

## Schalt- und regelbare Verglasungen, Teil I

# Durchsicht per Knopfdruck

Mit einer konsequenten Tageslichtplanung kann der Energiebedarf von tagsüber genutzten Gebäuden deutlich verringert werden. Jedoch kommt es zugleich darauf an, Überhitzung und Blendung zu vermeiden. Mit schaltbaren Schichten kann – im Gegensatz zum herkömmlichen Sonnenschutz – der Strahlungsenergie- und Lichtfluß direkt in der Verglasung den klimatischen und nutzungsbedingten Anforderungen dynamisch angepaßt werden (Bild 1 und 2). Der folgende Artikel ist der Auftakt zu einer mehrteiligen „glaswelt“-Serie, die sich näher mit schaltbaren Verglasungs-Systemen befaßt.

**D**er Einfluß von Fenstern auf Raumkomfort und Energiebedarf von Gebäuden ist enorm: Mit der natürlichen Belichtung durch Fenster erhöht sich der visuelle Komfort, Fenster gewährleisten den psychologisch wichtigen Blick nach draußen und sie reduzieren den Energieaufwand für Beleuchtung und Kühlung. Wird die solare Wärme zu Heizzwecken genutzt, so kann der Heizwärmebedarf von Gebäuden weiter gesenkt werden. Fensterflächen erfordern jedoch besonders bei Bürogebäuden über einen Großteil der Nutzungszeit einen wirksamen Sonnenschutz – möglichst ohne dabei die Aussicht und das Tageslichtangebot zu sehr zu schmälern. Bei den üblichen EDV-Arbeitsplätzen in Fensternähe ist zusätzlich ein wirksamer Blendschutz notwendig.

Diese teilweise gegensätzlichen Anforderungen können mit den neuen schaltbaren und regelbaren Verglasungen besser bewältigt werden: das Schalten der Energie- und Lichtdurchlässigkeit ermöglicht – im Gegensatz zu Sonnenschutzgläsern – eine dynamische Anpassung an die jeweilige Situation. Anders als bei den meisten konventionellen Systemen können schaltbare Verglasungen auch bei Sonnenschutzfunktion eine ausreichende Tageslichtnutzung und den Blick nach draußen gewährleisten. Außerdem entfallen bewegliche, der Witterung ausgesetzte Teile.

Seit Jahren werden schaltbare Schichten für den Einsatz in der Architektur entwickelt – gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Inzwi-

schen hat eine Technologie die Marktreife erreicht, während bei anderen Systemen eine Markteinführung innerhalb der kommenden Jahre angekündigt wird. Eine Vielzahl weiterer Konzepte und Schichten wird stetig weiterentwickelt. Entwicklungsstand, Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzbedingungen der unterschiedlichen Technologien werden im Folgenden vorgestellt.

### Planung und Gebäudeintegration

Bei der Planung von Fenstern und Fassadensystemen geht es aus raumklimatischer Sicht vor allem darum, das Gebäude im Sommer gegen Überhitzung und im Winter gegen Kälte zu schützen. Zusätzlich müssen Blendeffekte vermieden werden. Und dies möglichst ohne die Nutzung von Tageslicht und solarer Wärme sowie den Blick nach draußen unnötig zu schmälern. Schaltbare und regelbare Verglasungen können hierbei insbesondere für Büro- und Verwaltungsgebäude eine wichtige Rolle einnehmen.

Zur Tageslichtnutzung sind geeignete Fensterflächen mit ausreichend hoher Lichtdurchlässigkeit notwendig. Neben den erwünschten passiv-solaren Energiegewinnen im Winter und einer ganzjährigen natürlichen Belichtung der Räume bringt dies auch Nachteile mit sich: Gefahr von Blendung oder – bei gleichzeitig hoher Energiedurchlässigkeit der Verglasung – ungemütlich hohe Raumtemperaturen im Sommer. Dies gilt insbesondere für den Nichtwohnungsbau, wo zum solaren Energieeintrag im Ge-



Bild: Hartwig, TU München/Thermotrope Gläser: Affinity Co. Ltd., Japan

**Bild 1:** Büroraum mit thermotrop schaltbarer Verglasung im Oberlichtbereich bei eben einsetzender Schaltung in den Bereichen der Verglasung, auf die direktes Sonnenlicht fällt. In dem obersten Streifen befindet sich die Verglasung im klaren, völlig ungetrübten Zustand



Bild: Hartwig, TU München/Thermotrope Gläser: Affinity Co. Ltd., Japan

**Bild 2:** Im geschalteten Zustand, wird das einfallende Sonnenlicht diffus reflektiert

bäude noch hohe thermische Lasten durch Beleuchtung und elektrische Geräte hinzukommen. Daher sind Sonnenschutzmaßnahmen notwendig.

