ja	hoch	hoch	Prototypen	Schaltung selbsttätig, vorw. durch Reflexion	Durchsicht bleibt nicht erhalten; Gießharze: leichte Trübung auch im hellen Zustand
<b>PDLC</b>	ja/ bedingt	nein	nein	ja (weiss)	kein	kein	Produkt	Sichtschutzprodukt, frei erhältlich	Keine Sonnenschutzfunktion, leichte Trübung auch im hellen Zustand
<b>SPD</b>	ja/ bedingt	ja/ bedingt	nein/ gering	ja (blau, schwarz)	hoch	hoch	Prototypen	Durchsicht bleibt weitgehend erhalten	Leichte Trübung auch im hellen Zustand, Blendungsgefahr
<b>HYSWIM</b> (Schaltbare Spiegel)	ja	nein	nein/ gering	nein/ gering	hoch	hoch	Labormuster	Schaltung durch Reflexion	Blendungsgefahr in Reflexion, Umsetzbarkeit noch nicht absehbar

Bild 1: Qualitativer Vergleich der verschiedenen schaltbaren Schichten und Verglasungen

gen eingesetzt und zur Produktreife gebracht werden. Zur Zeit werden in Deutschland elektrochrome Verglasungen an ausgewählten Pilotfassaden getestet. Eine Markteinführung ist nicht vor Sommer 2004 zu erwarten. Auch im Ausland werden elektrochrome Scheiben entwickelt (Japan, USA). Für Kfz-Anwendungen sind hier kleinflächige Produkte erhältlich, während für die Architektur noch kein Produkt am Markt verfügbar ist.

**Einsatz:** Elektrochrome Verglasungen können sowohl an vertikalen wie auch geneigten Fassaden eingesetzt werden, also insbesondere auch in horizontalen Dachverglasungen. Die Blendungsgefahr durch direktes Sonnenlicht muß auch im abgedunkelten Zustand berücksichtigt werden. Als Vorteil erweist sich die stufenlose Helligkeitsregelung: Sie ermöglicht eine bedarfsorientierte Steuerung von Licht- und Energieeintrag durch den Nutzer oder die

Gebäudeleittechnik. Weitere Anwendungen liegen im Automobil-, Bahn- und Flugzeugsektor.

## Gaschrome (Hydrochrome) Verglasungen

**Funktionsprinzip:** Auch bei gasochromen Verglasungen besteht die optisch schaltbare Schicht aus Wolframoxid. Sie zeigen damit die charakteristisch tiefblaue Färbung

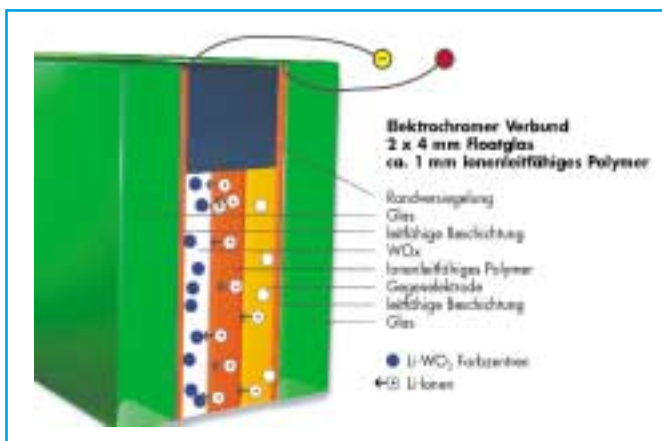


Bild 2: Schichtaufbau einer elektrochromen Verglasung

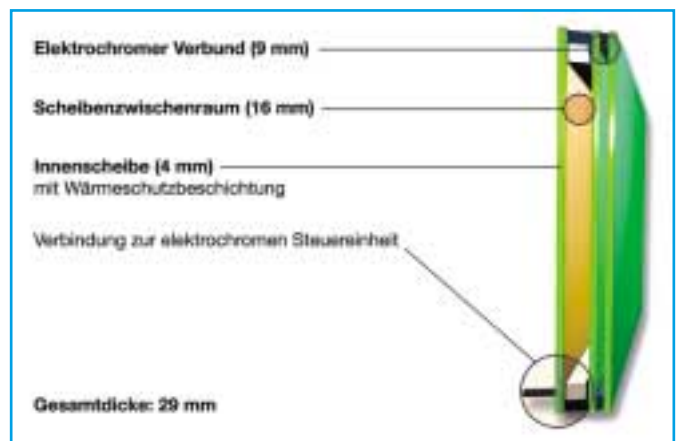


Bild 3: Aufbau einer elektrochromen Wärmeschutzverglasung. Die Verbundscheibe bildet zusammen mit einer niedrigemittierend beschichteten Glasscheibe und einem edelgasbefüllten Scheibenzwischenraum (hier: 16 mm) die Wärmeschutzverglasung



