

# Elektrochrome Gläser

## Neue Technologien für Elektriker

Mit der aktuellen Neuordnung der industriellen und handwerklichen Elektroberufe haben sich die Arbeitsaufgaben im Berufsfeld Elektrotechnik zwar nicht schlagartig geändert, die Berufsbezeichnungen „Elektroniker/in für Gebäude- und Infrastruktursysteme“ (Industrie) und Elektroniker/in der Fachrichtung Energie- und Gebäudetechnik (Handwerk) weisen jedoch explizit das Gebäude mit seinen Nutzern und seiner Technik als elektrotechnisches Tätigkeitsfeld aus. Dies geht einher einerseits mit einer zunehmenden Automatisierung der Gebäudetechnik, repräsentiert durch Gebäudeleittechnik, Bussysteme und eine zunehmende Anzahl und Komplexität von Regelungsgeräten und ihrer Vernetzung, andererseits mit neu auftauchenden Technologien, die im Zeichen der Zeit dynamische Eigenschaften besitzen und eine energetische (meist elektrische) und informationstechnische Integration in die Gebäudetechnik erfordern.

Die Anforderung, „Gebäude und Infrastruktursysteme nach Vorschriften, Betreibervorgaben und Nutzerwünschen“ zu betreiben, zu optimieren und die Nutzer zu beraten (vgl. BIBB 2003, S. 8) bedeutet im Endeffekt, dass es nicht nur gilt, die technischen Aspekte der Systeme und Technologien zu beherrschen, die Fachkraft muss auch ihren Einfluss auf die Nutzungsqualität des Gebäudes (z.B. Gebäudeklima, Energieverbrauch und das Wohlbefinden des Nutzers) kennen. Das gilt insbesondere für neue, dem Nutzer noch nicht vertraute Technologien, bei denen naturgemäß ein erhöhter Beratungs- und Optimierungsbedarf besteht.

Eine dieser Technologien, die sich am Übergang vom Prototypen zur möglicherweise breiten Anwendung befindet, sind die schaltbaren Verglasungen. In diesem Beitrag soll einerseits Hintergrundinformation zu dieser neuen Technologie gegeben werden, andererseits auf die Anforderungen hingewiesen werden, die an die Akteure des Berufsfelds Elektrotechnik gestellt werden.

### Hintergrund: Glas in der Architektur

Glas ist ein beliebter Baustoff: repräsentativ, haltbar, gibt einem Gebäude Charakter von außen und innen. Glas bestimmt wesentlich die Nutzungseigenschaften des Gebäudes, es versorgt den Menschen mit wichtigem Tageslicht, schafft Transparenz nach außen, gegebenenfalls im Innern und ist ein mittlerweile unverzichtbares Material für ästhetische Architektur. Glas hat zudem einen wesentlichen Einfluss auf die energetischen Eigenschaften des Gebäudes. Fenster liegen in der äußeren Gebäudehülle, damit sind ihre Eigenschaften wichtig für den winterlichen Heizwärmebedarf wie für den sommerlichen Wärmeschutz, sie erlauben passive Solarenergienutzung und können bei guter Planung durch Tageslichtnutzung dazu beitragen, den Energiebedarf für künstliche Beleuchtung zu minimieren.

Bislang mussten sich die Facharbeiter des Berufsfelds Elektrotechnik kaum je mit dem Werkstoff Glas beschäftigen, mit der neuen Technologie elektrochromer Gläser wird sich dies ändern. „Der Elektriker“ wird sich mit den Eigenschaften von Glas auskennen müssen, wenn elektrisch betriebene, schaltbare Verglasungen über die Gebäudeleittechnik angesteuert werden müssen. Deswegen werden hier kurz die wichtigsten Eigenschaften von Glas angesprochen, bevor sich der Beitrag ausführlicher den elektrochromen Gläsern widmet.

Die Wärmeübertragung durch Glas ist größer als durch eine gut gedämmte Wand. Zum Vergleich: eine gut gedämmte Wand hat einen  $u$ -Wert (Wärmedurchgangskoeffizient, früher  $k$ -Wert) von  $0,2 \dots 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , die besten derzeit hergestellten Architekturgläser kommen auf einen  $u$ -Wert von  $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ , wobei der zur Zeit eingebaute Standard zwischen  $1,1$  und  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  liegt. Demgegenüber kann durch Glas Solarstrahlung (Wärme) ins Gebäude eindringen. Diese Wärmestrahlung nutzt man gern bei niedrigen Außentemperaturen, bei heißem Wetter kann sie dagegen zur Überhitzung des Gebäudes beitragen, wenn keine entsprechenden mechanischen Sonnenschutzeinrichtungen vorhanden sind.

