

Verglasungen mit mikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten

Peter Nitz, Benedikt Bläsi, Jörg Mick, Günther Walze, Andreas Gombert

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg

Tel.: +49 761 4588-5410, Fax: +49 761 4588-9410

E-Mail: peter.nitz@ise.fraunhofer.de

Internet: www.ise.fraunhofer.de

1. Einleitung

Architekten bauen heute hochtransparente Fassaden und beziehen Tageslicht in die Planung mit ein. Hohe Anforderungen an Energieeffizienz und Außenbezug sowie thermischen und visuellen Komfort lassen sich nur durch den differenzierten Umgang mit solarer Einstrahlung erfüllen. Dabei gilt es insbesondere, die bisweilen gegenläufigen Anforderungen an Sonnen- und Blendschutz sowie eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht bei möglichst hohem Komfort für die Nutzer eines Gebäudes zu bedienen.

Prismatisch strukturierte Lichtlenkelemente können das einfallende Sonnenlicht gezielt umlenken oder reflektieren. In Verglasungen integriert können solche Strukturen als Lichtlenkelemente oder als statisch-saisonal wirksame Sonnenschutzelemente eingesetzt werden. Aus Gründen der Material-, Gewicht- und Kostenersparnis, geringerer Absorption, eines flächig-homogenen Erscheinungsbildes sowie einer einfachen Integration in einen Glasverbund wird versucht, die Strukturen zu miniaturisieren.

Am Fraunhofer ISE werden die Anwendungsmöglichkeiten mikrostrukturierter Elemente für einen saisonalen Sonnenschutz untersucht und Strukturen für Lichtlenkelemente oder einen statisch-saisonalen Sonnenschutz entwickelt, hergestellt und optimiert. Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten wir an einer Umsetzung der Ideen in Produkte.

2. Funktionsprinzip

Licht wird in prismatischen Strukturen gezielt umgelenkt oder reflektiert, weshalb sie in Verglasungen als Lichtlenkelemente oder als statisch-saisonal wirksame Sonnenschutzelemente eingesetzt werden. Von den Lichtlenkelementen wird direktes Sonnenlicht und helles Himmelslicht in die Raumtiefe umgelenkt. Dabei ist die Funktion den typischen Einfallswinkelbereichen von direktem Sonnenlicht und Zenithimmelslicht anzupassen. Da von Oberlichtern flach nach unten transmittiertes Licht zu Blendung führen kann, wird das Licht in der Regel zur Decke hin, also in den oberen Halbraum, umgelenkt.

Durch Sonnenschutz-Strukturen wird die Direktstrahlung der hoch stehenden Sommersonne reflektiert, während Licht der tiefer stehenden Sonne im Winter und in den Übergangszeiten transmittiert wird. So werden unkomfortabel hohe Raumtemperaturen im Sommer vermieden. Im Winter tragen Licht und Wärme der Sonne zur Raumheizung bei. Die saisonale Regelung übernimmt der sich ändernde Sonnenstand. Gleichzeitig sollen die Strukturen jederzeit ausreichend diffuses Tageslicht ins Gebäude lassen. Ein nicht unbeträchtlicher Teil des transmittierten Lichtes wird auch bei den Sonnenschutz-Strukturen nach oben in die Raumtiefe umgelenkt.

Da in der Regel keine oder nur eine eingeschränkte Durchsicht durch prismatisch (mikro-)strukturierte Elemente möglich ist, eignen sich die Strukturen für den Einsatz in Bereichen, wo klare Durchsicht nicht zwingend erforderlich ist. Dazu zählen Oberlichter, Verglasungen vor transluzenten oder opaken Fassadenteilen, Verglasungen von Nutz- und Verkehrsbereichen sowie Anwendungen, bei denen die Strukturen nur teilflächig eingesetzt werden und so zwischen den strukturierten Bereichen Bereiche mit klarer Durchsicht vorliegen.

