



Die Fassade des Konzert- und Konferenzhauses Harpa in Reykjavik funkelt dank Farbeffektglas in stetig wechselnden Farbkombinationen.

## Lichtspiele an der Fassade

Manche Glasscheiben wechseln die Farbe, wenn man sie aus einer anderen Perspektive betrachtet.

Michael Vogel

**B**ei Prestigebauten gibt es oft kontroverse Diskussionen über ihre Gestaltung und deren Preis. Das gilt auch für das Konzert- und Konferenzhaus Harpa in Reykjavik. Aus physikalischer Sicht unterscheidet sich seine Glasfassade aber von vielen ähnlich repräsentativen Bauwerken: Je nach Lichteinfall leuchten manche Fensterelemente in unterschiedlichen, intensiven Farben. Solche Lichtspiele finden sich zum Beispiel auch am Probengebäude der Bayerischen Staatsoper in München, am Luxuskaufhaus Printemps in Paris oder am Fernsehturm im turkmenischen Ashgabat. Ursache ist Farbeffektglas: Das dichroitische Fensterglas erscheint in Transmission und Reflexion in verschiedenen Farben.

An jedem Übergang zwischen optisch unterschiedlichen Medien wird ein einfallender Lichtstrahl zu einem kleinen Teil reflektiert; der Großteil geht hindurch. Eine unbeschichtete Glasplatte besitzt mit der Vorder- und Rückseite gleich zwei Grenzflächen. Bei Fensterglas sind die beiden reflektierten Teilstrahlen

aufgrund der typischen Scheibendicke nicht kohärent und interferieren daher nicht. Erst zusätzliche dünne Schichten mit geometrischen Dicken in der Größenordnung von einem Viertel der Lichtwellenlänge ( $\lambda/4$ ) sorgen für Kohärenz: Aufgebracht auf die Glasscheiben sorgen sie für eine feste Phasenbeziehung zwischen den Teilstrahlen. Die Schichten steuern gezielt, ob das reflektierte Licht wahrnehmbar ist oder nicht.

Deutlich zeigt sich das Prinzip bei entspiegeltem und verspiegeltem Glas: Entspiegeltes Glas ist so beschichtet, dass die reflektierten Lichtanteile über einen weiten Bereich des sichtbaren Spektrums destruktiv interferieren. Der Phasenunterschied beträgt  $\lambda/2$ , die Reflexion wird minimal. Bei verspiegeltem Glas interferieren die reflektierten Teilstrahlen dagegen konstruktiv, weil die Beschichtung einen Phasenunterschied von  $\lambda$  und maximale Reflexion erzeugt. Farbeffektgläser stellen eine Mischform davon dar – Reflexion und Transmission erfolgen wellenlängenselektiv.

Farbeffektgläser wirken wie optische Interferenzfilter, unterscheiden sich aber vor allem aufgrund der Herstellungskosten. Während typische Interferenzfilter einige Dutzend Quadratzentimeter groß sind, erreichen Farbeffektgläser eine Ausdehnung von einigen Quadratmetern. Zudem

arbeiten optische Filter mit bis zu hundert Schichten, um Transmission und Reflexion sehr schmalbandig einzustellen. Typische Farbeffektgläser in der Architektur kommen mit weniger als zehn Schichten aus. Der Spielraum bei der Materialwahl ist bei Farbeffektgläsern geringer, um die Kosten überschaubar zu halten. So bleiben Farbeffektgläser ein vergleichsweise hochpreisiges Nischenprodukt.

### Viele Schichten, ein Effekt

Als Basis eines Farbeffektglases dient häufig Kalknatronglas mit einem Brechungsindex von 1,52. Ein darauf aufgebracht System aus hoch- und niedrigbrechenden Materialien stellt den reflektierten und transmittierten Lichtanteil umso schmalbandiger ein, je mehr Schichten es enthält. Gleichzeitig erhöht sich mit der Anzahl der Schichten der Kontrast: Die wahrgenommene Farbe wirkt intensiver. Als Materialien kommen zum Beispiel Siliziumoxid oder Metalloxide infrage, etwa auf Basis von Titan oder Zirkon. Die Brechungsindizes betragen zwischen 1,4 und 2,2. Die erste Schicht auf dem Trägerglas ist hochbrechend und gibt die obere Grenze für die Brechungsindizes der folgenden niedrigbrechenden Schichten vor. Entscheidend ist letztlich der Unterschied zwischen den Brechungs-

