

Tageslichtlenksysteme mittels Spiegeloptiken

Die Tageslichttechnik ist ein interdisziplinäres Fachgebiet zwischen Bauphysik und Lichttechnik und verwirklicht mittels neuartiger Spiegeloptiken verbesserte Schutzfunktion vor Überhitzung, jedoch gleichzeitiger Versorgungsfunktion mit natürlichem Tageslicht, wodurch eine Gesamtenergieeinsparung von verglasten Gebäuden von bis zu 30 % ermöglicht wird. Im Rahmen des Green Deals wird von der EU-Kommission eine Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) angestoßen, die Teil eines umfassenden Gesetzespaketes mit der ambitionierten Zielsetzung ist, emissionsfreie Gebäude zu definieren und damit die Reduktion der CO₂-Emissionen in Europa voranzutreiben. Die Tageslichtumlenktechnik, die im Winter solare Zugewinne, im Sommer einen Schutz vor Überhitzung und ganzjährig die Tageslichtautonomie fördert, kann eine ganz wesentliche Rolle in der Umsetzung dieser ehrgeizigen Ziele spielen. In diesem Beitrag wird eine neue Tageslichtumlenktechnik vorgestellt, mit der sich auch mittels eines innenliegenden Behangs ein g_{ges} -Wert von 0,05 sogar in offener und durchsichtiger Lamellenlage mit Tageslichteintrag realisieren lässt.

Stichworte Daylighting; Lichtlenkung; g-Wert; Sonnenschutz; Tageslichtautonomie; Tageslichttechnik; Jalousien; Energieeffizienz; Beleuchtung

1 Einführung

Tageslichtlenksysteme, wie in Bild 1 dargestellt, ermöglichen mithilfe von Präzisionsspiegeln eine indirekte Tageslichtverteilung und eine wesentliche Verbesserung der Raumausleuchtung. Eine Überbelichtung und Überhitzung kann bei Sonnenschein mittels bifokaler Optiken durch anteilige Sonnenlichtauslenkung vermieden werden.

2 Anforderungen

Bisher war es zulässig, nach DIN 5034 [1] die Fenstergrößen im Verhältnis zur Raumgröße zu optimieren. Seit März 2019 ist die DIN EN 17037 [2] in Kraft getreten und ersetzt die bisherige Dimensionierung der Fenster durch Mindestbeleuchtungsstärken im Innenraum. Dies führt teilweise zu einer Verdopplung der Fenstergrößen.

Berechnungen der Tageslichtkoeffizienten ohne Lichtumlenkung weisen eine überbelichtete Fensterzone und eine mangelhafte Raumbtiefausleuchtung auf. Die DIN EN 17037 versäumt bislang, die Maximal- und Minimalwerte der Beleuchtungsstärken in ein Verhältnis zu setzen.

Daylight control systems using mirror optics

Daylighting is an interdisciplinary field between building physics and lighting technology and implements improved protection against overheating by means of novel mirror optics developed, while at the same time providing daylight, thus enabling total energy savings of glazed buildings of up to 30 %. As part of the Green Deal, the EU Commission is initiating a directive on the energy performance of buildings (EPBD), which is part of a comprehensive legislative package with the ambitious goal of defining zero-emission buildings and thus driving forward the reduction of CO₂ emissions in Europe. Daylight guiding technology, which enables solar gains in winter, prevents overheating in summer and enables daylight autonomy all year round, can play a very important role in the implementation of these ambitious goals. In this essay a new daylight guiding technology will be presented, with which a total solar energy transmittance g_{tot} of 0.05 can be realised even in open and transparent slat positions with daylight input by means of internal blinds.

Keywords daylighting; total solar energy transmittance; light control; sun shading; glare protection

Die Möglichkeit durch Lichtlenksysteme die Gleichmäßigkeit der Tageslichtausleuchtung zu verbessern (Bild 2) ist in der Normung bislang unbeachtet.

Normen und Richtlinien zur Tageslichtbeleuchtung beschränken sich auf Zeiten mit diffusem Himmelslicht und vernachlässigen die Zeitpunkte der Besonnung unter Beachtung der Sonnenschutzsysteme. Verfahren für eine Jahressimulation unter Berücksichtigung der Sonnenstände sind ein erforderlicher nächster Schritt bei der Normung. Als Nachweisverfahren zu Beleuchtungsstärken kann eine Berechnung mittels der Tageslichtquotienten herangezogen werden. Die BDTF- oder OLDS-Daten (bidirektionale Lichtverteilungsfunktionen) von Lichtlenksystemen ermöglichen eine sehr genaue Ermittlung der Tageslichtquotienten für verschiedene Sonnenstände/Jahreszeiten.

