

Neue Verglasungstechniken für Tageslicht und Wärmeschutz

Einleitung

Architekten bauen heute hochtransparente Fassaden und beziehen Tageslicht in die Planung mit ein. Die hohen Anforderungen an Energieeffizienz sowie thermischen und visuellen Komfort lassen sich nur durch den differenzierten Umgang mit solarer Einstrahlung erfüllen. Neuartige mikrostrukturierte, zum Beispiel prismatisch strukturierte Lichtlenkelemente können das einfallende Sonnenlicht je nach Sonnenstand gezielt umlenken oder reflektieren. In Verglasungen integriert können solche Strukturen als Lichtlenkelemente eingesetzt werden, wobei sie Sonnenlicht tief ins Gebäude lenken oder sie werden als statisch-saisonal wirksame Sonnenschutzelemente eingesetzt und verbessern saisonal variabel den sommerlichen Wärmeschutz. Es wird angestrebt, die Strukturen zu miniaturisieren, um Material, Gewicht und Kosten zu sparen, die Absorption zu vermindern, ein flächig-homogenes Erscheinungsbild zu erzielen und die Lichtlenkelemente einfacher in einen Glasverbund zu integrieren.

Am Fraunhofer ISE und dem ISFH werden die Anwendungsmöglichkeiten mikrostrukturierter Elemente in Verglasungen für einen saisonalen Sonnenschutz sowie zur Tageslichtlenkung 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.

Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten

Mikrostrukturierte Lichtlenkelemente können das einfallende Sonnenlicht gezielt umlenken oder reflektieren. Die Lichtlenkung und -reflexion in mikrostrukturierten Elementen basieren

auf Brechung und interner Totalreflexion in den Strukturen. Im Jahresverlauf gibt es verschiedene Anforderungen an den Sonnenschutz, bzw. die Lichtausbeute. Saisonal variable Transmissions-eigenschaften von Strukturen mit statischem Sonnenschutz werden durch die winkelabhängige Transmission und den saisonal variierenden Sonnenstand erzielt: Die saisonale Regelung übernimmt der sich ändernde Sonnenstand: während flach einfallende Strahlung im Winter und helles Zenithimmelslicht transmittiert wird, wird die hoch stehende Sommersonne reflektiert.

Bei Strukturen zur verbesserten Tageslichtnutzung wird die Richtung von transmittiertem Licht so verändert, dass das Licht tiefer in den Raum eindringt und auch weit vom Fenster entfernte Bereiche ausreichend mit Tageslicht versorgt. Da gleichzeitig die Blendung von Personen im Raum vermieden werden muss, gelingt dies z. B. dadurch, dass das Licht unter flachem Winkel nach oben an eine hell reflektierende Decke gelenkt wird. Zusätzlich zu den hier vorgestellten Arbeiten im Bereich der Verglasungsentwicklung werden am Fraunhofer ISE Verfahren für die Bewertung des visuellen Komforts entwickelt. Dies umfasst u. a. die Vermeidung von Blendung durch Tageslicht, Kontrastminderung bei der Bildschirmarbeit, Sichtkontakt sowie die Farbwirkung von Fassadensystemen im Tagesverlauf. Für die Blendung durch Tageslicht wurde ein neues Verfahren etabliert und validiert [4]. Die „daylight glare probability (DGP)“ gibt dabei die Wahrscheinlichkeit einer Störung durch Blendung an.

Da in der Regel durch prismatisch (mikro-) strukturierte Elemente keine oder nur eingeschränkte Durchsicht möglich ist, eignen sich die Strukturen für den Einsatz in Bereichen, wo klare Durchsicht nicht zwingend erforderlich ist. Dazu zählen Oberlichter, Verglasungen von Nutz- und Verkehrsbereichen sowie Anwendungen, bei

Dr. Peter Nitz
Fraunhofer ISE
peter.nitz@ise.fraunhofer.de

Federico Giovannetti
ISFH
f.giovannetti@isfh.de

Dr. Helmut Weinläder
ZAE Bayern
weinlaeder@zae.uni-wuerzburg.de

Jan Wienold
Fraunhofer ISE
j.wienold@ise.fraunhofer.de

denen die Strukturen nur teilflächig eingesetzt werden und so zwischen den strukturierten Bereichen auch Bereiche mit klarer Durchsicht vorliegen. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der Elemente in oder vor transluzenten oder opaken Fassadenteilen wie z. B. in Modulen mit transparenter Wärmedämmung (TWD) vor opaken Wänden, die im Winter zur Raumheizung beitragen und durch die saisonale Verschattungsfunktion vor unerwünschter sommerlicher Erwärmung geschützt werden.