Bislang werden zur Begrenzung des solaren Energieeintrages Sonnenschutzverglasungen oder feststehende bzw. bewegliche Verschattungseinrichtungen eingesetzt. Bei Sonnenschutzverglasungen sorgen Beschichtungen auf der Glasoberfläche dafür, daß viel sichtbares Licht, aber nur ein geringer Anteil der Energie im restlichen Sonnenspektrum ins Gebäude gelangt (Selektivität). Diese Beschichtungen sind zu allen Jahreszeiten praktisch gleichmäßig wirksam, verhindern also im Winter die Nutzung solarer Energiegewinne. Und im Sommer reicht der Sonnenschutz der Verglasung bei starker Sonneneinstrahlung nicht aus, er muß meist durch weitere Maßnahmen ergänzt werden.

Mechanische Verschattungseinrichtungen wie Jalousien, Raffstores oder Markisen erlauben eine bedarfsgerechte Regelung von Licht- und Wärmeeintrag ins Gebäude zu moderaten Kosten. Die beweglichen Teile sind jedoch anfällig gegen Störungen, was mit erhöhtem Wartungsaufwand verbunden sein kann. Schaltbare Verglasungen,



die ihre optischen Eigenschaften „auf Knopfdruck“ (aktive Systeme) oder selbsttätig (passive Systeme) ändern, haben das Potential, die genannten Nachteile der heute gängigen Systeme zu überwinden. In Bild 3 markieren die Ellipsen den Schalteffekt in den Bereichen, die durch Verglasungen mit veränderlichem Transmissionsgrad erschlossen werden sollen. Ziel ist es, bei guter Wärmedämmung, d. h. geringem U-Wert, den Gesamtenergiedurchlaßgrad g (g-Wert) in einem möglichst weiten Bereich schalten zu können.

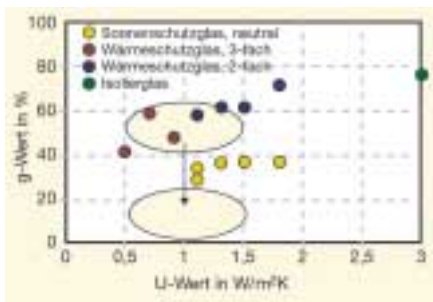


Bild: Fraunhofer ISE

**Bild 3: Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) und Gesamtenergiedurchlaßgrad (g-Wert) typischer Verglasungen – Schaltbare Verglasungen im Kontext von markt gängigen Verglasungen**

## Fenster und Arbeitsplätze

Fenster sind nicht allein gestalterisches Element in der Architektur. Sie müssen auch eine Vielzahl von z. T. gegensätzlichen Anforderungen erfüllen und besitzen insbesondere bei großflächigem Einsatz in Nichtwohngebäuden eine Schlüsselrolle hinsichtlich Nutzerkomfort und Energieverbrauch. Ein hoher thermischer und visueller Komfort sichert die Gesundheit und Produktivität der Nutzer, während die Minimierung des Energieverbrauchs für Heizung, Kühlung und Beleuchtung geringe Betriebskosten garantiert.

## Tageslicht und Energiebilanz

Das Bilanzierungsverfahren nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) liefert noch keine vollständige Energiebilanz für Gebäude. Neben dem Heizwärmebedarf müssen auch Kühlung und Beleuchtung im Detail betrachtet werden. Wenngleich der durch solare Einstrahlung verursachte Kühlenergiebedarf in der EnEV über die Anforderungen zum sommerlichen Wärmeschutz begrenzt wird, so erfolgt – wie für die Beleuchtung – keine explizite Bilanzierung dieses Energieanteils. Bezieht man ferner alle Bedarfssektoren auf den jeweiligen Primärenergieeinsatz, so wird deutlich, daß der Energiebedarf für Kühlung/Klimatisierung und Beleuchtung zusammen durchaus eine ähnliche Größenordnung erreichen kann wie der Heizwärmebedarf. Bild 4 zeigt dies für ein typisches Bürogebäude mit unterschiedlichen Wärmedämmstandards. Wird der sommerliche Wärmeschutz nicht ausreichend beachtet, kann bei großen Glasflächen der notwendige Kühlaufwand drastisch ansteigen. Der Gesamtprimärenergiekennwert wird also zur ausschlaggebenden energetischen Zielgröße für die Planung von Gebäuden.