Tageslichtbeleuchtung in Büros wird von den meisten Menschen als angenehmer empfunden als Kunstlicht, auch weil sie mit einer größeren Transparenz zur Außenwelt einhergeht. Tageslicht hat aber die un-

angenehme Eigenschaft, dass abhängig von Jahreszeit, Tageszeit und Wetter sehr unterschiedliche Beleuchtungsstärken zur Verfügung stehen. Technisch ist es aufwändig, unter dem Einfluss von Tageslicht immer die geeignete Beleuchtungssituationen herzustellen (vgl. z.B. Jakobiak 2000). Was unter Verwendung von Kunstlicht durch zu- und wegschalten einzelner Leuchten oder durch dimmen erreicht werden kann, muss bei Tageslicht mit Blendschutz- und/oder Lichtlenkeinrichtungen realisiert werden. So führt die Berücksichtigung von lichttechnische Vorschriften (DIN5034, BildscharbV 1996 usw.) in der Regel dazu, dass weder auf künstliche Beleuchtung noch auf mechanischen Sonnen- und Blendschutz verzichtet werden kann.

Alle Nutzung von Glas am Bau erfordert Kompromisse zwischen den verschiedenen Zielstellungen Tageslichtnutzung, Wärme- und Kälteschutz, angemessene Baukosten und architektonischer Anspruch. Während der Planung eines Gebäudes können Parameter wie z.B. das Flächenverhältnis zwischen Fenster und Mauerwerk angepasst werden, sie lassen sich während des Gebäudebetriebs aber nur schwer verändern. Um die solare Einstrahlung in das Innere zu vermindern, werden Fensterläden, Jalousien und Markisen eingesetzt, diese haben aber immer mechanische Elemente, die verhältnismäßig kurzlebig, fehleranfällig und wartungsintensiv sind. Als Alternative wird seit Jahren an Gläsern geforscht, um ihre physikalischen Eigenschaften an den momentanen Bedarf anpassen zu können (vgl. Granqvist 1998, Rauh 1999, Nitz/Wagner 2002). Inzwischen hat eine Technologie, die der elektrochromen Gläser, die Marktreife erreicht, während bei anderen Systemen eine Markteinführung innerhalb der kommenden Jahre angekündigt wird.

## **Technik elektrochromer Gläser**

Das elektrochrome Prinzip ist schon einige Zeit bekannt (Monk u.a. 1995): Glas oder auch Spiegelglas wird mit einem funktionalen Schichtverbund versehen. Wird innerhalb dieses Schichtverbundes die elektrische Ladung verschoben, was natürlich am besten durch das Anlegen einer geeigneten Spannung erfolgt, ändern sich die optischen Eigenschaften dieses Verbundes. Schon geraume Zeit wird dieser Effekt für elektrisch abblendbare Rückspiegel in Automobilen der höheren Preisklassen genutzt, oder auch für großformatige Anzeigetafeln, wie z.B. auf dem Tokyoter Flughafen.

Bis vor wenigen Jahren war die Nutzung dieses Effekts für Architekturgläser Zukunftsmusik, obwohl auch für diese Anwendung schon Jahrzehnte lang geforscht worden war. Schleichwerbung soll keine gemacht werden, trotzdem müssen Ross und Reiter genannt werden. Der Glashersteller Flabeg, damals noch Teil des internationalen Konzerns Pilkington plc., wagte sich, unterstützt durch Gelder aus EU-, Bundes- und Landesförderprogrammen an die riskante und aufwändige kommerzielle Entwicklung. Flabeg, mittlerweile wieder selbständig, brachte die Gläser im Jahr 1999 auf den Markt und ist immer noch der einzige Anbieter elektrochromer Architekturgläser.

### **Aufbau und Funktion**

Elektrochrome Scheiben werden standardmäßig als Isolierglas angeboten. Auf die Innenscheibe aus Floatglas folgt der mit Edelgas gefüllte Scheibenzwischenraum. Außen befindet sich der elektrochrome Verbund, der aus zwei weiteren Floatglasscheiben mit der dazwischen liegenden funktionalen Schicht besteht (vergleiche Abbildung 1). Der Standardglasaufbau hat eine Dicke von 29 mm. Falls besondere mechanische Stabilität erforderlich ist, können die einzelnen Scheiben auch anders ausgeführt werden. Für Überkopfverglasungen ist es z.B. notwendig, die Innenscheibe als Verbundglas auszuführen (zwei dickere Scheiben mit dazwischen liegender reißfester Folie). Soll die Scheibe betretbar sein, wird außen auf den Verbund Einscheiben-Sicherheitsglas mit einer Dicke von mindestens 10 mm aufgebracht.