Die DIN EN 17037 spricht verstärkt auch die Themen Aussicht, Besonnung und Blendung an: Für die Sichtverbindung nach außen liefert die Norm Qualitätsanforderungen (z. B. Blick auf die Straßenebene oder in den Himmel) bislang ohne die Durchsichtigkeit der Beschattungssysteme in Prozent zu bewerten. Auch das Thema Blendung wird nur als ein zulässiger Wahrscheinlich-

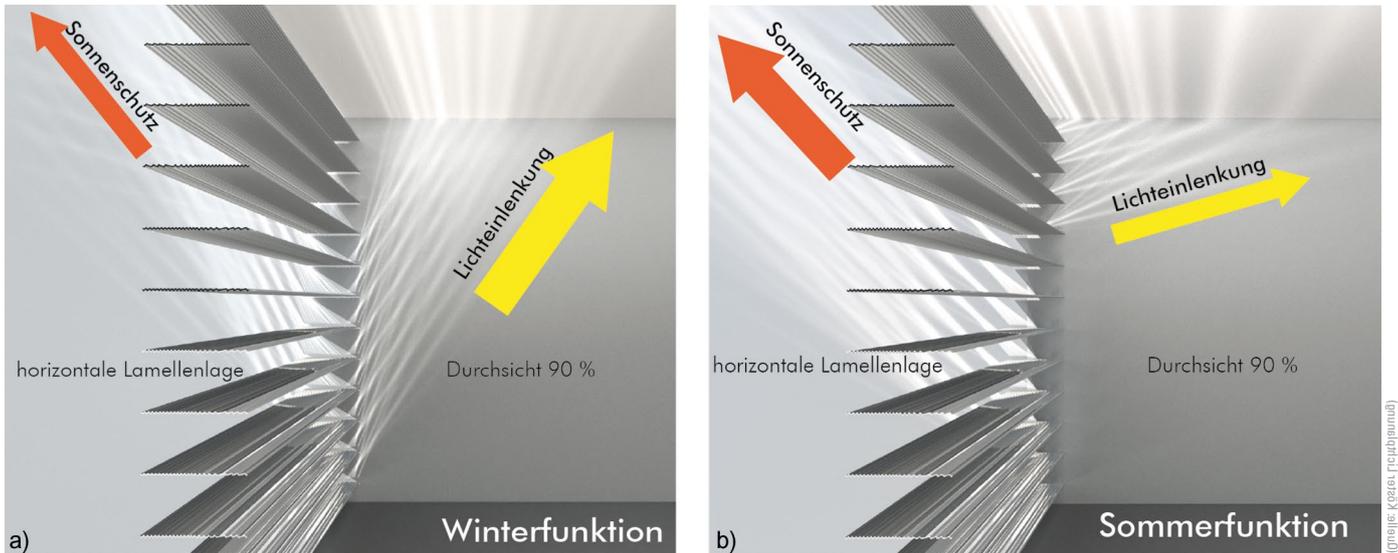


Bild 1 Optische Wärmeregulierung mittels bifokaler Lichtlenksysteme mit Lichtein- und Lichtauslenkfunktion in Abhängigkeit von Sonneneinfallswinkeln in horizontaler Lamellenlage; a) Winterfunktion, b) Sommerfunktion Lichtlenksysteme ermöglichen eine indirekte Tageslichtausleuchtung, die zu einer Reduktion der Beleuchtungsstärke in Fensternähe und zu einer erhöhten Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe führt. Dies begünstigt ein ausgeglichenes Raumausleuchtungsprofil. Bifokale Lamellenoptiken ermöglichen ambivalente Funktionen: g-Werte (Sonnenschutz) und T-Werte (Tageslichtausleuchtung) sind unter Berücksichtigung von Heiz- und Kühlperioden in ein Verhältnis zu setzen.

Optical heat control using bifocal light control systems with light input and light deflection function depending on the angle of incidence of the sun in a horizontal slat position; a) winter function, b) summer function Light control systems enable indirect daylight illumination, which leads to a reduction in the illuminance near the window and to an increased illuminance in the depths of the room. This favors a balanced room illumination profile. Bifocal slat optics enable ambivalent functions: g-values (sun protection) and T-values (daylight illumination) are to be set in relation to one another, taking heating and cooling periods into account.