**Bild 4: Primärenergiekennwerte von Bürogebäuden mit unterschiedlichen Energiestandards**

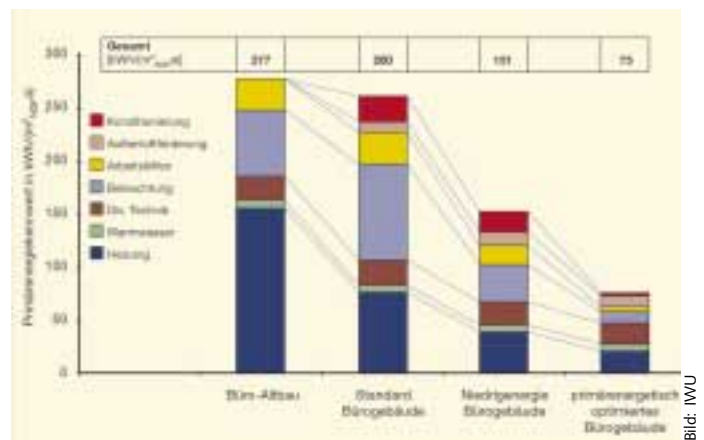


Bild: IWU

## Energieoptimierte Planung von Fenstern – relevante Aspekte

### Heiz- und Kühlenergiebedarf:

- externe und gebäudeeigene Verschattungen,
- Orientierung der Fenster,
- Verglasungsanteil an den einzelnen Fassaden
- Verglasungsqualität,
- Sonnenschutzeinrichtungen.

### Tageslichtnutzung

#### (zusätzlich zu den o. g. Punkten):

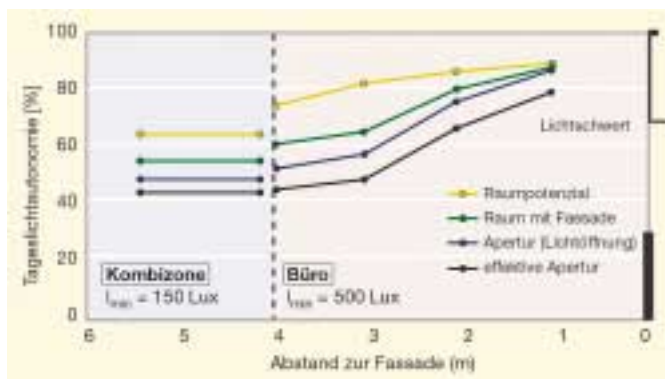
- Anordnung des/der transparenten Bauteile/s in bezug auf den Raum,
- Blendschutzeinrichtungen.

Folglich ergeben sich für unterschiedliche Gebäudenutzungen jeweils eigene Optimierungsansätze für die Verglasungen. In Wohngebäuden sind solare Energiegewinne in der Heizperiode erwünscht, um den Heizwärmebedarf zu reduzieren. Beim Passivhaus sind sie unerlässlich. Anders stellt sich die Situation in Büro- und Verwaltungsgebäuden dar, weil hier tagsüber oft



interne und solare Wärmegewinne gleichzeitig anfallen und interne Wärmelasten zu meist auch bedeutsamer sind. Solare Gewinne können hier zum Heizen nur geringfügig genutzt werden; vielmehr sorgt die Kombination innerer Wärmegewinne mit (zu hohen) solaren Gewinnen eher dafür, daß – z. T. schon an sonnenreichen Tagen in der Heizperiode – ein Überangebot an freier Wärme entsteht mit entsprechendem Bedarf an Kühlenergie. Obwohl die meisten Nichtwohngebäude hauptsächlich tagsüber genutzt werden, spielt die künstliche Beleuchtung eine wichtige Rolle in der Gesamtenergiebilanz. Dies liegt am geforderten hohen Beleuchtungs-