Doch nun zur elektrochromen Funktion. Der Aufbau der funktionalen Schicht ist in Abbildung 2 dargestellt. In der Mitte des Aufbaus befindet sich eine leitfähige, transparente Polymerfolie, die die Wolframoxid enthaltende Elektrode von der Lithiumionen enthaltenden Gegenelektrode trennt. Alles liegt zwischen 2 leitfähig beschichteten Floatglasscheiben, an denen die elektrischen Anschlüsse montiert sind.

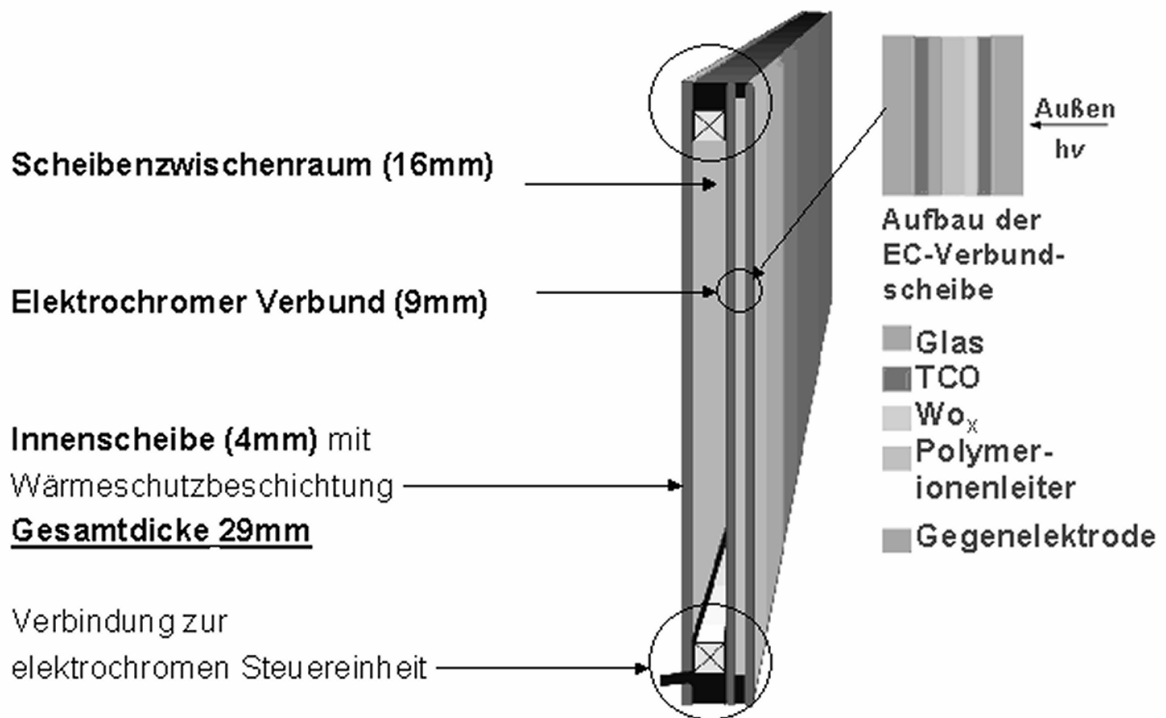


Abbildung 1: Aufbau einer elektrochromen Isolierglasscheibe (Quelle: Flabeg).