3. Strukturbeispiele - Sonnenschutz

Bei prismatisch strukturierten Elementen aus transparenten Materialien führt die extrem hohe Leuchtdichte der Sonne durch Reflexe zweiter oder höherer Ordnung zu einem hellen Streifen, der zu Blendung führen kann. Dies haben wir u.a. mittels RADIANCE-Simulationen visualisiert [1]. Bei der Brechung an Kunststoff oder Glas

wird das weiße Sonnenlicht in die Spektralfarben aufgespaltet, was zu Farbsäumen im Raum führen kann. Um einerseits die Gefahr von Blendung zu verringern und andererseits Farbeffekte abzuschwächen haben wir der Umlenkfunktion der Strukturen eine Licht streuende Funktion hinzugefügt. So wird transmittiertes Licht besser verteilt und Spektralfarben wieder zu weißem Licht vermischt.

Abb. 1 zeigt eine interferenzlithografisch hergestellte Sonnenschutzstruktur mit überlagerter Lichtstreuung, Abb. 2 die winkelabhängige Transmission einer Prototypverglasung mit einer ähnlichen Struktur im Vergleich zu einer mittels Ultrapräzisionsbearbeitung mikromechanisch hergestellten Struktur (s. Abb. 3). In den in Abb. 2 gezeigten, im Labor gefertigten Verglasungen ist keine low-e Schicht integriert.

Auch der in Abb. 3 gezeigten, diamantgeschnittenen Struktur ist eine Lichtstreuungsfunktion überlagert. Diese Struktur wurde als Folienrolle großflächig repliziert und in einem industriellen Prozess auf Glas laminiert. Abb. 4 zeigt den Transmissionsgrad einer Verglasung mit low-e-Schicht, in die eine derartige Struktur integriert ist.

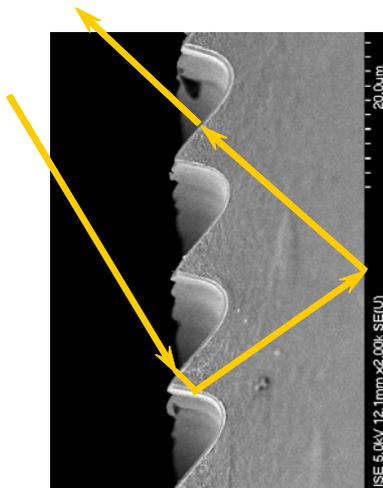


Abb. 1: Interferenzlithografisch hergestellte Mikrostruktur mit Lichtstreuung. Die Streuung wird erzielt durch eine Höhenmodulation der Prismen. Die Sonnenschutzfunktion ist durch Pfeile schematisch angedeutet.

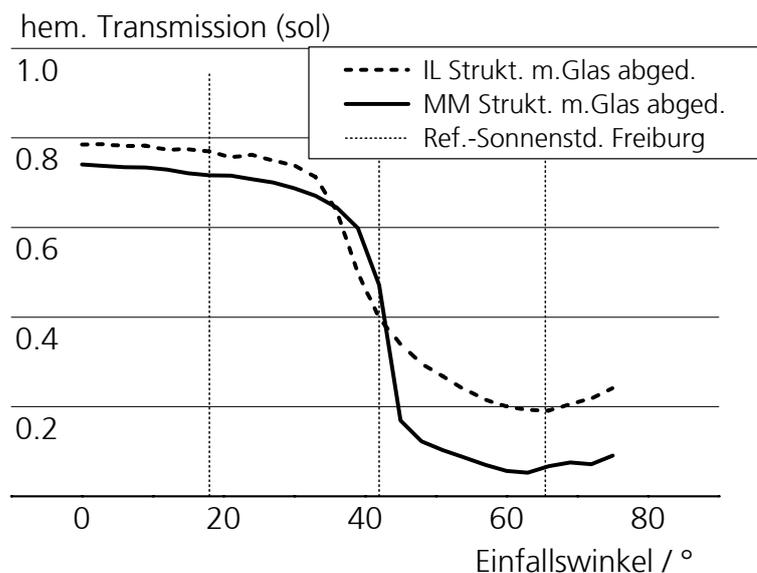


Abb. 2: Winkelabhängiger solarer Transmissionsgrad von Prototypverglasungen ohne low-e-Schicht. Das Ausblendverhalten ist bei der mikromechanisch hergestellten Struktur schärfer als bei der interferenzlithografisch hergestellten. Durch vertikale Linien angedeutet sind typische Sonnenstände von Freiburg (18° am 21.12., 42° am 20.3./23.9. und 66° am 21.6.). Der Transmissionsgrad beider Verglasungen ist im Sommerhalbjahr deutlich reduziert.

