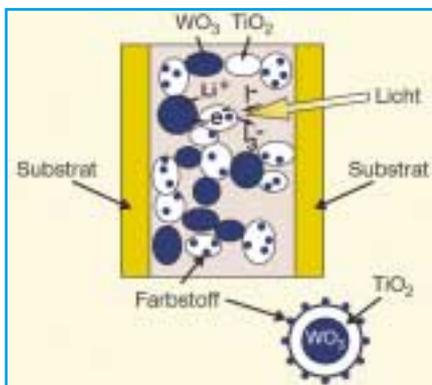


Nachdem im Teil I der „glaswelt“-Serie über schaltbare Verglasungen („glaswelt“ 6/2003, Seite 42) die Planung und Integration dieser Anwendungen behandelt wurde, steht diesmal, wie im Teil II („glaswelt“ 7/2003, Seite 24), die Arbeitsweise verschiedener Systeme im Vordergrund. Je nach Art der Aktivierung der optischen Schaltung oder nach deren Aufbau unterscheidet man verschiedene schaltbare Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften und Verwendungsgebieten. Am Ende des Artikels gibt die Tabelle 1 einen allgemeinen Überblick über Kenndaten von schaltbaren Schichten und Verglasungen.

Nachfolgend werden Funktionsweise, Materialeigenschaften, Einsatzbereiche und Kennwerte sowie der Entwicklungsstand in bezug auf Technik und Marktreife verschiedener schaltbarer Systeme näher betrachtet werden. Im Blickpunkt stehen dabei:

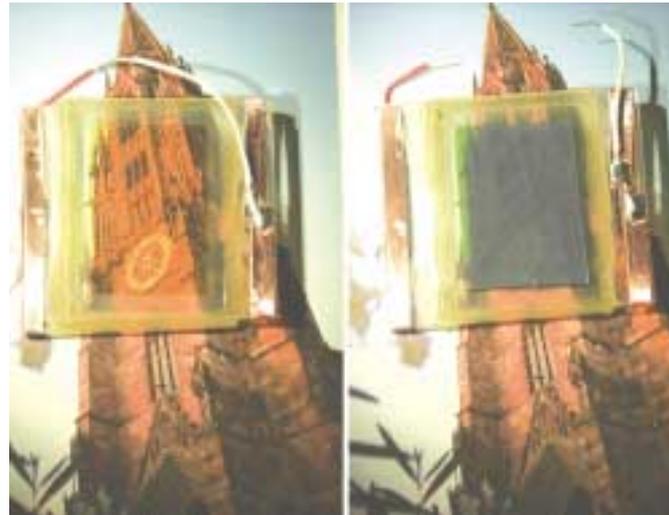
- **Photochrome Schichten:** Schaltung in Form einer Abdunklung durch Bestrahlung.
- **Photoelektrochrome Schichten:** Durch Sonnenstrahlung aktivierte elektrochrome Schaltung.
- **Thermochrome Schichten:** Schaltung in Form eines Farbwechsels bei Überschreiten einer bestimmten Schwellentemperatur.



**Bild 1:** Funktionsprinzip einer neuartigen photochromen Schicht. Nach dem Prinzip einer farbstoffsensibilisierten Solarzelle werden bei Lichteinfall freie Ladungen erzeugt, die das Wolframoxid blau einfärben

## Schaltbare und regelbare Verglasungen (III):

# Durchsicht per Knopfdruck



**Bild 2:** Photoelektrochromer Prototyp im Labormaßstab. Links der klare, rechts der abgedunkelte Zustand

Bilder: Fraunhofer ISE

### Photochrome Systeme

**Funktionsprinzip:** Photochrome Gläser oder Kunststoffscheiben finden sich z. B. in selbsttönenden Sonnenbrillen. Unter Sonnenlichteinfall dunkeln diese Gläser in den Farben grau oder braun ein, bleiben jedoch durchsichtig. Dieser Effekt wird durch UV-Licht oder kurzwelliges sichtbares Licht hervorgerufen, es kommt zu – reversiblen – Übergängen der im Glas eingelagerten Silberhalogenide bzw. der auf den Kunststoffscheiben aufgetragenen organischen Schichten.