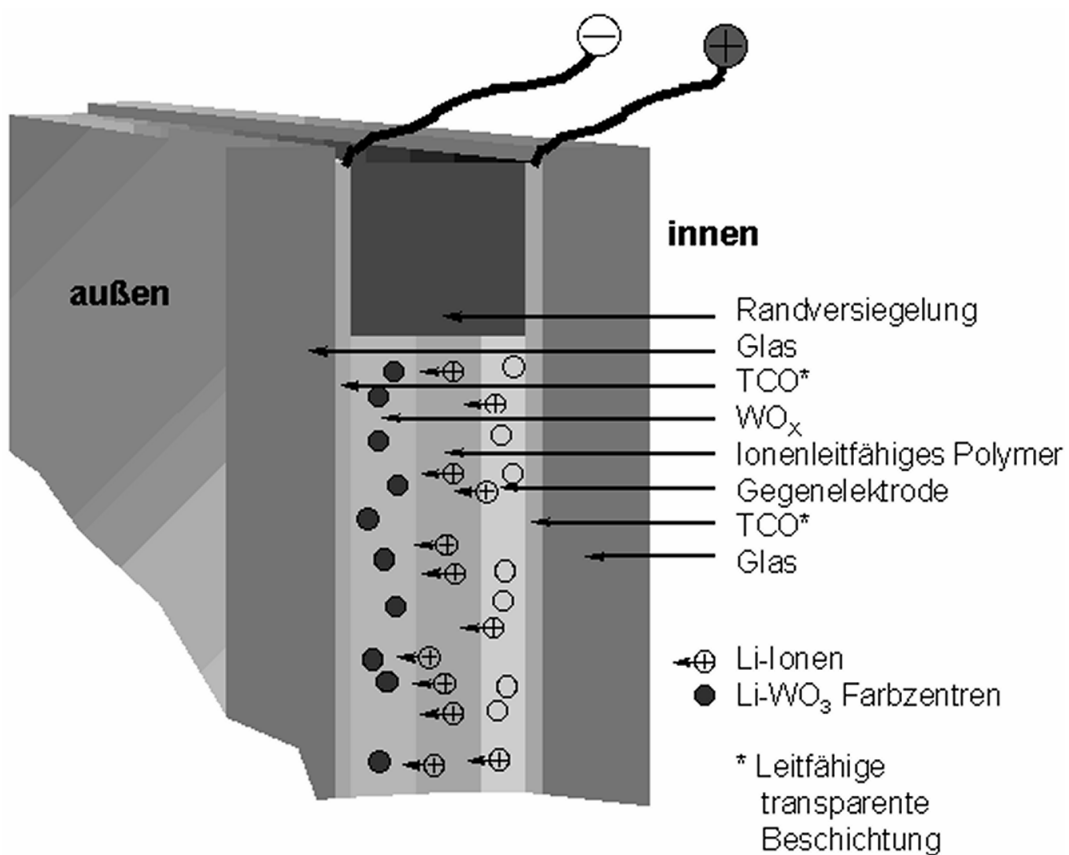


Abbildung 2: Aufbau der elektrochromen Schicht (Quelle: Flabeg)

Wie die einzelnen Schichten genau aufgebaut sind, gibt der Hersteller natürlich nicht bekannt. Wenn aber zwischen Gegenelektrode und Elektrode (siehe Abbildungen 1 und 2) eine positive Spannung in der Größenordnung von 3 V angelegt wird, wandern Li-Ionen durch das ionenleitfähige Polymer in die Elektrode und bilden dort mit dem Wolframoxid ( $\text{WO}_x$ )  $\text{LiWO}_3$ -Farbzentren, die einfallendes Licht absorbieren bzw. zu einem kleinen Teil auch reflektieren. Wird danach eine umgekehrte Spannung angelegt, lösen sich die Farbzentren auf, die Li-Ionen wandern zurück in die Gegenelektrode und der Verbund entfärbt sich wieder.

Die ablaufenden Vorgänge sind vergleichbar mit denen beim Laden und Entladen eines Akkumulators. Entsprechend können bei falsch gesteuertem Ladungsfluss Memory-Effekte auftreten und bei Überladung die Elektroden zerstört werden. Daher wird für jede einzelne Scheibe ein Controller mitgeliefert, der eine ordnungsgemäße Ladung und Entladung sicherstellt. Je nach Größe der Scheibe kann ein kompletter Umfärbvorgang bis zu 15 Minuten dauern, da einerseits für einen über die ganze Scheibenfläche gleichmäßigen Ladungsfluss gesorgt werden muss, um unschönen örtlichen Farbgradienten zu vermeiden, und andererseits der Ladungsfluss nicht so groß sein darf, dass sich in der Wolframoxidschicht irreversible Veränderungen ergeben.

Zu jeder Scheibe wird ein eigener Scheibencontroller mitgeliefert. Über diesen Controller können manuell fünf verschiedene Verdunklungsstufen angefahren oder, falls er über LON-Bus an einer Gebäudeleittechnik angeschlossen ist, beliebige Verdunklungszustände eingestellt werden. Der Controller sorgt daneben für die Einhaltung der zulässigen minimalen und maximalen Ladungswerte, sowie für eine optimale Ladungsgeschwindigkeit, die unter anderem von der augenblicklichen Scheibentemperatur abhängt.

### Physikalische Eigenschaften

Wie jedes Glas absorbieren elektrochrome Scheiben Licht. Jedes Glas für sich absorbiert Anteile des durchfallenden Lichts, ebenso die elektrochrome Schicht. Abbildung 3 zeigt das Transmissionsspektrum einer elektrochromen Scheibe im Standardaufbau. Besitzt die Scheibe einen abweichenden Aufbau, z.B. zusätzliche Glasschichten, weicht das Transmissionsspektrum natürlich entsprechend ab.