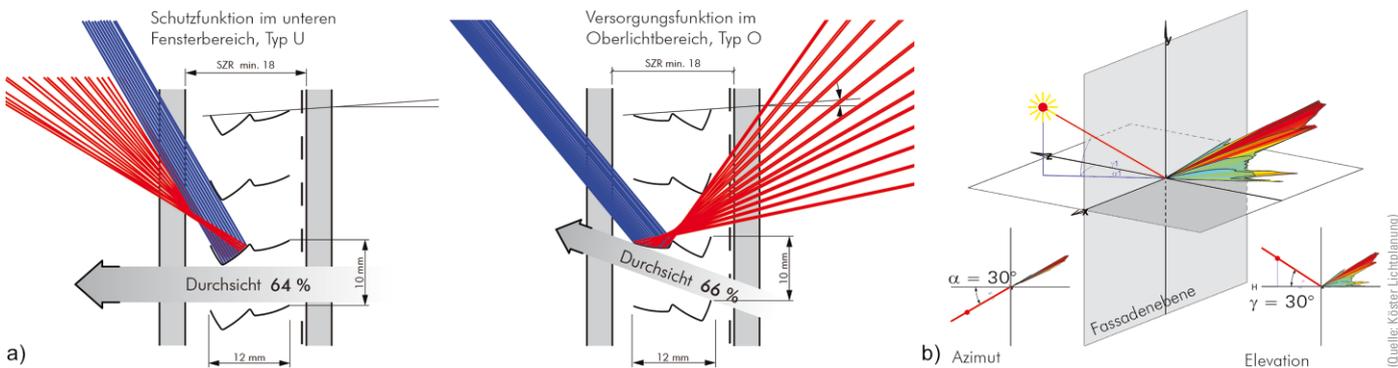


Bild 2 Licht- und Energiebalance mittels bifokaler Lamellenoptiken; a) Schutzfunktion: Das zum Sonneneinfall gelegene v-förmige Teilstück dient als Retro-Reflektor. Dieses System wird primär im unteren Fensterbereich eingesetzt und schützt vor Überhitzung gegenüber der hohen Sommersonne (links). Die flache Sonne wird blendfrei steil an die Decke umgelenkt (rechts). b) Zenitlichtgewinnung: RETROLuxTherm 12 mm wurde auch für die Zenitlichtgewinnung entwickelt. Die RETROLuxTherm 12 mm-Lamellen werden in einer Höhe > 1,80 m < 2,20 m in einer Revers-Lage eingebaut und gewährleisten damit – trotz sommerlicher Beschattung – eine gleichzeitige Tageslichtausbeute in großer Raumtiefe ohne die Fensterzone zu überhitzen.

Light and energy balance using bifocal lamella optics; a) Protective function: The V-shaped section facing the sun serves as a retro-reflector. This system is primarily used in the lower window area and protects against overheating in the high summer sun (left). The flat sun is deflected steeply onto the ceiling without glare (right). b) Zenith light extraction: RETROLuxTherm 12 mm was also developed for zenith light extraction. The RETROLuxTherm 12 mm slats are installed at a height > 1.80 m < 2.20 m in a reverse position and thus ensure – despite summer shading – a simultaneous daylight yield in a large room depth without overheating the window zone.

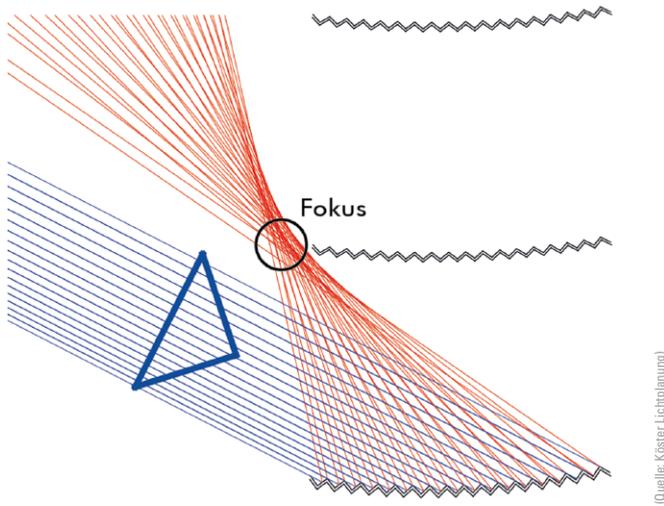
keitszeitwert von 5% der Nutzungszeit als zulässige Störungsquelle definiert, ohne die Blendungsart zu definieren. Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB vernachlässigt im Punktesystem die Tageslichtautonomie zum Zeitpunkt aktiven Sonnenschutzes.