**Bild 5:**  
Beispiel für hohe  
Tageslichtautonomie  
(= ausreichendes  
Tageslichtangebot in  
Prozent der gesamten  
Nutzungszeit)



niveau und an dem oft durch bauliche Gegebenheiten reduzierten Tageslichtangebot in den Arbeitsbereichen. Eine konsequente Tageslichtplanung kann den Bedarf an Kunstlicht auf deutlich weniger als 50 % der Nutzungszeit im Jahr reduzieren (vgl. Bild 5). Vorteilhaft ist hierbei nicht allein der reduzierte elektrische Energiebedarf für Kunstlicht, sondern die dadurch gleichzeitig reduzierten Wärmelasten, die sonst ggf. unter Aufwendung elektrischer Energie abgeführt werden müßten.

## Verglasungsanteil

Der positive Einfluß großer Verglasungsflächen auf die Energiebilanz wird im Allgemeinen stark überschätzt. Lediglich im Wohnungsbau ist eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs mit steigender Glasfläche (an Südfassaden!) zu verzeichnen, wobei dieser Effekt bei Verglasungsanteilen von mehr als 50 % minimal wird. Bei Bürogebäuden sind die mit zunehmender Fläche anwachsenden solaren Gewinne nicht mehr nutzbar, so daß der Heizwärmebedarf aufgrund der ebenfalls steigenden Transmissionswärmeverluste mit dem Verglasungsanteil ansteigt; lediglich an Südfassaden bleibt er relativ konstant (Bild 6).

Weitaus bedeutender ist der Einfluß der Verglasungsfläche auf den Kühlenergiebedarf, der – außer an Nordfassaden – mit zunehmender Fläche stärker ansteigt als der Heizwärmebedarf (Bild 6). Auch für die Tageslichtnutzung sind keine Verbesserungen für die Gesamtausleuchtung des Raums mehr erzielbar, wenn die verglaste Fläche einer Fassade zusätzlich noch den Brüstungsbereich mit einschließt. Hier ist vielmehr eine möglichst hohe Position der Fenster in der Fassade (möglichst geringer Sturz) sowie die effektive Öffnungsfläche (Rahmenanteile, Fassadentiefe, Breite in Bezug zur Raumbreite) neben anderen Einflußgrößen entscheidend.

## Sonnenschutzverglasung

Gestalterisch gewollte größere Verglasungsanteile müssen also – insbesondere bei kritischen Orientierungen (> Osten, > Westen) – über die Verglasungseigenschaften und zusätzliche Sonnenschutzmaßnahmen kontrolliert werden. Hierzu stehen einmal Sonnenschutzverglasungen zur Verfügung, mit denen vielfältige Kombinationen von Gesamtenergiedurchlaßgrad und Lichttransmissionsgrad realisierbar sind. Allerdings geht ein hochwirksamer Sonnenschutz

( $g < 20\%$ ) deutlich zu Lasten der Tageslichtnutzung – insbesondere zu Zeiten, in denen die Sonnenschutzfunktion nicht gefragt ist. Außerdem gibt es praktisch keine solaren Wärmegevinne mehr.

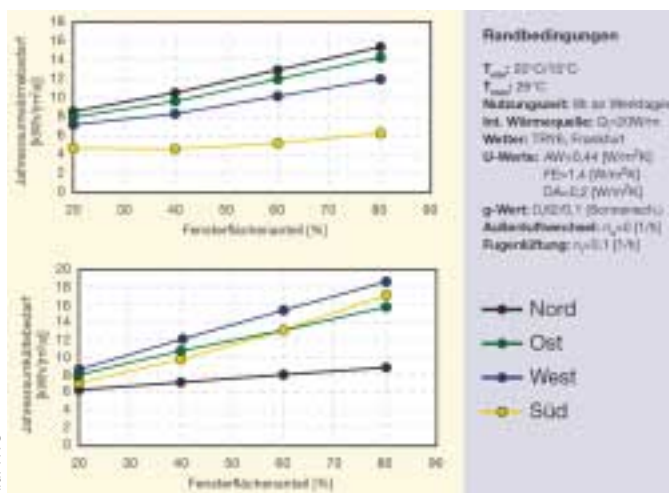
Sonnenschutzverglasungen können nur bei nördlich orientierten Fassaden als alleinige Schutzmaßnahme eingesetzt werden, wenn die Tageslichtnutzung noch gewährleistet sein soll. Bei anderen Orientierungen sind Kombinationen von Sonnenschutzverglasung und zusätzlicher Verschattung erforderlich. Ausgeprägt selektive Verglasungen (heute sind Selektivitätszahlen von bis zu 2 verfügbar) ermöglichen dabei noch eine gute Tageslichtautonomie.

