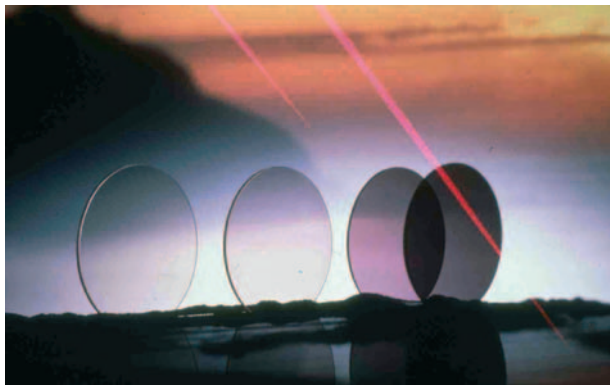


Cleveres Glas

Glasscheiben können mittlerweile mehr als einfach nur Licht durchlassen. Möglich machen das spezielle Schichten, deren Lichtdurchlässigkeit sich selbstständig regelt, um etwa einer Erwärmung oder Blendeffekten entgegenzuwirken.

Einer der vielen erstaunlichen Gimmicks in der Science Fiction-Satire „Per Anhalter durch die Galaxis“ von Douglas Adams sind Brillengläser, die sich schwarz färben,



Photochromes Glas tönt sich bei Sonneneinstrahlung von selbst und eignet sich so z. B. für Sonnenbrillen. (Foto: Schott)

wenn Gefahr im Verzug ist. Ob das besonders nützlich ist, darüber kann man geteilter Ansicht sein, aber als Schutz vor blendendem Sonnenlicht haben sich Brillengläser, die ihre Färbung je nach Lichteinfall verändern, durchaus bewährt. Auch in einigen Autotypen finden sich mittlerweile serienmäßig solche schaltbaren Verglasungen, etwa in Rückspiegeln, die sich automatisch abdunkeln, wenn das grelle Scheinwerferlicht eines von hinten herannahenden Autos auf sie fällt. Das macht insbesondere Nachtfahrten sicherer, da der Fahrer nicht mehr überraschend geblendet wird.

Mit Licht verdunkeln

Selbsttönende Gläser, wie sie in Sonnenbrillen eingesetzt werden, ändern ihre Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Intensität und der Wellenlänge des auftreffenden Lichtes. Meistens werden diese photochromen¹⁾ Gläser im Sonnenlicht grau oder braun. Ursache dafür sind winzige Silberhalogenidkristalle im Brillenglas. Die Kristalle werden in die Glasschmelze (Borosilikatglas) hinzugegeben. Nach dem Abkühlen ist das Glas hellblau und noch nicht isotrop. Das wird erst durch einen zusätzlichen Tempervorgang bei etwa 600 °C erreicht. Dauer und Temperatur der Wärmebehandlung

1) Oft spricht man auch von „phototrop“, das sich aus dem Griechischen herleitet und mit „lichtwendig“ zu übersetzen wäre.

beeinflussen die Glasfarbe, die Geschwindigkeit der photochromen Reaktion sowie den Grad der Eindunklung. UV- oder kurzwelliges sichtbares Licht bewirkt in den im Glas eingelagerten Silberhalogeniden reversible Übergänge: Die Elektronen des Halogenids lagern sich am Silberion an und reduzieren es zu metallischen Silberatomen, die das Glas einfärben und somit verdunkeln. Bei nachlassender Lichtstärke kehrt sich der Prozess um und das Glas wird wieder heller.

Mittlerweile gibt es nicht nur mineralische, sondern auch organische Kunststoffgläser, die photochrom sind. Hierfür werden Millionen von phototropen Molekülen etwa ein bis zwei Zehntel Millimeter tief in die Vorderfläche der Brillengläser eingebracht.

