

Nachdem in den letzten beiden Teilen der „glaswelt“-Serie über schaltbare Verglasungen (Teil II, „glaswelt“ 7/2003, Seite 24, Teil III, 8/2003, Seite 22) die Arbeitsweise verschiedener Systeme behandelt wurde sowie Fragen nach Funktionsweise, Entwicklungsstand und Materialeigenschaften näher erörtert wurden, untersucht der aktuelle Beitrag weitere Technologien und Systeme. Abgerundet wird dieser letzte Teil der Serie mit einer zusammenfassenden Betrachtung zu Schaltbaren Verglasungen.

Diesmal stehen im Blickpunkt:

- **Thermotrope Schichten:** Schaltung in Form einer weißen Eintrübung bei Überschreiten einer bestimmten Schwelltemperatur.
- **Polymer-Dispersed-Liquid-Crystal-Systeme (PDLC):** Schaltung in Form eines Aufklarens durch Orientierung von lichtstreuenden Flüssigkristallen bei Anlegen einer elektrischen Spannung, Stromverbrauch für klaren Zustand.
- **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.

Thermotrope Verglasungen

Funktionsprinzip: Thermotrope Schichten sind für die Sonnenschutzverglasung geeignet. Sie schalten selbsttätig von einem klaren in einen stark streuenden, weiß eingetrübten Zustand. Die Lichtstreuung im geschalteten Zustand rührt von Teilchen oder Domänen her, deren Brechungsindex sich von ihrer Umgebung unterscheidet. Analog zu den in der Milch fein verteilten Fetttropfchen, verursachen die Domänen in thermotropen Schichten eine starke Mehrfachstreuung und damit diffuse Transmission von Licht sowie die weiße Farbe.

Technik: Die thermotrope Schicht ist im Allgemeinen zwischen zwei Träger- bzw. Substratschichten eingebettet. Dies können

Schaltbare und regelbare Verglasungen (IV):

Durchsicht per Knopfdruck



Bild: Okalux GmbH

Bild 2: Schaltvorgang einer thermotropen Verbundscheibe auf Gießharzbasis. Die Scheibe geht vom klaren Zustand (links) in ein Zwischenstadium (Mitte) und nach insgesamt 10 bis 60 Minuten in den (fast) vollständig geschalteten Zustand (rechts)

z. B. zwei Glasscheiben sein, die zusammen mit der thermotropen Schicht eine Verbundscheibe bilden. Allgemein schützen die Deckschichten vor schädlichen Umwelteinflüssen, bei Hydrogelen verhindern sie zudem eine Austrocknung der Schicht. Es gibt verschiedene Materialklassen, mit denen sich ein solcher Effekt erzielen lässt. Bei einigen Systemen entstehen die lichtstreuenden Domänen durch Phasenseparation (Bild 1): Während bei tiefer Temperatur Matrix und Streumaterial homogen durchmischt und damit transparent sind, entmischen sich oberhalb der Schalttemperatur die beiden Materialien, und die Schicht trübt ein. Bei den sog. Hydrogelen bilden sich Polymerdomänen in einem wässrigen Gel, bei Polymerblends entmi-

schen sich zwei Kunststoffe und bei Schichten auf Basis lyotroper Flüssigkristalle werden Brechungsindexdifferenz und Phasenseparation unterschiedlicher flüssigkristalliner Phasen ausgenutzt. Bei einem anderen System sind die Domänen einer thermotropen Komponente (z. B. mikrokapselte Paraffine) dauerhaft in eine Gießharzmatrix eingebettet. Gießharzschichten können auch als freitragende Platte hergestellt werden, die sich in eine Verglasung integrieren lässt. Bild 2 zeigt den thermotropen Schaltvorgang am Beispiel einer Verbundscheibe auf Gießharzbasis. Bild 3 zeigt Aufnahmen in einem 1:2,5 Skalenmodell eines Büroraumes, dessen Fassade mit thermotropen Hydrogelscheiben ausgerüstet ist.