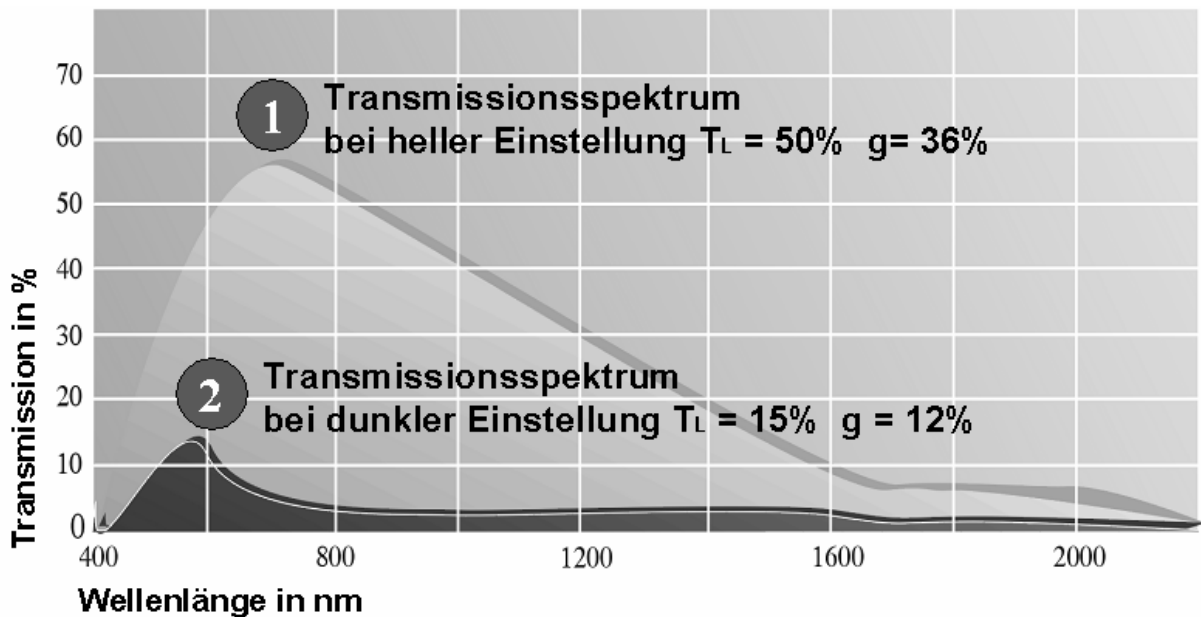


Abbildung 3: Transmissionsspektrum eines Elektrochromen Glases im Standardaufbau (Quelle: Flabeg)

Der selektive Verlauf des Spektrums über der Wellenlänge des Lichts wird hauptsächlich durch die elektrochrome Schicht verursacht. Im maximal lichtdurchlässigen Zustand (Kurve 1) liegt das Maximum der Transmission bei einer Wellenlänge von etwa 710 nm, was einer leicht grünlichen Färbung entspricht. Von der sichtbaren Strahlung (im Bereich von 380 nm bis 780 nm) werden maximal 50% durchgelassen (dies wird durch den  $T_L$ -Wert angegeben), der Gesamtenergiedurchlassgrad beträgt maximal 36% (g-Wert). Im maximal abgedunkelten Zustand liegt das Transmissionsmaximum bei etwa 550 nm, wobei ein blauer Farbeindruck entsteht. Hier werden weniger als 15% des sichtbaren Lichts und nur etwa 12% der Strahlungsenergie durchgelassen.

Die absorbierte Sonnenstrahlung wird in der elektrochromen Schicht in Wärme umgesetzt. Dies sind in unseren Breiten im Extremfall 88% von gut 1 kW/m<sup>2</sup>. Kein Wunder, dass sich der Scheibenverbund entsprechend erwärmt. Daher ist die elektrochrome Schicht in der Außenschicht des Isolierglasverbundes integriert (siehe Abbildung 1), das gewährleistet die konvektive Abfuhr der Wärmeenergie an die Außenluft.