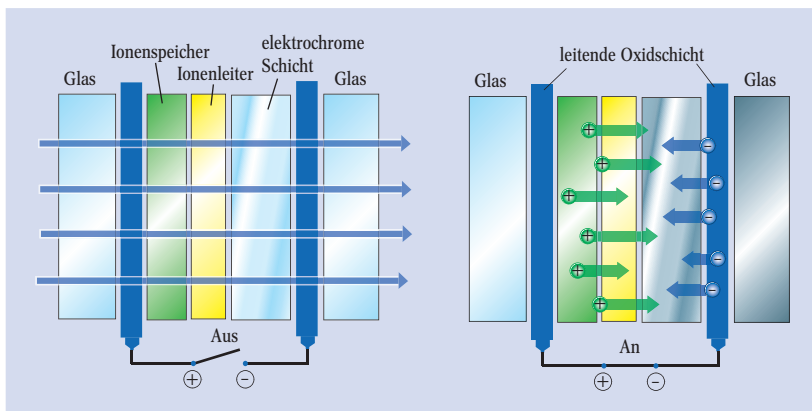
Färbende Spannung

Der sich automatisch abdunkelnde Rückspiegel reagiert nicht direkt auf das einfallende Licht. Hier misst eine Photozelle am Spiegel die Helligkeit und erzeugt ein elektrisches Signal, das dann die Lichtdurchlässigkeit des schaltbaren Spiegelglases regelt: Bei erhöhtem Lichteinfall dunkelt das Glas ab. Diese Spiegel bestehen aus zwei Glasscheiben, zwischen denen neben zwei transparenten leitenden Schichten (entweder aus Indium- oder Fluor-dotiertem Zinnoxid) die eigentlich schaltbare elektrochrome Wolframoxid-Schicht und eine Ceroxid-Titanoxid-Schicht liegen (s. Abb.). Über die Spannungsquelle werden Protonen aus der Speicherschicht durch die ionenleitende in die elektrochrome Wolframoxid-Schicht getrieben. Dort kommt es zu einer Reduktion des Wolframs, das nun

eine starke Absorption im nahen Infrarot besitzt, die bis in den sichtbaren roten Spektralbereich reicht: Die Schicht erscheint kräftig blau in der Durchsicht. Wird die Spannung ausgeschaltet, so behält die Schicht ihre Einfärbung bei. Erst eine Umkehrung der Spannung treibt die Ionen zurück in den Speicher und entfärbt die elektrochrome Schicht.

Schlaue Scheiben

Bislang findet man selbstständig schalt- und regelbare Verglasungen vor allem für kleine Flächen wie bei Brillen und Rückspiegeln. Sie eignen sich aber prinzipiell auch für großflächige Scheiben. Damit lassen sich dann so genannte Smart Windows („intelligente Fenster“) verwirklichen, die besonders im Hochsommer in Gebäuden mit großen Glasfronten eine Überhitzung der Innenräume aufgrund der erhöhten Sonneneinstrahlung mildern. Jeder kennt diesen Treibhaus-Effekt, wenn er in sein in der Sonne geparktes Auto steigt und das Gefühl hat, eine Sauna zu betreten. Denn normales Fensterglas ist transparent für Licht im sichtbaren Bereich ($\lambda_{\text{vis}} = 380$ bis 780 nm) und die sich daran anschließende kurzwellige Infrarotstrahlung, blockt aber die ultraviolette Strahlung ($\lambda_{\text{UV}} < 380$ nm) und die längerwellige Infrarotstrahlung ($\lambda_{\text{IR}} > 2500$ nm). Ein Teil der absorbierten Strahlungsenergie verbleibt also im Raum und heizt ihn dadurch auf. Dieser Effekt mag zwar im Winter willkommen sein, doch im Sommer ist die Aufheizung der Innenräume dann meist so stark, dass sie sich nur durch eine Klimatisierung mildern lässt. Daher sucht man schaltbare Verglasungen, die sich selbstständig den äußeren



In elektrochromen Schichten lassen sich die optischen Eigenschaften über eine externe Spannungsquelle verändern. Sie bestehen zumeist aus Wolframoxid und sind Teil eines Sandwich-Systems, das

aus zwei transparenten leitenden Oxidschichten, die durch eine Spannungsquelle verbunden sind, und zusätzlich einer ionenleitenden und einer ionenspeichernden Schicht aufgebaut ist.