Bei der Integration in moderne Wärmeschutzverglasungen werden verschiedene Ansätze verfolgt. Eine mikrostrukturierte Folie kann freitragend als „dritte Schicht“ in eine Zweischeiben-Isolierverglasung eingespannt werden (Abbildung 1b) [1]. Dies hat Vorteile bei den thermischen Eigenschaften, die mit U_g -Werten von bis zu $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ mit denen von Dreischeiben-Isolierverglasungen vergleichbar sind. Nachteilig ist die etwas geringere Transmission im Winter durch die zusätzlichen Grenzflächen. Alternativ kann die mikrostrukturierte Folie auch einseitig auf eine Glasscheibe auflaminiert sein (Abbildung 1c) [2]. Hier entsprechen die thermischen Eigenschaften denen einer Zweischeiben-Isolierverglasung mit einer (im Vergleich zur eingespannten Variante) etwas höheren Transmission im Winter.

Herstellung der Strukturen

Mikrostrukturen für Sonnenschutz, Lichtlenkung und andere Anwendungen werden am Fraunhofer ISE interferenzlithografisch generiert. Dabei wird ein lichtempfindlicher Lack (Fotoresist) mit einem Laser-Interferogramm belichtet. Von den entwickelten Fotoresists werden Prägwerkzeuge hergestellt, mit denen sich die Strukturen in Mikroreplikationsverfahren zu potenziell geringen Kosten in großen Flächen replizieren lassen.

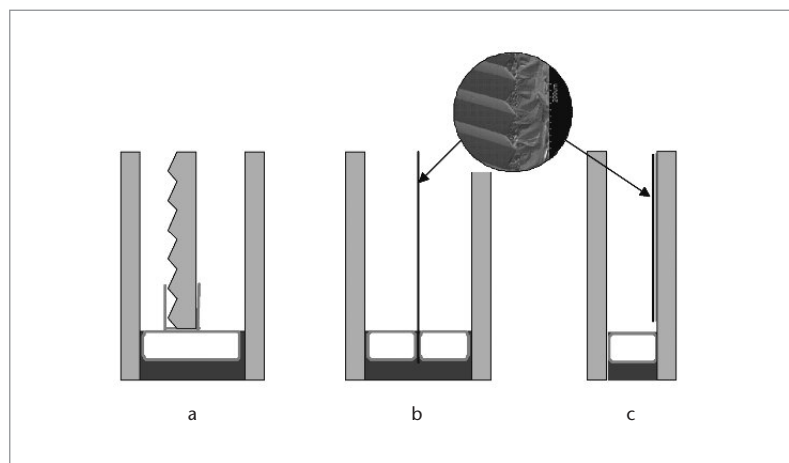
Alternativ zu interferenzlithografisch hergestellten Urformen werden Strukturen untersucht, die durch Ultrapräzisionsbearbeitung (z. B. Diamantfräsen oder -drehen) hergestellt wurden. Letztere lassen sich direkt auf eine Prägwalze schneiden, was bei der Replikation Vorteile bringt und die Abformung einer endlosen Folienrolle ohne Naht erlaubt.

Bei beiden Herstellverfahren können die Strukturen zudem moduliert werden, was zu einer zusätzlichen Lichtstreuung führt. Diese reduziert mögliche Farbeffekte (Zerlegung des weißen Lichtes in die Spektralfarben durch die Brechung an den Prismen) und verringert hohe Leuchtdichten, die Blendung verursachen können.

Am ISFH werden Varianten untersucht, bei denen eine unmodulierte Mikrostruktur mit Licht streuenden Gläsern kombiniert wird, um

Abbildung 1
Integration mikrostrukturerter Folien in Verglasungen:
a) in Verglasungen integrierte makroskopische Prismenplatte (Stand der Technik)
b) frei eingespannte Folie mit Licht lenker Mikrostruktur
c) auf Glas auflaminierte strukturierte Folie