Trotzdem kann der äußere Scheibenverbund bei maximaler Einfärbung und maximaler Sonneneinstrahlung (entsprechende Windstille vorausgesetzt) leicht Temperaturen über 60°C erreichen. Dies stellt ein gewisses Problem dar, da Temperaturgradienten über 30 K, egal ob zeitlich oder räumlich, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens thermischer Glasbrüche extrem erhöht. Dies birgt einerseits ein gewisses Risiko bei extremen Witterungsverhältnissen wie z.B. Gewitterregen im Sommer oder teilweiser Schneebedeckung bei wolkenlosem Himmel im Winter mit sich. Andererseits muss darauf geachtet werden, dass sich keine zu großen räumlichen Temperaturgradienten zwischen Scheibenmitte und Scheibenrand ausbilden. Das stellt Anforderungen an die Rahmenauswahl wie an die Art der Montage in den Rahmen.

### **Ökonomische Eigenschaften**

Wie man sich leicht vorstellen kann, sind elektrochrome Scheiben deutlich teurer als konventionelles Wärmeschutzglas. Dies ist hauptsächlich in der Kleinserienfertigung begründet. Zahlreiche Herstellungsschritte erfolgen noch in Handarbeit. Allerdings sind verglichen mit „normalem“ Wärmeschutzglas zusätzliche Herstellungsschritte sowie elektrische und elektronische Komponenten nötig, die auch bei weitgehend automatischer Fertigung zusätzliche Kosten verursachen dürften. Wahrscheinlich tragen auch aufwändige Betreuungsleistungen seitens des Herstellers gegenüber den Kunden zu den hohen Kosten bei, die dadurch notwendig sind, dass das komplexe Produkt noch nicht sehr breit am Markt eingeführt ist und Planer und Installateure noch kaum Erfahrungen damit haben.

Für Bauherren und Architekten haben elektrochrome Gläser ökonomisch recht reizvolle Eigenschaften. Aufgrund der Verdunklungsmöglichkeit des Glases kann fast immer auf außen liegenden Sonnenschutz verzichtet werden. Dadurch entfallen Investitionen beim Bau und Wartungskosten im Betrieb. Die Verdunklung der Scheiben kann theoretisch an die Intensität der Sonneneinstrahlung und den energetischen Zustand des Gebäudes angepasst werden, so dass immer der optimale Betrag solarer Energie ins Gebäude eindringen kann. Auf diese Weise lassen sich Kühl- und Heizwärmebedarf und die Auslegungsleistung der Anlagentechnik optimieren. Doch Vorsicht: momentan gibt es weder umfassende Untersuchungen, wie viel Energie und wie viel Anlagentechnik eingespart werden kann, noch existieren ausgereiften Regelungskonzepte, von Erfahrungen mit der Reaktion der Nutzer auf einen energieoptimalen Betrieb elektrochromer Verglasungen ganz zu schweigen.

### **Elektrochrome Gläser in der Anwendung**

Noch gibt es nicht sehr viele Anwendungsbeispiele, die studiert werden könnten. FLABEG nennt einige in einer Informationsbroschüre auf der Firmenhomepage ([www.flabeg.com](http://www.flabeg.com)). Die Anwendung mit der größten bislang installierten Glasfläche ist in Bremen zu besichtigen (siehe Abschnitt Realisierungen). Herauszustellen ist aber, dass der Einsatz elektrochromer Verglasungen gut geplant sein möchte. Schließlich liegt der Quadratmeterpreis dieser Verglasungen grob beim dreifachen herkömmlicher Wärmeschutzverglasungen. Dabei bestehen besondere Anforderungen in allen Phasen der Nutzung, von der Planung, über Einbau und Installation bis zum Betrieb. Auf diese Anforderungen wird in den nächsten Abschnitten eingegangen.

#### **Planung**

Das neue Material eröffnet Freiräume für die architektonische und die energetische Planung von Gebäuden, wie weiter oben schon angesprochen. Die Auslegung von Klimatisierungs- und Beleuchtungskonzepten kann jedoch nur eingeschränkt nach bisher bekannten Konzepten erfolgen, da diese die neuen Möglichkeiten nicht berücksichtigen. Weil die entsprechenden Erfahrungen in der Praxis noch nicht vorliegen, muss auf andere Mittel zurückgegriffen werden, um die zukünftigen Eigenschaften des geplanten Gebäudes beurteilen zu können. Gebäudesimulationen sind angesagt, wie sie schon vielfältig, aber eben noch nicht standardmäßig bei der Planung verwendet werden. Ein kleiner Pferdefuß: die gängigen Simulationsprogramme erlauben noch nicht standardmäßig die Berücksichtigung steuerbarer Verglasungen. Die Bereitstellung dieser Funktionalität kann im Einzelfall relativ aufwändig sein.