Für den Aufbau einer Wärmeschutzverglasung kann die thermotrope Verbundscheibe mit einer niedrig emittierend beschichteten Glasscheibe kombiniert werden. Die Schalttemperatur kann bei allen Systemen durch chemische Modifikationen bei der Herstellung eingestellt werden.

Wirkung und Kennwerte: Bei phasenseparierenden thermotropen Schichten in Verbundglasscheiben ändert sich die solare Transmission etwa von 0,69 auf 0,09 und die Lichttransmission von etwa 0,88 auf 0,19. Für thermotrope Wärmeschutzverglasungen auf Polymerblend-Basis wurden g-Wert-Schaltungen bei senkrechtem Lichteinfall von 0,48 auf 0,15 und bei Einfall unter 60° von 0,35 auf 0,16 berichtet. Hydrogel-Systeme zeigen etwas höhere Schalthebe. Verbundscheiben auf Gießharzbasis reduzieren die solare Transmission

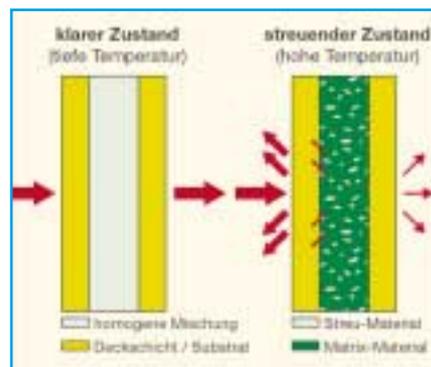


Bild: Fraunhofer ISE

Bild 1: Schaltprinzip einer phasenseparierenden thermotropen Schicht. Bei Schichten auf Gießharz-Basis sind die Domänen aus Streu-Material (wie im Bild rechts) dauerhaft vorhanden und der Brechungsindex des Materials ändert sich sprunghaft mit der Temperatur

etwa von 0,65 auf 0,4 und die Lichttransmission von etwa 0,8 auf 0,4. Durch die Vielzahl von Ansätzen und verschiedenen Systemprototypen variieren die Kenndaten thermotroper Verglasungen beträchtlich, was bei der Diskussion jeweils zu berücksichtigen ist.

Status: Im Sommer 2002 wurden erste Pilotfassaden mit thermotropen Verglasungen ausgerüstet. Termine für eine Markteinführung thermotroper Verglasungen stehen zwar noch nicht fest, sind aber für 2003 denkbar.

Einsatz: Aufgrund fehlender Durchsicht im geschalteten Zustand eignen sich thermotrope Schichten besonders für den Einsatz im Oberlichtbereich oder für eine Integration in dauerhaft lichtstreuenden Verglasungen wie z. B. TWD. Die in Bild 3 (a–d) gezeigte Anordnung mit Hydrogel-Verbundscheiben wurde lediglich gewählt, um den Schalteffekt zu verdeutlichen.

Aus dem selben Grund bieten sich thermotrope Schichten auch für teilflächige Lösungen an, bei denen unbelegte oder ungeschaltete Bereiche die Durchsicht erhalten (Bild 3, e–h). Auch werden seit einiger Zeit thermotrope Scheiben als Lamellen oder Kombinationen von thermotropen Scheiben mit Siebdruckscheiben untersucht, bei denen sich die Schattenwürfe der Siebdruckmuster als ungeschaltete Bereiche

mit Teildurchsicht auf der thermotropen Scheibe abbilden. Auf diese Weise gibt es viele Gestaltungsmöglichkeiten mit thermotropen Schichten.

In den Übergangsjahreszeiten besteht die Gefahr, daß die thermotrope Verglasung trotz Wärmebedarf schaltet oder umgekehrt auch bei Überhitzungsgefahr zu lange transparent bleibt. Prinzipiell könnten thermotrope Schichten aktiv geschaltet werden, z. B. mit einer elektrischen Direktheizung – aus energetischen Gründen ist dies aber nicht sinnvoll.