## Verschattungssysteme

Der Nachteil der statischen Eigenschaften von Sonnenschutzgläsern wird durch den Einsatz von beweglichen Sonnenschutzsystemen umgangen. Außenliegende Systeme erreichen eine hohe Wirksamkeit, allerdings zunächst zu Lasten der Tageslichtnutzung und der Aussicht, die bei herkömmlichen Lamellensystemen fast vollständig unterbunden werden. Nur Jalousien mit unabhängig verstellbaren Lamellen im Überkopfbereich stellen eine geeignete Lösung für ein kombiniertes Sonnenschutz-, Blendschutz- und Tageslichtlenksystem dar. Nachteilig sind die hohen Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit – insbesondere die mechanische Stabilität bei höheren Gebäuden, die damit verbundene Investitionskosten sowie der bei beweglichen Systemen immer entstehende Wartungs- und Reparaturaufwand. Hinzu kommen in der Praxis oft nicht optimierte optische Kennwerte der Oberflächen hinsichtlich des Energie- und Lichtflusses bzw. der Außenblendung. Systeme innerhalb von Verglasungen und insbesondere innenliegende Sonnenschutzanlagen weisen deutlich höhere  $g$ -Werte auf und sind damit weniger effektiv.

## Richtungsselektive Systeme

Eine weitere Möglichkeit des Sonnenschutzes bieten richtungsselektive Verglasungen (und auch Lamellensysteme > Retrolamelle), die über einen bestimmten Winkelbereich das direkt einfallende Sonnenlicht ausblenden und lediglich diffuse Strahlung durchlassen. Je nach Struktur wird eine saisonale oder ganzjährig wirksame Richtungsselektivität erzielt. Bei bedecktem Himmel wird das Tageslichtangebot im Raum gegenüber einer klaren Verglasung allerdings deutlich reduziert. Der



**Bild 6:**  
Jahreswärmebedarf  
(oben) und Jahreskältebedarf  
(unten)  
eines Büroraums in  
einem Niedrigenergie-  
Bürogebäude für  
unterschiedlich  
ausgerichtete Fenster-  
flächen – ohne  
Berücksichtigung des  
Außenluftwechsels

Bild: IWU

Blick nach draußen ist meist nur für bestimmte Blickwinkel gegeben. Kritisch ist z. T. – wie beim außenliegenden Sonnenschutz – die Außenblendung durch verspiegelte oder stark reflektierende Flächen.

## Schaltbare Verglasungen

Mit schaltbaren Verglasungen können die Nachteile der statischen und der beweglichen Systeme zum großen Teil verringert oder ganz eliminiert werden. Maßgeblich aus energetischer Sicht ist ein geeigneter Schalhub für Gesamtenergiedurchlaß und Lichttransmission. Im geschalteten Zustand erreichen einige der bislang entwickelten Schichten g-Werte, die einen ausreichenden alleinigen Sonnenschutz für sehr viele Anwendungsfälle garantieren (Bild 7). Der sich im geschalteten Zustand einstellende Lichttransmissionsgrad von etwa 0,15 (elektrochrome und gasochrome Schichten) bis 0,19 (thermotrope Schichten) ist zwar bei direkter Sonneneinstrahlung für die Tageslichtversorgung von Arbeitsplätzen in Raumtiefen von bis zu 5 m und damit für typische Büroräume meist ausreichend. Für fensternahe Arbeitsplätze ist jedoch ein zusätzlicher Blendschutz vorzusehen, der die Tageslichtverteilung im Raum möglichst nicht beeinträchtigen darf (z. B. von unten nach oben zu bewegendes System). Während die relativ niedrigen g-Werte (< 0,50) einiger Systeme im ungeschalteten Zustand für Bürogebäude – insbesondere bei größeren Glasflächen – zu keiner nennenswerten Erhöhung des Heizwärmebedarfs führen, so bewirkt der im Vergleich