## **Einbau und Installation**

Auch für die ausführenden Gewerke stellen sich ungewohnte Aufgaben. Der elektrische Anschluss der Scheiben fällt normalerweise nicht in den Zuständigkeitsbereich des Dachbauers und der Elektriker hat sich im Dachbereich i.d.R. Blitzschutzanlage und Antenne zu kümmern. Bei Anschluss der Scheiben an die Gebäudeleittechnik treten zwei weitere Probleme auf: Das zu verwendende Bussystem LON ist noch nicht sehr verbreitet, viele Lieferanten von Leittechnik haben nur eingeschränktes Know-how in diesem Bereich. Zusätzlich müssen die zur Controlleransteuerung notwendigen Algorithmen und Protokolle von Fall zu Fall entwickelt und implementiert werden, da die Leitsysteme diese bislang noch nicht standardmäßig zur Verfügung stellen.

Der eigentliche Einbau der Scheiben, deren Handling und auch der elektrische Anschluss erfordern besondere Sorgfalt. Schon die aller kleinste Kantenverletzung kann wegen der relativ hohen Temperaturen der Scheiben zu Glasbruch führen. Ähnlich verhält es sich, wenn die Scheiben nicht absolut frei von mechanischen Spannungen eingebaut werden. Für die thermische Ausdehnung, die bei Floatglas erstaunlich groß ist, muss ausreichend Platz vorhanden sein. Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass die elektrischen Anschlüsse nicht versehentlich oder später durch thermische Ausdehnung beschädigt sondern ordnungsgemäß installiert und angeschlossen werden. Hier sind neben der fachgerechten Verlegung der Anschlüsse verschiedene Kriterien wie z.B. Leitungslängen, Übergangswiderstände etc. zu berücksichtigen, die der Glashersteller jedoch detailliert vorgibt.

## **Betrieb**

Im Betrieb stellt sich die Frage, wann die Verglasung abgedunkelt werden, wann soll sie maximal lichtdurchlässig sein soll. Wer entscheidet darüber, wann und wie die Verglasung geschaltet wird? Haben technische Erwägungen den Vorrang vor Nutzerwünschen, und wenn nicht, wie wird ein Konsens bei den Nutzern erreicht?

In der Sparkasse Rostock ist die elektrochrome Dachverglasung des Schalterraums in die Gebäudeleittechnik integriert. Sie könnte also nach energetischen Gesichtspunkten betrieben werden. Weil die Abdunklung aber einen entscheidenden Einfluss auf den Raumeindruck ausübt, der wesentlich zum Wohlbefinden der Kundschaft und vor allem der Mitarbeiter beiträgt, wurde unter Mitwirkung des Betriebsrats beschlossen, die Steuerung in menschliche Hände zu legen. Ein Mitarbeiter bzw. eine Mitarbeiterin ist folglich dafür zuständig, im Konsens mit den anderen Mitarbeitern den Verdunklungsgrad einzustellen. Ob dies positive oder negative Auswirkungen auf den Energieverbrauch des Gebäudes für Kühlung, Heizung und künstliche Beleuchtung hat, ist bisher nicht öffentlich bekannt.

Das Konzept zur Steuerung der Verglasung stellt bislang noch ein echtes Problem dar. Technische Zielsetzungen stehen häufig im Widerstreit mit den Wünschen der Gebäudenutzer, wie man dies von automatisch betriebenen Sonnenschutzeinrichtungen schon seit langem kennt (vgl. z.B. Herms u.a. 2001, Dittrich 2002). Rein technische Lösungen finden nur selten Akzeptanz bei den Nutzern des Gebäudes. Zu leicht ist es für die Menschen, sich gegenüber der Technik solidarisch zu erklären, wenn sich die technische Lösung nicht als subjektiv optimal erweist. Tatsächlich gibt es bisher noch keine durchdachten und technisch optimalen Steuerungskonzepte für solche Verglasungen. Weder der Glashersteller noch Leittechniklieferanten liefern solche Konzepte, und auch die Wissenschaft hat sich mit der Lösung des Problems noch nicht beschäftigt. Nötig wäre ein Regelungskonzept, das die Ziele eines technischen Energiemanagements und die Bedürfnisse der Nutzer integriert. Der Entwurf einer solchen Lösung erscheint als schwer zu lösende Aufgabe sofern mehrere Menschen betroffen sind, da das Spektrum der individuellen Rezeption von Lichtverhältnissen relativ groß ist. Nicht umsonst ist es mittlerweile zum Standard geworden, zumindest dem Nutzer von Büroarbeitsplätzen die Möglichkeit zu geben, die Lichtverhältnisse an seinem Arbeitsplatz selber einzustellen.