In einer speziellen Weiterentwicklung (Bild 1) wurde das färbende Wolframoxid einer elektrochromen Schicht mit dem Wirkungsmechanismus einer elektrochemischen (z. B. farbstoffsensibilisierten) Solarzelle kombiniert. Derartige Funktionsschichten zeigen auch photochromes Verhalten, wobei allein sichtbares Licht für die Funktion ausreicht. Hauptvorteil gegenüber elektrochromen oder photoelektrochromen Systemen ist der deutlich einfachere Schichtaufbau. Das Erscheinungsbild ist vergleichbar mit den photoelektrochromen Systemen, wobei die leichte Gelbfärbung im hellen Zustand sogar geringer ist als in Bild 2 (links).

**Wirkung und Kennwerte:** Die erzielbare Transmissionsreduktion ist erheblich, die sichtbare Transmission einer Einfachschei-

be auf Silberhalogenidbasis schaltet von 0,91 zu 0,25 – hierbei erhöht sich Absorption entsprechend.

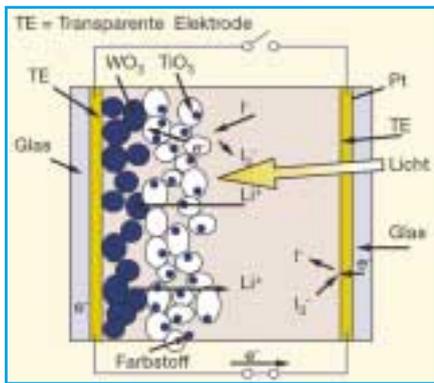
**Status:** Verschiedene Umstände verhindern bislang den Einsatz großformatiger Gläser in der Architektur: Starke Temperaturabhängigkeit der Ein- bzw. Entfärbung, mangelnde Langzeitstabilität, hoher Absorptionsgrad im abgedunkelten Zustand und hohe Preise.

**Status der Neuentwicklung:** kleinflächige Prototypen.

**Einsatz:** Photochrome Systeme schalten vollkommen selbsttätig – dies vereinfacht die Systemtechnik, ist jedoch gänzlich unflexibel. Auch sind photochrome Systeme nur bedingt als Sonnenschutzsysteme geeignet, da sie auch bei hoher Einstrahlung im Winter schalten. Naheliegender ist dagegen deren Einsatz als Blendschutz. Um jedoch den strengen Blendschutzkriterien zu genügen, muß eventuell der Abdunklungseffekt durch Kombination mit anderen Mechanismen oder Systemen noch verstärkt werden.

### Photoelektrochrome Schichten

**Funktionsprinzip:** In photoelektrochromen Schichten (Bild 3) werden ebenfalls die Wirkungsmechanismen einer elektrochromen Schicht und einer elektrochemischen Solar-



**Bild 3: Funktionsprinzip einer photoelektrochromen Schicht.** Eine elektrochrom einfärbende Wolframoxidschicht ist mit einer farbstoffsensibilisierten Solarzelle zu einem System kombiniert. Wird unter Bestrahlung der Stromkreis geöffnet, so färbt die Schicht ein (obere Hälfte). Wird der Stromkreis geschlossen, so entfärbt sich die Schicht, auch unter Bestrahlung (unten)



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  
 Mechenstraße 57  
 53129 Bonn  
 Tel. (02 28) 92 37 90  
 Fax (02 28) 9 23 79 29  
 bine@fiz-karlsruhe.de  
 www.bine.info

zelle kombiniert. Der Ladungstransfer erfolgt über transparente, elektrisch leitende Schichten auf Glassubstraten. Über einen externen Stromkreis wird die Schicht geschaltet: Ist der externe Stromkreis geöffnet, so färbt sich die Schicht unter Bestrahlung. Die Blaufärbung des Wolframoxid bleibt erhalten, solange der Schalter geöffnet bleibt. Wird der externe Stromkreis später geschlossen, so entfärbt sich die Schicht. Es wird zur Schaltung also keine externe Strom- bzw. Spannungsversorgung benötigt. Zudem ist die Einfärbzeit flächenunabhängig und nicht – wie bei elektrochromen Systemen – durch die begrenzte Leitfähigkeit der transparenten Elektroden eingeschränkt. Vorteilhaft im Winter: Ein unerwünschtes Abdunkeln der Verglasung kann durch Schließen des Stromkreises unterbunden werden.