Den Zusammenhang zwischen Lichteintrag und Energieeintrag/g-Wert-Optimierung nachzuweisen, wäre eine wünschenswerte zukünftige Anforderung der DIN und muss seinen Niederschlag in dem Zertifizierungssystem, aber auch in der KfW-Förderung finden, sodass ein

Sonnenschutz, der die Räume verdunkelt und Energie für zusätzliches Kunstlicht verbraucht, hinterfragt wird.

3 Funktionen und Bewertung der Tageslichtlenksysteme

Die KfW fördert z.Z. jede Art von Sonnenschutz ohne Unterscheidung des tatsächlichen Energiesparpotentials. Vor diesem Hintergrund soll die Tageslichttechnik hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht werden, um



(Quelle: Köster, Lichtplanung)

Bild 4 Monofokal = Lichtauslenkung mit einem einzigen Fokus; Monorefektiv = Lichtauslenkung mit einer einzigen Reflexion in offener Lamellenstellung mittels Fresnel'scher Reflektoranordnung der kleinen Teilflächen: Lamellenbreite von 12–80 mm, als Jalousie oder auch für eine fixierte Anordnung geeignet z. B. im Isolierglas
 Monofocal = light deflection with a single focus; Monoreflective = light deflection with a single reflection when the slats are open using a Fresnel reflector arrangement of the small sub-areas: Slat width of 12–80 mm, Suitable as a blind or for a fixed arrangement, e.g. B. in insulating glass

3.4 Spiegeloptiken zur Lichtausleuchtung und zur Raumtiefenausleuchtung

Am Markt findet die Tageslichtlenkung mittels Spiegeln zunehmend eine größere Bedeutung mit präzisen Optiken zur Lichteinlenkung (Tageslichtautonomie) und/oder zur Lichtauslenkung (Schutz vor Überhitzung).

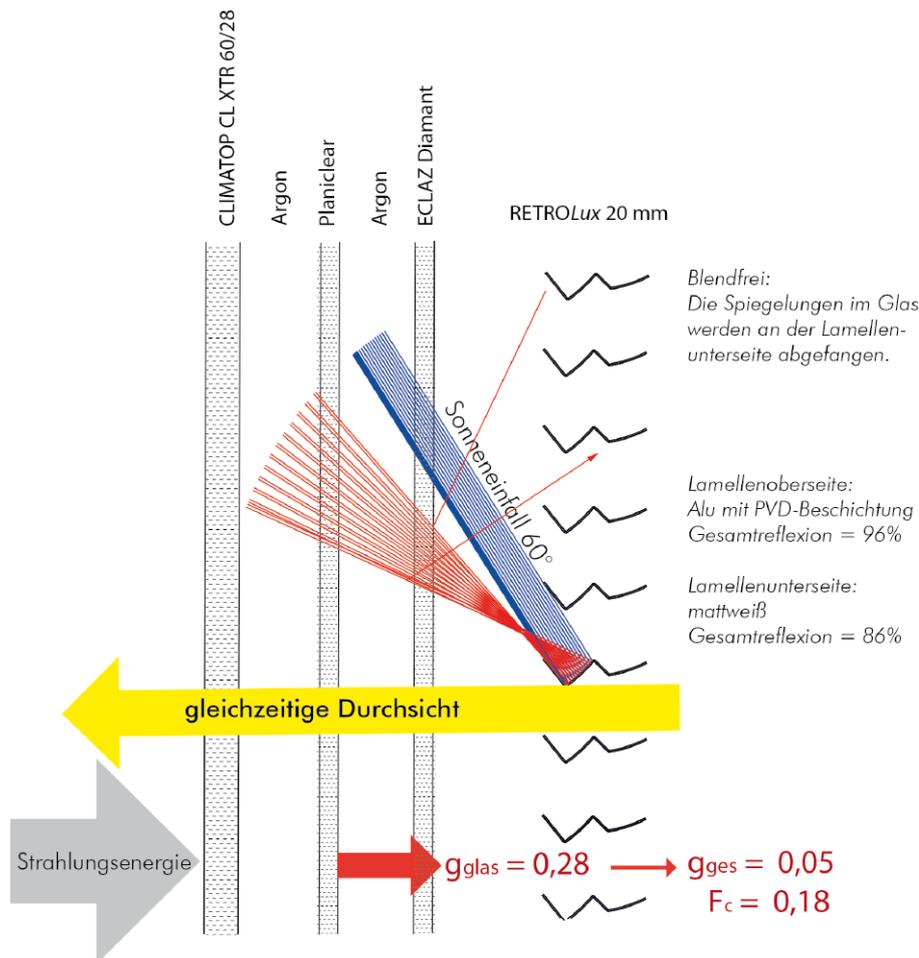
Unterschieden wird in

- Monofokale Optiken (primär Lichtlenkung nach außen),
- Bifokale Optiken (Lichtumlenkung nach außen und/oder nach innen).