Aber selbst unter der energetischen Perspektive existieren noch keine tragfähigen Lösungen. Sicher, mit dem entsprechenden Know-how über die systematischen Zusammenhänge zwischen Energieinhalt des Gebäudes, zeitlichem Verlauf der Außentemperaturen und der Solarstrahlung, die vom Typ der Bewölkung und der Windgeschwindigkeit abhängt, könnte ein entsprechendes Regelungskonzept entworfen werden. So etwas wird für das Objekt in Bremen derzeit versucht (siehe Abschnitt 4.2). Ob dies dann allerdings auch die Ansprüche der Nutzer erfüllen kann, ist noch vollkommen offen.

## **Zusammenfassung**

Elektrochrome Gläser stellen eine der neuen Technologien dar, die im Bereich des Baus zunehmend auftreten und auch die Arbeit des Berufsfelds Elektrotechnik tangieren. Bei der Betrachtung dieser Technolo-

gie zeigt sich besonders, wie in den neu geordneten Elektroberufen übrigens auch, dass sich die Zuständigkeiten und damit die benötigten Qualifikationen auf angrenzende Bereiche ausdehnen. Das gilt auch für Bereiche, die man in früheren Jahren kaum als angrenzend definiert hätte, wie z.B. die Elektrotechnik und das Glaserhandwerk.

Die gebäudebezogenen Elektroberufe werden sich zunehmend mit den technologischen Neuerungen am Bau zu beschäftigen haben, zum einen weil die Neuerungen immer häufiger dynamische Eigenschaften haben und elektrisch ansteuerbar sind, zum anderen weil die Gebäudeleittechnik immer größere Verbreitung findet und auf dieser Basis die verschiedenen Systeme des Gebäudes integriert werden.

In Bremen ist die derzeit größte elektrochromen Glasfläche zu finden. Sie überdacht mit ihren 1200 Quadratmetern ein über 1000 m<sup>2</sup> großes Atrium und ist über LON-Bus an die Gebäudeleittechnik angeschlossen. Das ganze Gebäude mit seinen technischen Einrichtungen wird im Rahmen des Solarbau:Monitor-Programms (siehe <http://www.solarbau.de>) mit finanzieller Unterstützung des BMWi (Förderkennzeichen 0335007K) evaluiert. Für interessierte Gruppen besteht die Möglichkeit, Gebäudebesichtigungen durchzuführen, die sich thematisch auch auf weitere Gebäudetechnologien und auf architektonische Aspekte ausweiten lassen. Kontaktinformationen sind unter <http://www.ecosol.uni-bremen.de/zarm3> zu finden.

## Literatur

*BildscharbV: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung - BildscharbV)* vom 4. Dezember 1996, BGBl. I S. 1841.

Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), der Generalsekretär (Hg.) 2003: *Elektroniker/Elektronikerin für Gebäude- und Infrastruktursysteme*. [http://www.bibb.de/dokumente/pdf/a43\\_info\\_elektroniker-gebaeudesysteme.pdf](http://www.bibb.de/dokumente/pdf/a43_info_elektroniker-gebaeudesysteme.pdf), 16.8.2003.

DIN 5034: *Tageslicht in Innenräumen (Teil 1 bis 6)*. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich 1985 bis 1995.

Dittrich, J. 2002: *Arbeitsprozesswissen im Bereich der Gebäudeautomation*. In: Fischer, M./ Rauner, F.: *Lernfeld: Arbeitsprozess*. Baden-Baden, Nomos, S. 273-294.

Granqvist C.G. et al: *Recent advances in electrochromics for smart windows applications*. In: *Solar Energy* 63 (1998) S. 199-216.

Hermes, O., Ritzenhoff, P./Bräuer, L.: *Abschlussbericht zum Teil 2 des Forschungsvorhabens Solaroptimierter Neubau ECOTEC 1 und 2*. Bremen, Institut Technik und Bildung 2001.

Jakobiak, R.: *BINE ProfilInfo I/00: Tageslichtnutzung in Gebäuden*. Fachinformationszentrum Karlsruhe 2000.

Monk, P.M.S./Mortimer, R.J./Rosseinski, D.R.: *Electrochromism: Fundamentals and Applications*. VCH, Weinheim, New York, 1995.

Nitz, P./Wagner, A.: *BINE ThemenInfo I/02: Schaltbare und regelbare Verglasungen*. Fachinformationszentrum Karlsruhe 2002.

Rauh, R.D.: *Electrochromic windows: an overview*. In: *Electrochimica Acta* 44 (1999), S. 3165-3176.