Bild: Fraunhofer ISE/Interpane E&B mbH

**Bild 4:** Gaschrome Verglasung in verschiedenen Schattzuständen (a, b, c). Jeweils rechtes Element: unbeschichtete Standardverglasung. Element links oben: gasochrome Verglasung im gefärbten Zustand. Element links unten: gasochrome Verglasung (a) gebleicht, (b) teilweise eingefärbt, (c) stark eingefärbt

im abgedunkelten Zustand – die Durchsicht bleibt wiederum erhalten (Bild 4). Die Einfärbung erfolgt aber nicht durch einen elektrischen Strom, sondern durch eine Einlagerung von Wasserstoffgas (Bild 5). Der Wasserstoff wird zunächst durch eine Katalysatorschicht verfügbar gemacht und kann dann in die poröse Wolframoxidschicht eindringen. Die Transmission der gasochromen Verglasung kann durch die Wasserstoffkonzentration im Gasspalt einer Verbundscheibe verändert werden. Entfärbt wird durch Überströmen der aktiven Schicht mit Sauerstoff.

**Technik:** Den Schichtaufbau zeigt Bild 6. Für das Design gasochromer Wärmeschutzverglasungen und in der Anwendung sind hier wiederum die potentiell hohen Temperaturen im abgedunkelten Zustand zu berücksichtigen.

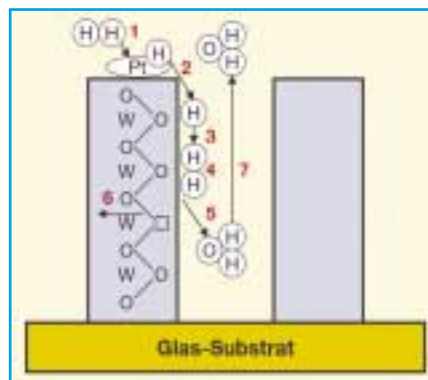


Bild: Fraunhofer ISE

**Bild 5:** Mechanismus der Einfärbung poröser Wolframoxidschichten durch Wasserstoffgas. 1:  $H_2$  wird katalytisch aufgespalten, 2–5: Protonen erzeugen eine Sauerstoff-Fehlstelle im  $WO_3$  und färben die Schicht. Der entstehende Wasserdampf  $H_2O$  entweicht. Beim Entfärben in Sauerstoff wird entsprechend  $O_2$  katalytisch aufgespalten

Die Elektronik steuert die erforderliche Gas-konzentration entsprechend den Anforderungen der Nutzer oder der Gebäudeleittechnik. Je nach Gasversorgungssystem können Verglasungsflächen von bis zu  $10\text{ m}^2$  geschaltet werden.

**Wirkung und Kennwerte:** Eine gasochrome Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert von  $1,0\text{ W/m}^2\text{K}$  erreicht eine Schaltung der Lichttransmission von 0,60 zu 0,15 und des g-Wertes von 0,50 zu 0,15.

**Status:** Bislang wurden Scheiben bis zur Größe  $1,5 \times 1,8\text{ m}^2$  realisiert. Im Sommer 2002 wurde eine erste Pilotfassade beim Hersteller mit gasochromen Verglasungen ausgestattet und wird nun getestet. Die Pilotfertigung läuft bereits und erste ausgesuchte Projekte werden mit diesem Verglasungstyp ausgestattet.

**Einsatz:** wie elektrochrome Verglasungen

In den folgenden Teilen der Serie werden photochrome Systeme, thermochrome oder thermotrope Schichten, Polymer-dispersed liquid crystal (PDLC) – Systeme, Suspended-particle-devices (SPD) sowie schaltbare Spiegel auf Metallhydridbasis genauer besprochen.



BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst. Der vorliegende Artikel basiert auf dem Themeninfo I/02.

Weitere Informationen unter:  
BINE Informationsdienst  
Fachinformationszentrum  
Karlsruhe  
Büro Bonn  
Meckenstraße 57  
53129 Bonn  
Tel. (02 28) 92 37 90  
Fax (02 28) 9 23 79 29  
bine@fiz-karlsruhe.de  
www.bine.info

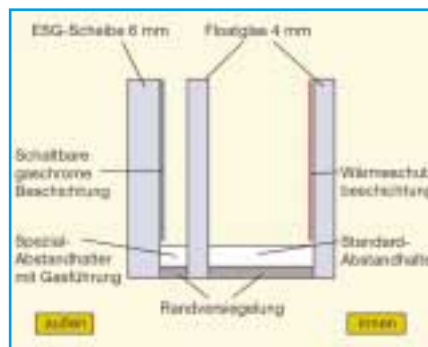


Bild: Interpane E&B mbH

**Bild 6:** Aufbau einer gasochromen Wärmeschutzverglasung

Für den Aufbau einer Wärmeschutzverglasung kann der gasochrome Zwei-Scheiben-Glasverbund mit einer niedrig emittierend beschichteten Glasscheibe kombiniert werden. Die Wasserstoff- und Sauerstoffgasversorgung kann als geschlossenes System – samt Recycling des Endproduktes Wasser – vollständig in die Fassadeneinheit integriert werden.

## Autoren:

Dr. Peter Nitz, Fraunhofer ISE, Freiburg;  
Prof. Andreas Wagner, ftba, TU Karlsruhe