Licht- und Temperaturverhältnissen dynamisch anpassen: Im Winter oder an trüben Tagen sollen sie das Sonnenlicht ungehindert durchlassen und im Sommer, wenn Überhitzung und Blendung drohen, einen Teil der einfallenden Strahlung aussperren. Forschungsgruppen z. B. am Fraunhoferinstitut für Solare Energiesysteme (ISE) arbeiten allerdings noch daran, die teilweise gegensätzlichen Anforderungen wie Tageslichtversorgung, Blendschutz und thermischen Komfort unter einen Hut zu bringen.

Verantwortlich für den aktiven Schaltprozess sind in die Verglasung integrierte millimeterdünne Schichten, deren optische Eigenschaften sich z. B. durch Anlegen einer äußeren Spannung oder durch die einwirkende Strahlungsintensität ändern. Je nach Schichttyp sind bei diesen intelligenten Gläsern Veränderungen zwischen „durchsichtig, klar“ und „undurchsichtig“ möglich. So gibt es elektrochromes Glas, das bei Schließen des Stromkreises tiefblau wird; die Durchsicht bleibt jedoch erhalten (s. Abb.).

Technologisch ist es sehr anspruchsvoll, solche schaltbaren Verglasungen in großen Formaten mit hoher Langzeitstabilität herzustellen. Verschiedene großflächige schaltbare Systeme, wie etwa elektrochrome Verglasungen, sind verfügbar und werden momentan in Pilotprojekten getestet, z. B. als Überkopffverglasung über dem zentralen Lesesaal der Sächsischen Landesbibliothek in Dresden.

Blauer Sonnenschutz

Photoelektrochrome Schichten kombinieren die Wirkungsmechanismen einer elektrochromen Schicht und einer elektrochemischen Solarzelle. Der Ladungstransfer findet über transparente, elektrisch leitende Schichten auf



den Glassubstraten statt. Die Schicht wird über einen externen Stromkreis geschaltet: Ist dieser geöffnet, so färbt sich die Schicht unter Bestrahlung blau ein. Das ISE arbeitet an der Entwicklung eines solchen Systems, dessen Färbezeit unabhängig von der Fläche ist und dessen Transmission auch im beleuchteten Zustand variiert werden kann. Derzeitige Muster verringern ihre Transmission unter Beleuchtung von 62 % auf weniger als 2 % und dies bei einer Schaltzeit von ca. 15 Minuten.²⁾

Auch sog. gaschrome Verglasungen zeigen im abgedunkelten Zustand eine charakteristische tiefblaue Färbung. Die optisch schaltbare Schicht besteht hier, wie auch bei elektrochromen Gläsern,

aus Wolframoxid. Die Einfärbung erfolgt aber nicht durch einen elektrischen Strom, sondern durch die Einlagerung von Wasserstoffgas. Dieses wird durch eine zusätzliche Katalysatorschicht verfügbar gemacht und kann dann im Gasspalt der Verbundscheibe in die poröse



Der Einsatz elektrochromer Fensterscheiben – hier in einem Testbüro im kalifornischen Oakland – scheitert derzeit noch an den hohen Kosten von ungefähr 1000 Euro pro Quadratmeter. (Foto: LBNL)

Wolframoxidschicht eindringen. Entfärbt wird durch Überströmen der aktiven Schicht mit Sauerstoff, wobei eine Elektronik die erforderliche Gaskonzentration steuert.

Ob die schaltbaren Verglasungen tatsächlich großflächig zum Einsatz kommen, wird nicht zuletzt von den Systemkosten abhängen: Es muss sich zeigen, ob diese neben einem Komfortgewinn tatsächlich die gewünschten Einsparpotenziale bei den Betriebskosten bringen. Architekten werden wohl noch ein wenig warten müssen, bis sie ihre Fassaden serienmäßig mit solchen „intelligenten“ Verglasungen schmücken können.

KATJA BAMMEL

2) Vgl. Physik Journal, Mai 2005, S. 16

Dr. Katja Bammel,
science & more
redaktionsbüro,
E-Mail: kb@science-
and-more.de