Die Optiken werden Spiegellamellen entweder eingepägt z. B. in Art einer Mikrostruktur oder die Lamellen werden in einer Makrostruktur profilartig ausgeformt.

3.5 Mikrostruktur lamellen

Bild 4 zeigt bekannte Fresneloptiken, die einer konkav-konvexen Lamelle eingepägt werden und auftreffendes



(Quelle: Köster, Lichtplanung)

Bild 5 RETROLux 20 mm hinter Glas im Fensterflügel, Glasleistenmontage: Der g-Wert wird gemäß Messung für 60° Sonneneinfall von $g = 0,28$ auf $g = 0,05$ in offener Lamellenlage der Jalousie abgemindert. Somit ergibt sich ein F_c -Wert von 0,18. Im geschlossenen Zustand vermindert sich der g-Wert weiter auf 0,04. Anmerkung: Die g-Messwerte wurde auf g_{norm} -Werte korrigiert, indem die Diffusstrahlung rausgerechnet wurde.
 RETROLux 20 mm behind glass in the window casement, glazing bead installation: The g-value is reduced from $g = 0.28$ to $g = 0.05$ in the open slat position of the blind according to the measurement for 60° incidence of sunlight. This results in an F_c value of 0.18. When closed, the g value drops further to 0.04. Note: The g-value readings have been corrected to g_{norm} values by subtracting out the diffuse radiation.

Licht nach außen zurück reflektieren. Der Vorteil der Fresneloptik ist die Offenheit des Behangs. Die Lamellen stehen horizontal und reflektieren die auf sie eindringende Sonne zurück nach außen – im Idealfall, ohne die Sonnenstrahlung in Wärme zu wandeln.

4 Messungen

Die Frage lässt sich rechnerisch sowie messtechnisch beantworten. Das ZAE Bayern hat an seinem Standort in Würzburg Messungen an dem System RETROLux 20 mm der Firma RETROSolar mit einem Außenprüfstand durchgeführt. Im Vorfeld wurde ein geeignetes Sonnenschutzglas gewählt, das sich durch eine hohe Lichtdurchlässigkeit und damit durch eine geringe Aufheizung auszeichnet. Die Sonnenschutzschichten befinden sich auf Position 1. Die Scheiben selbst sind in „extra clear“, also ohne Farbeffekte ausgeführt. Dieser Probenaufbau ist in Bild 5 und Tabelle 1 dargestellt und dokumentiert.

5 Messmethode

Der g-Wert Messstand bietet die Möglichkeit, den g-Wert angelehnt an DIN EN 410 [3] zu bestimmen. Bild 6 respektive 7 zeigen den auf dem Dach des ZAE (Bereich Energieeffizienz in Würzburg) aufgebauten Prüfstand. Mit der Sonne als Strahlungsquelle ist sichergestellt, dass das Spektrum während der Messung bestmöglich die solare Spektralverteilung abbildet. Da der Messstand sowohl horizontal als auch vertikal angesteuert werden kann, sind Messungen unter senkrechter Einstrahlung sowie unter konstanten Offsetwinkeln möglich. Zur Durchführung der Messung wird der Messstand unter dem fest eingestellten Winkel der Sonne nachgeführt. Die Einstrahlung durchdringt teilweise das Verglasungssystem und wird dahinter von einem Absorber aufgenommen. Die Wärmestromdichte der Absorberplatte wird mit der Einstrahlungsflussdichte ins Verhältnis gesetzt, um den g-Wert zu ermitteln. Dabei ist es wichtig, den realen Absorptionsgrad des Absorbers sowie Mehrfachreflexionen zwischen dem Absorber und dem Verglasungssystem zu berücksichtigen, um aus der absorbierten Einstrahlung den durch das Verglasungssystem gedungenen Anteil zu bestimmen. Außerdem muss die thermische Verlustleistung des Messtandes, resultierend aus der Temperaturdifferenz zwischen Messstand und Außenluft, berücksichtigt werden. Weiterhin muss die Konvektion zwischen Absorberplatte und Verglasung abhängig vom Neigungswinkel entsprechend berücksichtigt werden.