Insgesamt bieten schaltbare Verglasungen einen größeren gestalterischen Spielraum für verglaste Flächen – ohne bewegte Teile vor oder in einer Fassade, ohne daß der Kühlenergiebedarf des Gebäudes ansteigt. Das aktive Schalten der elektrochromen bzw. gasochromen Schichtsysteme kann entweder manuell oder automatisch in Abhängigkeit von der Einstrahlung auf die Fassade bzw. der Raumtemperatur erfolgen. Eine stufenlose Regelung ist ebenfalls möglich. Dagegen bestechen thermotrope Systeme durch ihre völlige „Autarkie“, wobei die Schalttemperatur mit der Fertigung festgelegt wird und später keine Änderung dieser Schalteigenschaft mehr möglich ist.

## Thermischer und visueller Komfort

Der thermische Komfort in der Nähe von Fenstern stellt bei kalten Außentemperaturen mit den heute verfügbaren Verglasungsqualitäten kein Problem mehr dar. Passivhaustaugliche Fenster können sogar ohne darunter positionierte Heizkörper eingebaut werden, ohne daß eine merkliche Strahlungsasymmetrie oder Zugserscheinungen auftreten. Lediglich bei raumhohen Verglasungen wird ein Heizkörper zur Kompensation der abfallenden Kaltluft benötigt. Im Sommer allerdings können Funktionsschichten in den Verglasungen zu hohen Oberflächentemperaturen (> 35 °C) führen, die den Aufenthalt in Fensternähe merklich beeinträchtigen. Bei den absorbierenden schaltbaren Verglasungen wird daher die Funktionsschicht idealerweise auf

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst. Der vorliegende Artikel basiert auf dem BINE-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.binde.info**

der Innenseite der Außenscheibe angebracht. Eine weitere, auf der Außenseite der raumseitigen Scheibe aufgebrachte IR-reflektierende Schicht unterbindet die Wärmestrahlung der absorbierend geschalteten Schicht nach innen. Diese zusätzliche statische Schicht garantiert auch die erforderliche Wärmeschutzfunktion (niedriger U-Wert) in der Heizperiode.

Bei außen liegenden Sonnenschutzsystemen mit hohen Reflexionsgraden ist mit keiner Beeinträchtigung des Komforts durch Wärmestrahlung an den Raum zu rechnen. Bei innen liegendem Sonnenschutz steigt die Gefahr hoher Temperaturen je nach Absorptions- und Reflexionsverhalten des Systems Sonnenschutz/Verglasung, so daß der thermische Komfort in der Regel schlechter ist.

Daneben spielt auch der visuelle Komfort in Räumen – speziell an heute fast durchweg mit Computern ausgestatteten Arbeitsplätzen – eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz und Zufriedenheit. Im Gegensatz zum thermischen Komfort gibt es bislang keine Summengröße zur Bewertung von Raumsituationen. Die wichtigsten Faktoren zeigt Bild 8.

Während mit beweglichen Sonnenschutzsystemen auch ein Blendschutz realisierbar ist, kann eine Sonnenschutzverglasung die-

| Exemplarische Kennwerte verschiedener Sonnenschutzsysteme |                              |
|---|------------------------------|
| System  | Gesamtenergiedurchlassgrad g |
| außenliegende Jalousien oder Markisen                     |                              |
| ■ Sonnenschutzverglasung                                  | 0,36 / 0,13                  |
| ■ Wärmeschutzverglasung                                   | 0,58 / 0,20                  |
| zwischen den Scheiben liegende Jalousien oder Rollläden   |                              |
| ■ Sonnenschutzverglasung                                  | 0,36 / 0,18                  |
| ■ Wärmeschutzverglasung                                   | 0,58 / 0,29 ... 0,65 / 0,07  |
| innenliegende Jalousien oder Rollläden                    |                              |
| ■ Sonnenschutzverglasung                                  | 0,36 / 0,29                  |
| ■ Wärmeschutzverglasung                                   | 0,58 / 0,46                  |
| elektrochrome Verglasung                                  | 0,36 / 0,12                  |
| gasochrome Verglasung                                     | 0,50 / 0,15                  |
| thermotrope Verglasung                                    | 0,48 / 0,15                  |

**Bild 7:** Schaltbare Verglasungen im Vergleich mit klassischen Sonnenschutzsystemen

zu normalen Wärmeschutzverglasungen momentan noch geringere Lichttransmissionsgrad von durchsichtigen schaltbaren Verglasungen einen erhöhten Kunstlichtbedarf im Winterhalbjahr (ähnlich wie bei Sonnenschutzverglasungen).