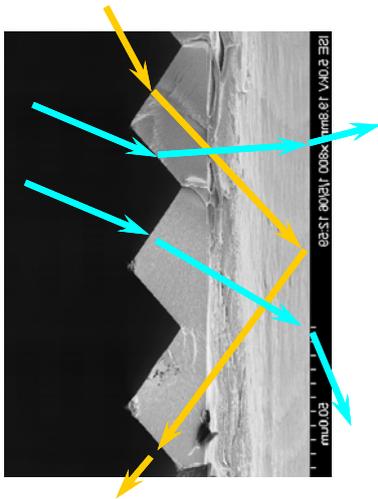


Abb. 3: Durch Ultrapräzisionsbearbeitung hergestellte Sonnenschutzstruktur mit Lichtstreuung. Die räumliche Verteilung der Höhenmodulation ist groß im Vergleich zur Struktur und daher nicht im Bild zu erkennen.

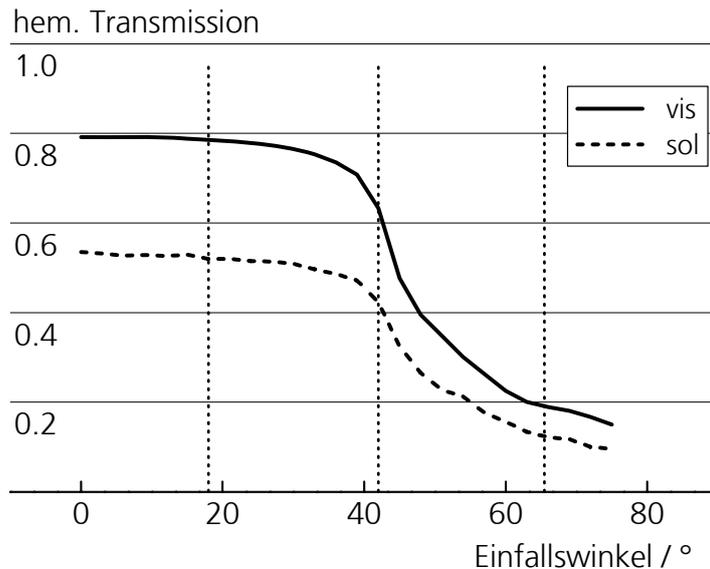


Abb. 4: Transmissionsgrad für Solarstrahlung und sichtbares Licht einer Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit integrierter Sonnenschutzstruktur (wie in Abb. 3), aufgetragen gegen den Einfallswinkel der Sonne. Durch die integrierte low-e Schicht ist der Transmissionsgrad für Solarstrahlung deutlich geringer als der für sichtbares Licht. Vertikale Linien: typische Sonnenstände für Freiburg, siehe Abb. 2.

4. Strukturbeispiele - Lichtlenkung

Einen weiteren Strukturtypus, dessen Form für eine effektive Tageslichtumlenkung optimiert wurde, zeigt Abb. 5. Mittels Strahlverfolgung wurde in Simulationsrechnungen der Transmissionsgrad einer Verglasung berechnet, in die eine derartige Struktur integriert wurde. Wie Abb. 6 zeigt, ist die Transmission für große Einfallswinkel deutlich höher als die einer vergleichbaren Referenzverglasung ohne Struktur. Es wird also mehr Sonnenlicht und helles zenitnahes Himmelslicht in den Raum transmittiert als bei einer normalen Doppelverglasung. Das Licht wird zum größten Teil in den oberen Halbraum an eine helle Decke umgelenkt.

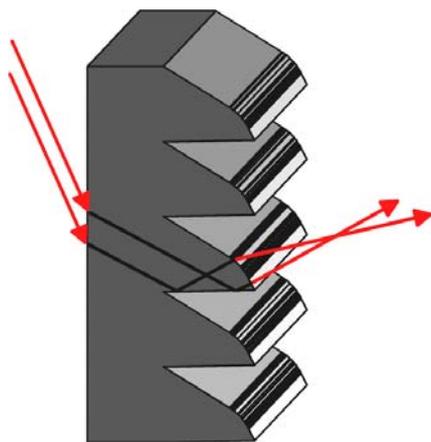


Abb. 5: Struktur zur Tageslichtumlenkung. Die Struktur befindet sich auf der Innenseite der Außenscheibe einer Wärmeschutzverglasung. Das Funktionsprinzip ist durch Pfeile schematisch angedeutet.