Tab. 1 g-Werte je nach Sonneneinfallswinkel und Lamellenkippwinkel
g-values depending on sun incidence and slat position (tilt angle)

| Sonneneinfall γ | Lamellenkippwinkel | g_{mess} | g_{norm} |
|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 0° | geschlossen (cut off) | 0,06 ± 0,05 | 0,04 ± 0,05 |
| 60° | open | 0,11 ± 0,05 | 0,05 ± 0,05 |



Bild 6 Das Foto zeigt den Prüfstand am ZAE Bayern in Würzburg mit eingebauter Verglasung und Lichtlenkjalousie. Die Messungen erfolgten bei natürlicher Sonneneinstrahlung. Die Messbox mit der eingebauten Probe wurde der Sonnenbahn im Tagesverlauf dem veränderten Azimut im Horizontalkreis um eine vertikale Achse nachgeführt. Der gewünschte Sonnenhöhenwinkel wurde durch ein Verkippen der Apparatur um eine horizontale Achse realisiert.

The photo shows the test stand at ZAE Bayern in Würzburg with built-in glazing and light-directing blinds. The measurements were carried out under natural solar radiation. The measuring box with the built-in sample tracked the sun's path over the course of the day, the changed azimuth in the horizontal circle around a vertical axis. The desired sun elevation angle was realized by tilting the apparatus around a horizontal axis.

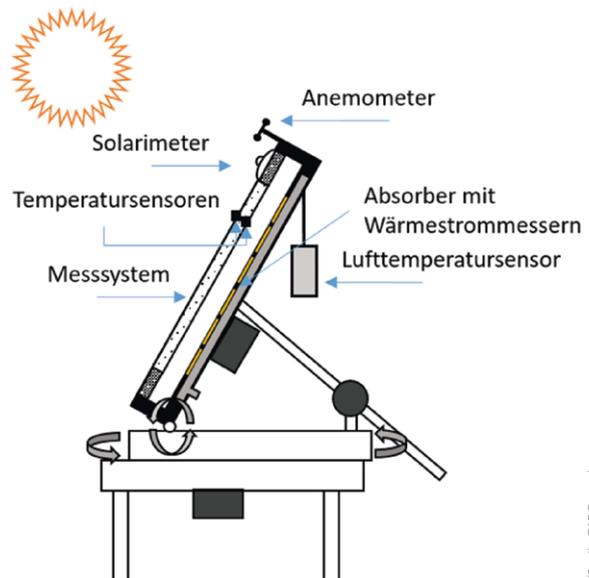


Bild 7 Das System RETROLux 20 mm wurde in die Kavität der Messbox eingebaut auf deren Rückseite die auftretenden Wärmeströme in einem gekühlten Absorber über mehrere Wärmeflussmesser erfasst. Zusätzlich wurden die Klimadaten (Einstrahlung, Wind, Temperatur) aufgezeichnet. Zur Ermittlung des g-Wertes wurde der Diffusanteil herausgerechnet, um ein g_{norm} Wert gemäß DIN EN 410 als Summe des direkten Transmissionsgrades und des sekundären Wärmeeintrags zu ermitteln. $g = \tau_{\text{Enorm}} + q_{\text{Inorm}}$

The RETROLux 20 mm system was installed in the cavity of the measuring box on the back of which the heat flows in a cooled absorber were recorded using several heat flow meters. In addition, the climate data (irradiation, wind, temperature) were recorded. To determine the g-value, the diffuse component was subtracted out in order to determine a g_{norm} value in accordance with DIN EN 410 as the sum of the direct transmittance and the secondary heat input. $g = \tau_{\text{Enorm}} + q_{\text{Inorm}}$

Mit der Apparatur können Systeme mit den Maßen von $400 \times 400 \text{ mm}^2$ bis $1230 \times 960 \text{ mm}^2$ vermessen werden. Neben klassischen Verglasungssystemen können auch Systeme mit innen- oder außenliegender Sonnenschutz- oder Daylightingsystemen vermessen werden. Weiterhin können auch BIPV Verglasungen vermessen sowie der Einfluss der PV auf die thermische Performance des Systems bestimmt werden.