**Bild 8:** Kriterien der Bewertung von Raumsituationen und damit für Sonnen- und Blendschutzsysteme

| Bewertung von Raumsituationen                       |  |
|---|--|
| Kriterium   | Bemessungsgröße  |
| Aussicht nach draußen (Außenbezug)                  |  |
| Tageslichtangebot im Raum                           | Tageslichtquotient, Beleuchtungsstärke (jeweils Absolutwerte an bestimmten Stellen im Raum und deren Verteilung) |
| ■ bei bedecktem Himmel                              |  |
| ■ mit direkter Sonneneinstrahlung                   |  |
| Blendungsvermeidung                                 | Leuchtdichte von Flächen im nahen und fernem Gesichtsfeld des Nutzers  |
| Einfachheit von Sonnenschutz oder Lichtlenksystem   |  |
| Regelbarkeit Beschattungseinrichtung und Kunstlicht |  |



**Bild 9: Schaltbare Verglasung ermöglicht Diskretion auf Knopfdruck**

se Funktion nur in wenigen Fällen (nördlich orientierte Fassaden, eingefärbte Sonnenschutzgläser mit sehr geringem Lichttransmissionsgrad) mit erfüllen. Auch die schaltbaren Verglasungen besitzen im geschalteten Zustand zu hohe Lichttransmissionswerte, um bei direkt auf die Fassade scheinender Sonne einen ausreichenden Blendschutz sicherstellen zu können. Hier wären deutlich niedrigere Werte erforderlich, allerdings ohne die Durchlässigkeit im hellen Zustand zu erniedrigen (höherer Schalthub). Ansonsten muß – wie beim Sonnenschutzglas – ein zusätzliches System vorgesehen werden, das dann den Vorteil des dauernd vorhandenen Außenbezugs gegenüber dem beweglichen Sonnenschutz relativiert; auch das geringere Tageslichtangebot im Raum während des Winterhalbjahres führt zu einer Minderung des visuellen Komforts.

### Fassaden mit kombinierter Verglasung

Aufgrund der komplexen Anforderungen bzgl. Energieeintrag und Komfort ist es in vielen Fällen günstig, die hinsichtlich Tageslichtnutzung und Kühllastreduktion optimierte Fassade in mehrere Funktionsbereiche zu unterteilen. In den Fenstern mit Außenbezug können künftig schaltbare Verglasungen mit zusätzlichem inneren Blend-

schutz verwendet werden, während der Oberlichtbereich zur Verbesserung der Tageslichtnutzung bei geschaltetem Hauptfenster genutzt wird. Wegen ihrer Streuwirkung sind thermotrope Verglasungen für Oberlichter, Dächer und Solarfassaden prädestiniert, sofern keine Durchsicht erforderlich ist. Alternativ werden für thermotrope Systeme auch teilflächig belegte oder teilflächig schaltende Varianten untersucht.

### Schaltbarer Sichtkontakt und Projektionssysteme

Auch im Gebäudeinneren kann man mit schaltbarer Verglasung gestalten oder den Einblick in bestimmte Raumbereiche bei Bedarf unterbinden. Anforderungen wie Sichtkontakt oder Privatsphäre stehen im Vordergrund. Mit Verglasungen, die von transparent zu streuend schaltbar sind, können diese gegenläufigen Anforderungen je nach Situation bedient werden (Bild 9). Zudem eignen sich solche Verglasungen auch als zuschaltbare Projektionsflächen. Der Betrieb solcher Verglasungen kann aber mit einem Energieaufwand (z. B. Haltestrom in einem der Schaltzustände, typischerweise dem klaren Zustand) verbunden sein. ■

#### Autoren:

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

#### 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