PDLC-Verglasungen

Funktionsprinzip: Wie bei thermotropen Schichten beruht auch die Eintrübung von Polymer-dispersed liquid crystal (PDLC)-Schichten auf der Lichtstreuung an Teilchen, deren Brechungsindex sich von ihrer Umgebung unterscheidet. Die in PDLC-Schichten fein verteilten Flüssigkristalldomänen besitzen einen richtungsabhängigen (anisotropen) Brechungsindex. Ohne angelegte Spannung sind die Flüssigkristalle willkürlich orientiert und Licht wird gestreut. Wird eine elektrische Spannung angelegt (und damit ein elektrisches Feld erzeugt), so richten sich die Flüssigkristalle einheitlich aus und die Schicht wird klar, weil der Brechungsindex der Umgebung an

den der orientierten Flüssigkristalle angepaßt ist (Bild 4). Sehr hohe Transparenz wird allerdings nur senkrecht zur Schicht erzielt. Bei schrägem Lichteinfall oder schrägem Blickwinkel ist eine leichte Streuung zu beobachten.

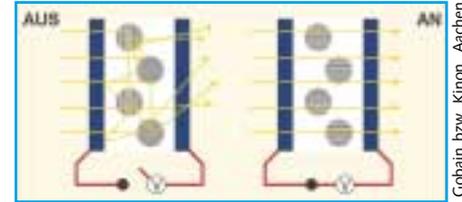


Bild 4: Funktionsprinzip einer PDLC-Schicht. Der anisotrope Brechungsindex ist durch die Schraffur angedeutet. Liegt keine orientierende Spannung an („AUS“), so wird Licht gestreut und die Schicht ist weiß eingetrübt. Der Brechungsindex in Orientierungsrichtung („AN“) ist an die Umgebung angepaßt und die Schicht ist weitgehend transparent

Bild: Saint Gobain bzw. Kinon, Aachen

Technik: Zwischen zwei leitend beschichteten Kunststoff-Folien befindet sich das optisch aktive Material (LC Film in Bild 5). In der PDLC-Verglasung ist dieser Folienverbund eingebettet zwischen zwei Glasscheiben. Für den Aufbau einer Wärmeschutzverglasung wird dieser Verbund kombiniert mit einer niedrig emittierend beschichteten Scheibe.

Wirkung und Kennwerte: Die Eintrübung von PDLC-Verglasungen bewirkt praktisch keine Änderung der Gesamt-Lichttrans-



Bild 3: a–d: Schaltvorgang einer mit thermotropen Hydrogel-Verbundscheiben ausgestatteten Bürofassade als 1:2,5 – Skalenmodell am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Herzog, TU, München. Um den Vorgang zu verdeutlichen wurde die gesamte Fassade thermotrop belegt, was in der Anwendung kaum sinnvoll ist. e–h: Andere Anordnungen: nur teilflächige Belegung klar (e) und geschaltet (f) und als auskragendes Element klar (g) und geschaltet (h)

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
Sohnreistr. 21, 37697 Lauenförde

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

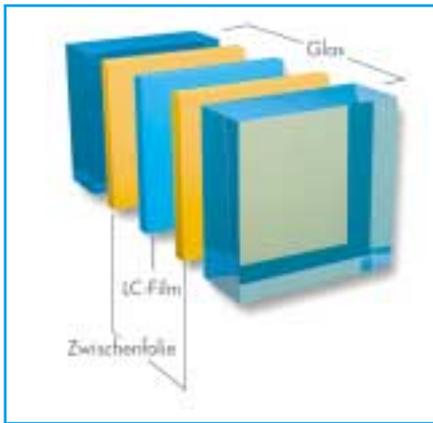


Bild: Saint Gobain, Aachen

Bild 5: Aufbau einer PDLC-Verdglasung

mission oder des g-Wertes, da lediglich zwischen gerichteter und diffuser Transmission geschaltet wird. Dies liegt am im Vergleich zu thermotropen Systemen geringeren Brechungsindexkontrast. PDLC-Verdglasungen eignen sich deswegen nicht als Sonnenschutz. Sie werden als schaltbarer Sichtschutz („Privacy Glass“) oder als zuschaltbare Projektionsfläche im Innenbereich oder an Fassaden eingesetzt.