5.1 Ergebnis der Messungen der RETROLux 20 mm Jalousie

Die Messungen zeigen, dass durch den Einsatz der Spiegel-lamelle ein sehr geringer g-Wert erreicht wird. Neben der Verglasung selbst, kommt es auf das optische System an. Vorliegend wurde eine bifokale Lamelle Typ RETROLux 20 mm der Firma RETROSolar vermessen, die über zwei Teilstücke, einen Retroreflektor (v-förmiges erstes Lamellenteilstück) und ein angehängtes Lightshelf verfügt. Die hohe Sommersonne (Einfallswinkel 60°) wird mit einer einzigen Reflexion (Monorefektivität) in den Außenraum zurückreflektiert. Da die Glasscheiben weitgehend farb-frei sind (extra clear), und die solare Einstrahlung weitge-hend durch die Außenscheibe zurückreflektiert wird, heizt die Innenscheibe wenig auf, sodass q_i (sekundäre Wärmeabgabe nach innen) sehr gering ist.

Die Intelligenz des optischen Lamellensystems liegt in der präzisen Strahlenführung, die es erlaubt, den Behang im Sommer in horizontaler Lamellenstellung – also in einer Position mit optimaler Durchsicht – zu belassen, sodass trotz des niedrigen g-Wertes der Außenbezug (Durchsichtigkeit) durch das Fenster gesichert ist, wie in der DIN EN 17037 und DIN 14501 [4] sowie den Euro-päischen Richtlinien 89/654/EWG und 89/391/EWG thematisiert.

5.2 Blendefreiheit

An jeder glatten Oberfläche findet eine Oberflächenspie-gelung statt. Dies gilt insbesondere für eine 3-Scheiben-verglasung mit Wärmeschutz und Sonnenschutzbeschich-tung. In der Abbildung 8 ist an einzelnen Strahlen nach-gewiesen, wie die durch Spiegelung verursachte Blendung am Glas beherrscht wird: Die Spiegelung erfolgt nach dem Gesetz „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“. Das vorlie-gende optische System fängt auf der Unterseite der o-ber-n Lamellen die Spiegelungen ab, so dass keine störende Blendung im Innenraum entsteht. Die korrekte Funktion dieses optischen Systems erfordert eine hohe Präzision der Spiegelkontur der Lamellen.

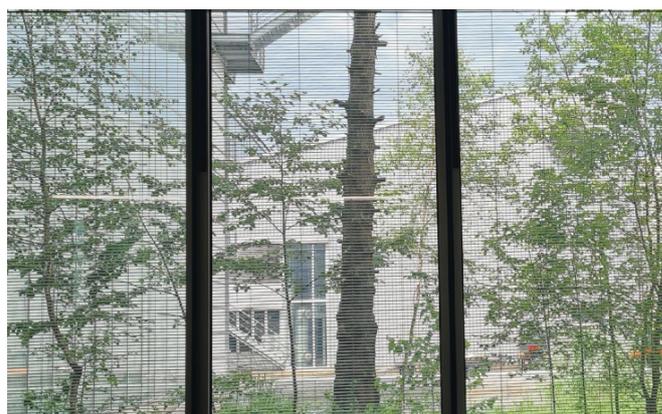
6 Anwendungsbeispiel Toro1, Zürich

Im Toro1, einem Verwaltungsgebäude aus dem Jahre 1995/97 in Zürich wurde eine zweischalige, nicht hinter-lüftete Fassade durch den Einbau der RETROLux 20 mm



(Quelle: Köster Lichtplanung)

Bild 8 Zweischalige, nicht hinterlüftete Fassade
Two-shell, non-ventilated facade



(Quelle: Köster Lichtplanung)

Bild 9 Durchsicht des Behangs während aktiven Sonnenschutzes. Die Lamellen sind trotz der Lichtlenkung und des Sonnenschutzes kaum sichtbar.
Visibility through the curtain during active sun protection. Despite the light control and sun protection, the slats are barely visible.

Jalousie der Firma RETROSolar im Jahr 2020/21 saniert (Bilder 8 und 9). Insgesamt wurden 2300 Jalousien in 10.000 m^2 Fassade verbaut. Zum Einsatz kamen 24V Maxon-Motoren, die bis 5 m^2 große Jalousien auf- und abfahren. Im Ergebnis konnte darauf verzichtet werden, die Klimaanlage höher auszulegen – eine enorme Kosten- und Energieeinsparung in der Kältetechnik und im Stromverbrauch (Tageslichtautonomie).

7 Zusammenfassung

Mittels eines lichttechnisch optimierten Behangs auf der Innenseite eines Fensterflügels ergibt sich ein hochwirk-samer Sonnenschutz (Bild 10). Im Vergleich zum Stand der Technik (gemäß DIN 4108-2, Tab. 7, F_C ca. 0,75–0,9) wird ein F_C -Wert von deutlich kleiner 0,2 realisiert [5]. Der geringe g_{ges} -Wert von 0,05 ist einem außenliegenden Sonnenschutz nicht nur gleichwertig, sondern als deut-lich besser zu bewerten, da die Fenster angekippt werden können, ohne den Innenraum mit Stauwärme zu belas-ten. Die sehr gute Durchsicht und die gleichzeitig vorhan-dene Tageslichtausleuchtung ist ein weiterer deutlicher Komfortfaktor und reduziert den Energieverbrauch für die elektrische Beleuchtung.