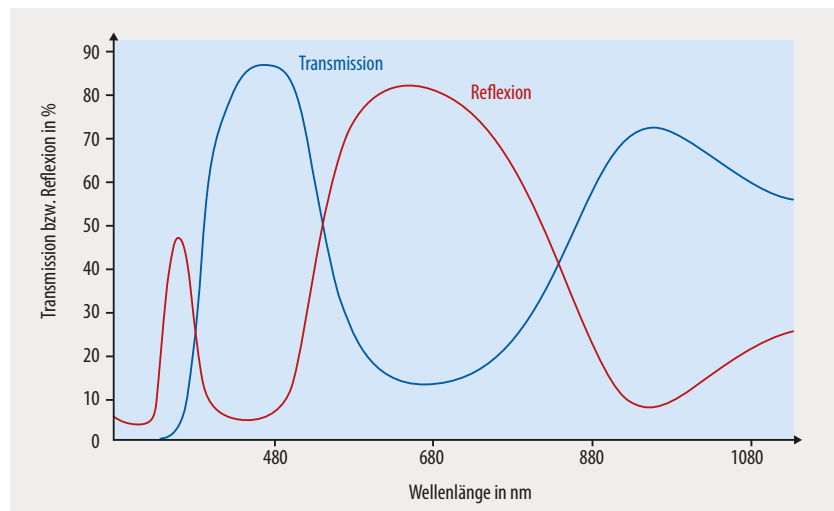


indizes zweier benachbarter Schichten. Um Kohärenz zu gewährleisten, erfordern größere Unterschiede zwischen benachbarten Brechungsindizes dünnere Schichten. Diese lassen sich meist leichter optisch homogen produzieren.

Insgesamt zeigt sich der dichroische Effekt bei den so erzeugten Gläsern anhand zweier Komplementärfarben (Abb. 1). Ist die Transmission der einen Farbe maximal, bleibt die Reflexion der Komplementärfarbe minimal – und umgekehrt. Typische Farbkombinationen sind Blau und Gelborange sowie Violett und Grün. Die Farbkontraste fallen unterschiedlich stark aus, einerseits aufgrund der gewählten Schichtmaterialien und -kombinationen, andererseits wegen der spektralen Empfindlichkeit des Auges. Diese ist im grünen Bereich maximal und lässt das Auge bei manchen Kombinationen einen intensiveren Farbkontrast wahrnehmen als bei anderen.

### Getauchtes Glas

Um die Schichten auf konventionell hergestelltem Flachglas (sog. Floatglas) aufzutragen, eignet sich die Tauchbeschichtung. Dabei wird die Glasscheibe nacheinander in alkoholbasierte Lösungen mit verschiedenen Metalloxid-Kolloiden getaucht, sodass beidseitig dieselbe Schichtfolge entsteht. Die Geschwindigkeit, mit der eine Scheibe das Bad wieder verlässt, bestimmt die Dicke der resultierenden Einzelschicht. Sie wächst mit



**Abb. 1** Für den Betrachter erscheint ein Farbeffektglas in Transmission – also bei Durchsicht – blau und in Reflexion – also bei Draufsicht – gelborange.

höherer Geschwindigkeit – wie bei einem Löffel, der in Honig getaucht ist. Nach jedem Tauchbad wird die Schicht bei Temperaturen von mehr als 400 °C eingebrannt, um alle flüchtigen Bestandteile zu entfernen. Das resultierende Farbeffektglas ist hart, kratzfest und chemisch resistent.

Dichroitisches Glas entsteht auch bei der unmittelbaren Beimischung der Metalloxide zum Glas. Ein schönes Beispiel dafür ist der Lycurgus-Kelch aus dem vierten Jahrhundert im Britischen Museum in London. Bei Tageslicht erscheint er grün, von innen beleuchtet wechselt er seine Farbe zu Rot. In der Architektur ergeben solche Beimischungen aber immense Nachteile, da zahlreiche Normen die Eigenschaften von Baumaterialien festlegen. Floatglas findet sich im

Innen- und Außenbereich, es wird als Verbund- und Isolierglas, als Sonnen- und Schallschutzglas genutzt. Für jede Anwendung existieren eigene Normen. Ein beschichtetes Farbeffektglas kommt dagegen mit relativ geringem Prüfaufwand aus, weil seine Basis aus genehmigtem Floatglas besteht.

Daher hat sich für bauliche Anwendungen die Beschichtung durchgesetzt. Doch nicht jede Glasfläche an einem Gebäude, die ihre Farbe abhängig von der Perspektive verändert, muss aus dichroitischem Glas bestehen. Manchmal sorgt ganz banal eine künstliche Beleuchtung für die Farbeffekte.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ich danke Erik Richter von der Schott AG, Mainz, für hilfreiche Erläuterungen.

# Physik Journal

Newsletter

- ▶ Online-Meldungen der Redaktion
- ▶ Neugkeiten aus der DPG
- ▶ Forschungsnachrichten
- ▶ TV-Tipps

Anmeldung unter:  
[www.dpg-physik.de/ueber-uns/mitgliedschaft/dpg-mitgliedschaft-aendern](http://www.dpg-physik.de/ueber-uns/mitgliedschaft/dpg-mitgliedschaft-aendern)