Quelle: ISFH und Fraunhofer ISE



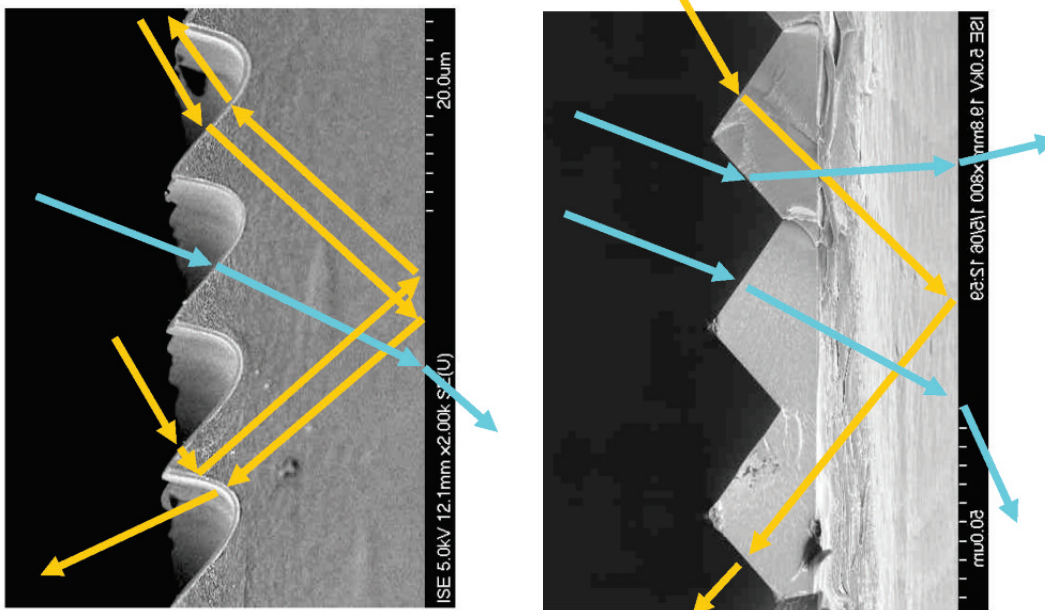


Abbildung 2
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Prismenstrukturen mit saisonaler Sonnenschutzfunktion. Links: interferenzlithographisch hergestellte Struktur mit übermodulierter Streuung, die als Höhenmodulation der Prismen sichtbar ist. Die Strahlungsgänge im Sommer (gelb) und im Winter (blau) sind schematisch dargestellt. Rechts: mikromechanisch hergestellte Struktur, die auf einer Größenskala moduliert ist, die wesentlich größer als die Strukturperiode ist. Daher ist die Modulation im Bild nicht sichtbar.

Quelle: Fraunhofer ISE

dieselben Effekte zu erzielen. Die verschiedenen Herstell-Technologien sowie Varianten zur Kombination mit Lichtstreuung stehen zur Verfügung, werden getestet und können je nach den speziellen Anforderungen eingesetzt werden.

Strukturbeispiele und Eigenschaften

Die nachfolgend gezeigten Strukturtypen stellen nur eine Auswahl der im Verglasungsbereich einsetzbaren Strukturen dar. Prinzipiell werden hier nur lineare, prismatische Strukturen betrachtet. *Abbildung 2* zeigt zwei Strukturtypen und schematisch ihre Funktion. Die Strukturen sind in unterschiedlichen Verfahren hergestellt, aber beide sind lichtstreuend moduliert.

Der an einem Verglasungs-Prototypen gemessene Transmissionsgrad für Licht und Solarstrahlung ist in *Abbildung 3* gezeigt. Je nach exakten Strukturparametern und Art der Integration in die Verglasung kann der Abfall der Transmission bzw. des g-Wertes mit dem Einfallswinkel und damit das saisonale „Schalten“ der Sonnenschutzfunktion noch steiler verlaufen als in *Abbildung 3* gezeigt [1]. Durch die integrierte low-ε-Schicht ist der Transmissionsgrad für Solarstrahlung deutlich geringer als der für sichtbares Licht.

Die in *Abbildung 2* gezeigten Strukturen werden in vertikalen Verglasungen eingesetzt. Als statisch-saisonaler Sonnenschutz in geneigten Verglasungen wie Dachverglasungen eignen sich Strukturen, die nahezu senkrecht auf die Struktur einfallendes Licht reflektieren. Für eine nähere Beschreibung dieser Systeme für geneigte Verglasungen sei auf die Literatur [2] verwiesen. Andere Strukturen für den Einsatz als Tageslichtlenksystem lenken das Licht nach oben und weisen im Idealfall für große Einfallswinkel eine höhere Transmission auf als eine Standardverglasung ohne Lichtlenkstruktur [3].

Bei der Miniaturisierung prismatischer Strukturen treten neben Reflexionen zwischen den Grenzflächen der Strukturen auch Beugungseffekte auf, die die erwünschte Funktion abschwächen oder aufheben können und zu Nebenbildern und Farbeffekten führen können. Diese Phänomene können in wellenoptischen Simulationen vorhergesagt und quantifiziert werden. Es zeigt sich, dass bei Größen (Strukturperioden) im Bereich von 50 – 100 µm die Beugungseffekte prismatischer Strukturen praktisch vernachlässigbar sind. In beiden *Abbildungen 1b und 1c* gezeigten Varianten wurden großformatige Verglasungs-Prototypen gefertigt und charakterisiert. Erste durchgeführte Stabilitätsuntersuchungen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Derzeit sind aber noch weitere Tests

Abbildung 3

Transmissionsgrad für Solarstrahlung und sichtbares Licht einer Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit integrierter Sonnenschutzstruktur (wie in Abb. 2 rechts), aufgetragen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Sonne.