**Wirkung und Kennwerte:** Im Labormaßstab kann die solare Transmission von 0,47 auf 0,05 oder von 0,40 auf 0,007 geschaltet werden. Ein effektiver Sonnenschutz wäre also möglich.

**Status:** Es wird derzeit daran gearbeitet, photoelektrochrome Schichten großformatig zu realisieren und deren Langzeitstabilität zu verbessern. Marktverfügbare Verglasungsprodukte sind mittelfristig noch nicht zu erwarten.

## Thermochrome Schichten

**Funktionsprinzip:** Thermochrome Schichten wechseln ihre Farbe, wenn ihre Temperatur einen bestimmten Wert übersteigt. Vanadiumoxid ist das Material, dem das größte Potential zugemessen wird. In dünnen

## 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 Laubenförde

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

nen Schichten aufgetragen geht Vanadiumoxid bei etwa 68 °C von dem metallischen in den Halbleiter-Zustand über. Zugleich ändern sich die optischen Eigenschaften signifikant. Dies wirkt sich am stärksten auf den infraroten Spektralbereich aus, während sich die Transmission für sichtbares Licht nur wenig ändert. Unterhalb etwa 500 nm absorbieren die Schichten stark bei entsprechend sehr geringer Transmission. Im sichtbaren Spektralbereich kann damit in beiden Schaltzuständen insgesamt wenig Licht die Schicht durchdringen.

**Status:** Derzeit wird an Schichten mit geringeren Schalttemperaturen und günstigeren Schalteigenschaften gearbeitet. Produkte für die Anwendung in Gebäudeverglasungen sind aber derzeit nicht absehbar, eine Eignung als schaltbare Sonnenschutzverglasung ist umstritten.

Im folgenden Teil der Serie werden thermotrope Verglasungen, Polymer-Dispersed-Liquid-Crystal-Systeme (PDLC), Suspended-Particle-Devices (SPD) sowie Schaltbare Spiegel auf Metallhydridbasis genauer besprochen.



## Autoren:

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

System	Daten liegen vor für		Transmissionsgrad <sup>1)</sup> für sichtbares Licht		Transmissionsgrad <sup>1)</sup> für Solarstrahlung		Gesamtevergläserdurchlassgrad (g-Wert)	
	Schicht + Substrat	Wärmeschutzverglasung	hell	dunkel	hell	dunkel	hell	dunkel
Elektrochrom FLABEG	x	a	0,50	0,15	0,29	0,07	0,36	0,12
Elektrochrom GESIMAT	x		0,74	0,15	0,52	0,09		
Gaschrom Interpane		a	0,60	0,15			0,50	0,15
Photochrom 1	x		0,91	0,25				
Photochrom 2	x		0,90	0,15				
Photoelektrochrom 1	x		0,64	0,10	0,47	0,05		
Photoelektrochrom 3	x		0,63	0,014	0,40	0,007		
Thermotrop Hydrogel 1	x		0,88	0,19	0,69	0,09	0,75	0,22
Thermotrop Hydrogel 2		a	0,74	0,16	0,44	0,09	0,55	0,14
Thermotrop Polymerblend 1		a	0,73	0,21	0,44	0,13	0,55	0,18
Thermotrop Polymerblend 2		a					0,48	0,15
Thermotrop Gläser	x		0,80	0,40	0,65	0,40		
Thermochrome			0,33	0,30	0,30	0,23		
PDLC SGG Priva-Lite	x		0,77	0,76			0,63	0,64
PDLC SGG Priva-Lite		a	0,69	0,68			0,59	0,59
SPD Research Frontiers	x		0,60	0,20				
SPD Research Frontiers	x		0,50	0,10				
SPD Research Frontiers	x		0,10	0,01				
Schaltbare Spiegel HYSWIM	x		0,70	0,30				

Tabelle 1: Überblick der visuell und energetisch relevanten Effekte von schaltbaren Schichten und Verglasungen