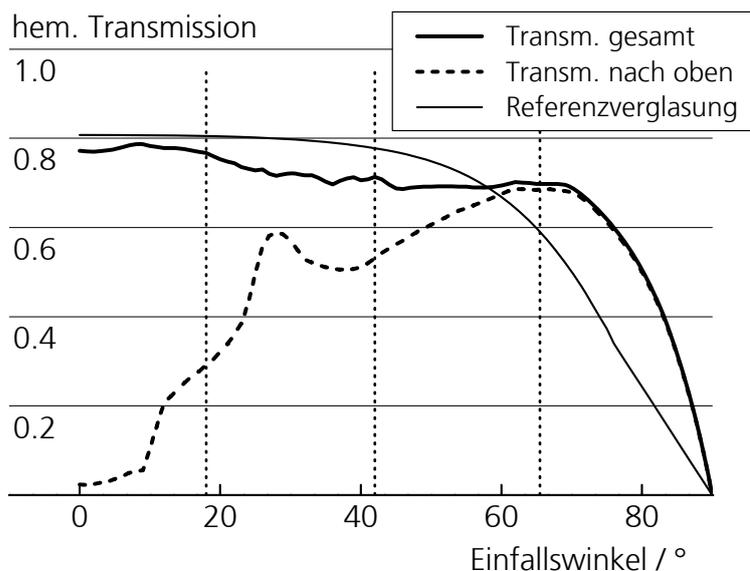


Abb. 6: Simulierter Transmissionsgrad für sichtbares Licht einer Wärmeschutzverglasung mit integrierter Lichtlenkstruktur wie in Abb. 5, aufgetragen gegen den Einfallswinkel in Profilebene. Die Gesamttransmission ist höher als die einer Referenzverglasung ohne Struktur. Zudem wird der Großteil hellen Himmelslichtes (Winkel > 40°) nach oben umgelenkt und in den oberen Halbraum transmittiert. Vertikale Linien: siehe Abb. 2.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mikrostrukturen mit saisonaler Sonnenschutzfunktion wurden großflächig als Rolle repliziert, auf Glas laminiert und in Prototypen von Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen integriert. Strukturen mit anderen, maßgeschneiderten Eigenschaften z.B. zur reinen Lichtlenkung wurden untersucht. Parallel zu Beständigkeitsuntersuchungen werden Strukturen und Prozessschritte weiter optimiert, um die Arbeiten gemeinsam mit unseren Industriepartnern in Produkte umzusetzen. Teile der hier vorgestellten Arbeiten wurden vom BMWi unter dem Kennzeichen 0327312 gefördert.

Literatur

- [1] P. Nitz et al, „Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikrostrukturierte Oberflächen“, in Tagungsband zum Neunten Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, OTTI Institut e.V., (2003).

Summary

Highly transparent façades are an element of modern architecture and daylight is part of the integral planning process of buildings. Energy efficiency, view to the outside, thermal and visual comfort are achieved only through a sophisticated transmittance behaviour of façade components for solar radiation and daylight.

Prismatic surface structures can redirect or reflect incident light. When integrated in glazing units, such prismatic structures may serve as daylight redirecting or solar control elements. For reasons of savings in material, weight and cost, a lower absorption in the material itself, a homogeneous appearance and easier integration into a glazing unit, we try to miniaturise the prismatic structures.

Different types of structures for solar control have been realised and replicated in large areas. Direct solar radiation incident at large angles in the summer is rejected by the structures. Radiation incident at lower angles in fall, winter and spring is transmitted and contributes to the heating of the building. At all times, sufficient daylight should enter the building. Danger of glare and colour effects are reduced by a light scattering function which is added to the redirecting properties of the structures by means of a height modulation of the structures. Structured films have been laminated to glass and integrated into double pane, low-e insulating glazing units.

Another type of structure has been designed and optimised for daylight redirection. The light transmittance of a glazing unit with such a structure is higher than for a reference standard double glazing unit for high angles of incidence. Most of the redirected light is directed to the upper hemisphere (ceiling) to avoid glare.

The feasibility of integration of microstructured films in glazing units for solar control and daylight redirection has been shown. Parallel to durability studies, structures and processes are further optimised in order to transfer this work together with our industrial partners into products.