Aus energetischer Sicht ist nachteilig, daß zur Erhaltung des klaren Zustandes eine elektrische Spannung angelegt sein muß. Dabei wird laufend Strom verbraucht.

Status: (PDLC)-Verdglasungen sind die derzeit einzigen schaltbaren Verdglasungen, die schon in Formaten für die Architektur marktverfügbar sind.

SPD-Verdglasungen

Funktionsprinzip: Das Funktionsprinzip von sogenannten Suspended Particle Devices (SPD) ist dem der PDLC-Systeme sehr ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß hier die ausgerichteten Teilchen in einer Richtung stark absorbieren und dadurch die Scheibe im ausgeschalteten Zustand stark abdunkelt (Bild 7).



Bild: Research Frontiers Inc., N.Y.

Bild 7: Suspended Particle Device (SPD)-Verdglasung. Links: aus/dunkel, rechts: an/hell

Technik: Der Schichtaufbau entspricht dem einer PDLC-Verdglasung (Bild 5), wobei jetzt anstelle des LC-Films der SPD-Film eingefügt ist (Bild 6).

Wirkung und Kennwerte: Je nach Ausführung kann die solare Transmission zwischen 20 und 60 %, zwischen 10 und 50 % oder zwischen 0,1 und 10 % geschaltet werden. Damit sind solche Systeme als Sonnenschutzverdglasung geeignet.

Status: Mehrere Verdglasungsunternehmen haben eine SPD-Lizenz erworben. Derzeit ist noch kein Architekturglas-Produkt marktverfügbar.

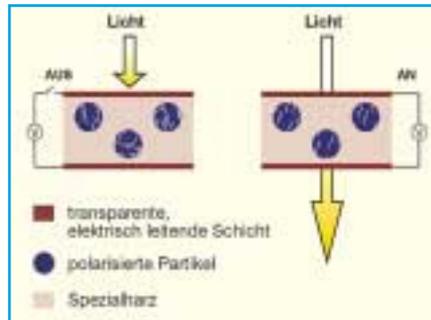


Bild: Hanglas

Bild 6: Funktionsprinzip einer SPD-Verdglasung. Bei Anlegen einer Spannung werden die Teilchen orientiert und die Scheibe wird transparent

Schaltbare Spiegel

Funktionsprinzip: Ähnlich wie gasochrome Schichten können auch Schichten auf Metallhydridbasis durch Kontakt mit Wasserstoffgas geschaltet werden. Daher auch die englische Kurzbezeichnung „Hydrogen Switchable Mirrors (HYSWIM)“. Sie zeigen bei zunehmender Wasserstoffkonzentration einen Übergang von einem metallisch spiegelnden Zustand mit ca. 70 % Reflexion in einen transparenten Halbleiterzustand mit ca. 70 % Transmission. Während die in Bild 8 gezeigte Probe im transparenten Zustand eine Restfärbung aufweist, wurden

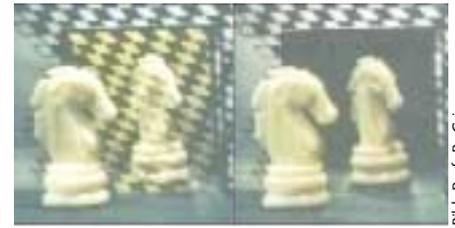


Bild: Prof. R. Griesen, Vrije Univ. Amsterdam

Bild 8: Kleines Muster eines durch Wasserstoff geschaltbaren Spiegels

auch schon farbneutrale Schichten demonstriert, die außerdem einen stark absorbierenden Zwischenzustand aufweisen.