Quelle: Fraunhofer ISE

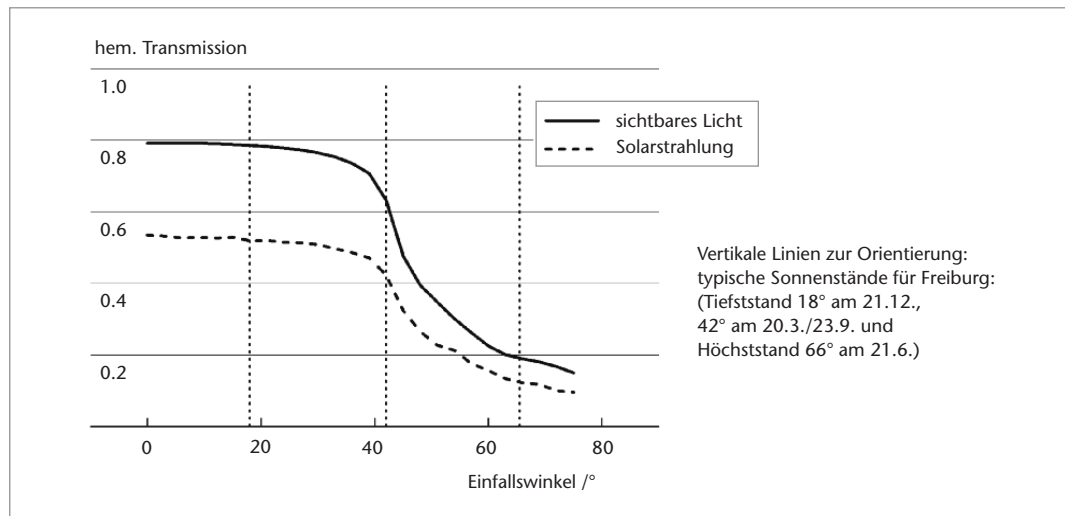
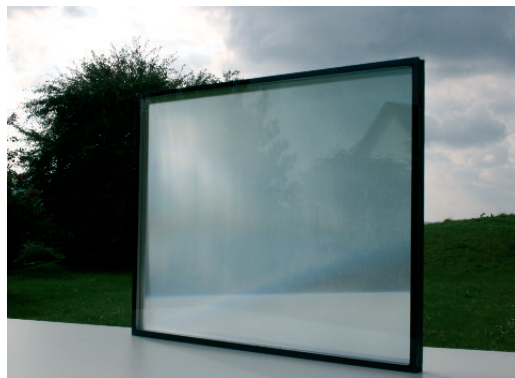


Abbildung 4

Prototypen großformatiger Isolierverglasungen mit mikrostrukturierten Folien mit saisonaler Sonnenschutzwirkung: links: Folie für Einsatz vor TWD-Modulen, Abmessungen 850x700 mm² (ISFH) rechts: laminierte Folie mit Lichtstreuung für den Einsatz im Oberlichtbereich, Abmessungen 1000x500 mm²

Quelle: Fraunhofer ISE



und Optimierungen notwendig, um die Arbeiten gemeinsam mit unseren Industriepartnern in verlässliche Produkte umzusetzen.

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden vom Bundeswirtschaftsministerium (BMW) unter dem Kennzeichen 0327312 und von der DBU unter dem Kennzeichen 24673 gefördert.

Literatur

[1] F. Giovannetti, Karl H. C. Fischer, „Integration mikrostrukturierter Lichtlenkungssysteme in Verglasungen“, Tagungsband 2. Internationales Anwenderforum Energieeffizienz und Bestand, Staffelstein, 14./15.2.2008

[2] P. Nitz, A. Gombert, B. Bläsi, A. Georg, J. Mick, Ch. Bühler, G. Walze, W. Hossfeld, „Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikrostrukturierte Oberflächen“, Tagungsband 9. Sympos. Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein, 23./24.1.2003, S. 103-108

[3] P. Nitz, B. Bläsi, J. Mick, G. Walze, A. Gombert „Verglasungen mit mikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten“, Tagungsband 13. Symposium Licht und Architektur, Staffelstein, 8./9.2.2007, S. 20-25

[4] J. Wienold, J. Christoffersen, „Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras“, Energy and Buildings 38,7 (2006), 743-757