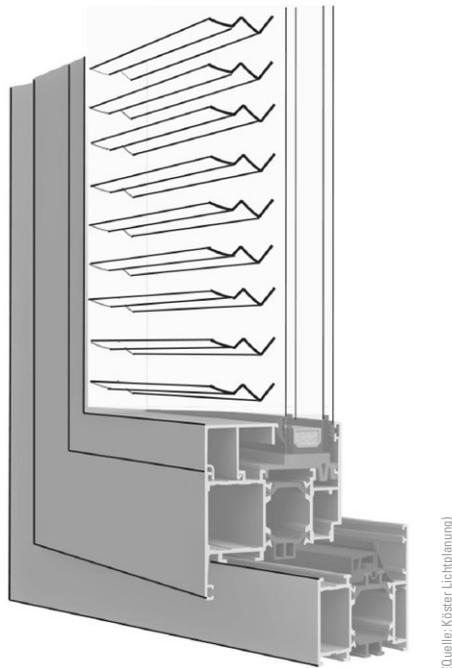


Bild 10 Die Messungen gelten für eine Fensterflügelmontage in einer Anordnung der RETROLux 20 mm Jalousie hinter Glas
The measurements apply to a casement installation in an arrangement of the RETROLux 20 mm blind behind glass

Für eine Messung nach DIN bei geschlossenem Behang und senkrechter Bestrahlung des Fensters ergibt sich ein

Literatur

- [1] DIN 5034:2021-08 (2021) *Tageslicht in Innenräumen*. Beuth, Berlin.
- [2] DIN EN 17037:2019-03 (2019) *Tageslicht in Gebäuden*. Beuth, Berlin.
- [3] DIN EN 410:2011-04 (2011) *Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen*. Beuth, Berlin.
- [4] DIN EN 14501:2021-09 (2021) *Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung*. Beuth, Berlin.
- [5] DIN 4108-2:2013-02 (2013) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. Beuth, Berlin.

Autoren

Dr.-Ing Helmut Köster (Korrespondenzautor)
info@koester-lichtplanung.de
Köster Lichtplanung
Karl-Bieber Höhe 15
60437 Frankfurt am Main

Andreas Stephan
andreas.stephan@zae-bayern.de
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

Elias Wolfrath
elias.wolfrath@zae-bayern.de
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

g-Wert von 0,04. Nur 4% der anfallenden Sonnenenergie dringt in den Innenraum ein.

8 Schlussbemerkung

Im Rahmen des Gesetzespaketes zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) emissionsfreie Gebäude zu erstellen, werden Gebäudeeigentümern Renovierungsverpflichtungen für kommerzielle sowie öffentliche Gebäude und Wohnungen auferlegt. Hierzu ist eine EU-Energieeffizienzskala A bis G in Vorbereitung, damit bis 2033 alle Wohn- und Nichtwohngebäude die Energieeffizienzklasse F realisieren. Bis 2050 sollen alle Gebäude emissionsfrei sein. Hierfür wird ein Renovierungspass eingeführt. Die Mitgliedstaaten haben bis 2025 nationale Aktionspläne vorzulegen und Strategien aufzuzeigen, wie auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe beim Heizen verzichtet werden kann. Weiterhin sind rechtliche Grundlagen zu erarbeiten, die Verwendung fossiler Brennstoffe sogar zu verbieten. Von diesen Verordnungen sind dann auch die Kälteanlagen zur Klimatisierung der Gebäude erfasst. Die Tageslichtumlenktechnik, die im Winter solare Zugewinne, im Sommer einen Schutz vor Überhitzung und ganzjährig die Tageslichtautonomie fördert, wird eine ganz wesentliche Rolle in der Umsetzung dieser ehrgeizigen Ziele spielen.

Stephan Weismann
stephan.weismann@zae-bayern.de
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

Zitieren Sie diesen Beitrag

Köster, H.; Stephan, A.; Wolfrath, E.; Weismann, S. (2022) *Tageslichtlenksysteme mittels Spiegeloptiken*. *Bauphysik* 44, H. 3, S. 172–178. <https://doi.org/10.1002/bapi.202200011>