Wirkung: Schaltbare Spiegel sind für eine großflächige Anwendung in Fassaden trotz ihres großen Schalthubes kritisch einzustufen, da mit der starken metallisch spiegelnden Reflexion eine starke Außenblendung verbunden ist. Daher sind vor allem Anwendungen denkbar, in denen die optische Schaltung mit einer Lichtumlenkfunktion kombiniert wird.

Status: Die Schichten werden in Grundlagenarbeiten intensiv untersucht. Eine großflächige Anwendung für Gebäudefassaden ist mittelfristig nicht zu erwarten.

Weitere Ansätze

In lichtlenkenden Verdglasungen oder Scheiben mit prismatischen Elementen kann der saisonal variierende Sonnenstand ausgenutzt werden, um einen saisonalen Sonnenschutz durch Ablenkung von direkter Strahlung zu erreichen. Allerdings besteht bei diesen Systemen ebenso wie bei elektrochromen oder gasochromen Verdglasungen die Gefahr, daß zwar ein ausreichender Sonnenschutz, aber kein befriedigender Blendschutz erreicht wird.

Neuerdings werden Systeme untersucht, in denen eine lichtlenkende Reflektorstruktur, die als Mikrostruktur in den Glasverbund integriert wird, mit schaltbaren Schichten kombiniert wird. Dies macht die Verdglasung in der Anwendung flexibler und birgt das Potential, neben dem Sonnenschutz auch einen ausreichenden Blendschutz gewährleisten zu können. Diese Arbeiten befinden sich allerdings noch im Grundlagenstadium und mit Architekturglasprodukten ist mittelfristig nicht zu rechnen.

Ausblick

Schaltbare Verdglasungen versprechen eine bedarfsgerechte Regelung des Energie- und Lichteintrages in Gebäude und eröffnen damit neue Möglichkeiten in der Architektur.



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*

Die thermischen Eigenschaften moderner Verglasungen erlauben in unseren Breiten einen großflächigen Einsatz von Glas in der Architektur. Während in der Vergangenheit der winterliche Wärmeschutz maßgeblich für den Energiebedarf war, tritt insbesondere im Nicht-Wohnungsbau der sommerliche Wärmeschutz zunehmend in den Vordergrund. Konkurrierende oder zeitlich

variierende Anforderungen bezüglich Tageslichtversorgung, Blendschutz und thermischem Komfort können mit statischen Verglasungen nicht bedient werden. Hier besitzen schaltbare Verglasungen das Potential, solare Energiegewinne nutzbar zu machen, Räume bedarfsgerecht mit Tageslicht zu versorgen und gleichzeitig unkomfortable Raumtemperaturen und Blendung zu vermeiden.

Seit vielen Jahren wird daher intensiv daran gearbeitet, schaltbare Verglasungen zur Regelung des Licht- und Energieeintrags in Gebäuden zur Marktreife zu bringen. Die Markteinführung einiger vielversprechender Produkte ist in den kommenden Jahren zu erwarten. Thermotrope, elektrochrome und gasochrome Verglasungen sind als großflächige Verbundscheiben und Verglasungen verfügbar und werden an Pilot- und Demonstrationsfassaden getestet. In Studien und Simulationen wurde das Potential schaltbarer Verglasungen vielfach demonstriert und die Nachfrage nach flexiblen Lösungen ist groß. Die jetzt in Kürze anste-

hende Markteinführung dieser Systeme steht allerdings unter dem Vorbehalt, daß die noch ausstehenden Prüfungen und (Praxis-)Tests erfolgreich verlaufen.

Ob schaltbare Verglasungen großflächig zum Einsatz kommen werden, wird nicht zuletzt von den Systemkosten abhängen. Den zu erwartenden hohen Kosten für schaltbare Verglasungen stehen Einsparpotentiale bei den Betriebskosten und Komfortgewinne gegenüber. Heute können hierzu noch keine definitiven Angaben gemacht werden. Planer und Architekten müssen also noch bis zur Markteinführung warten, um dann für das konkrete Objekt zu entscheiden, ob der Einsatz schaltbarer Verglasungen lohnt.

Autoren:

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