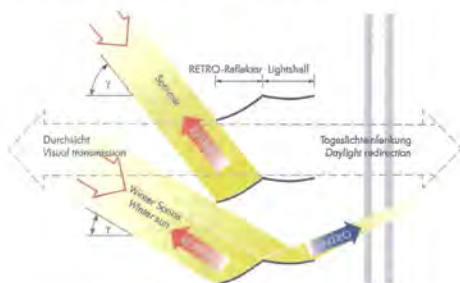


RETROTECHNIK Sonnenschutz- und Tageslichtsysteme

Die Retrotechnik (von lat. retro = rückwärts) dient in der Architektur dem Sonnenschutz und ist eine einer Jalousie Lamelle applizierte Optik, um einfallendes Sonnenlicht weitgehend unabhängig von der Sonneneinfallrichtung mindestens grobenteils in Richtung des Himmels zurückzereflektieren. Dieser Vorgang wird auch als Retroreflexion bezeichnet. Funktionselement der Retrotechnik sind Retrolamellen. Die Retrotechnik wird seit 1988 primär im Isolierglas eingesetzt, seit 2001 sind Tageslichtjalousien mit Retrolamellen im Einsatz, primär bei Büroaufassaden sowie für Glasdachkonstruktionen.

Hintergrund der Entwicklung

Weißer Lamellen reflektieren in der Abhängigkeit vom Glanzgrad der Lackoberflächen weitgehend diffus in alle Richtungen gleichmäßig. Dies führt zu Blendungen und verhindert eine präzise Lichtführung zur Erzielung berechenbarer Größen der Schutzfunktion (Gesamtenergiedurchgang g) und Versorgungsfunktionen (Lichttransmission) eines Fensterbehanges. Retroreflektierende Lamellen lenken einfallendes Sonnenlicht monorefektiv, d. h. primär mit einer einzigen Reflexion zurück in den Himmel. Die Präzisionsoptik ermöglicht es ein Gebäude hinsichtlich seines Kühllastbedarfes infolge Sonneneinstrahlung genau zu berechnen und die Innenräume in der Raumtiefe gezielt mit Tageslicht zu versorgen. Die Monorefektivität reduziert die Absorption an den Lamellen auf ein Minimum und ermöglicht eine hohe Präzision der Lichtführung und damit auch die exakte Bestimmung der Licht- und Energietransmission. Das energetische Verhalten von Fassaden, das aus externen Wärmelasten sowie aus Zugewinnen durch Solarstrahlung resultiert, wird beherrschbar.



Monorefektive Lichtumlenkung der Sommer- und Winter-sonne bei offener Jalousie an einem Retro-Außenraffstore



Das Photonmapping der direkten Sonne zeigt die richtungsselektive Lichteinlenkung im unteren und oberen Fensterbereich. Abb.: Lars Grobe, Uni Luzern

Anwendung

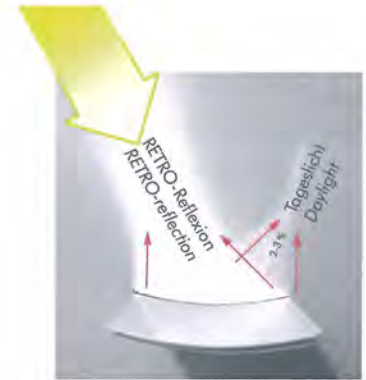
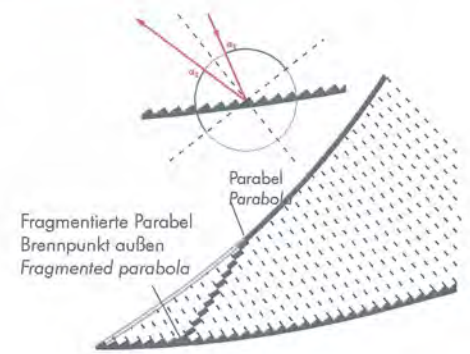
Die Retrotechnik wird Jalousielamellen entweder in der Art einer Mikrostruktur auf- oder eingeprägt oder die Jalousielamellen werden im Rollformverfahren in parallele makrostrukturierte Reflektorteilstücke gefaltet, die nach der Sonne ausgerichtet sind, um einfallende Sonnenstrahlung mit einer einzigen Reflexion zurück in den Himmel zu reflektieren.

Optik

Die Reflektorgeometrien der Retrolamellen basieren auf dem Prinzip von Fresnel-Spiegeln und bilden gegenüber der einstrahlenden Sonne bei flacher Lamellenanstellung einen Brennpunkt auf der Einstrahlungsseite der Jalousien und ermöglichen trotz Sonnenschutzfunktion eine gute Durchsicht des Behanges und einen diffusen Lichteintritt. Weitere Optiken ermöglichen dichotome Lamellenstrukturen mit bifokaler Lamellenoptik, wobei ein zweiter Fokus auf der zum Innenraum hin gelegenen komplementären Lamellenhälfte angeordnet ist. Diese ermöglicht einen erhöhten Lichtzugewinn im Innenraum.

Nutzen

Die Retrotechnik im Jalousiebau zeichnet sich je nach Reflexionsvermögen der Oberflächen und in Abhängigkeit der spezifischen Optiken durch eine

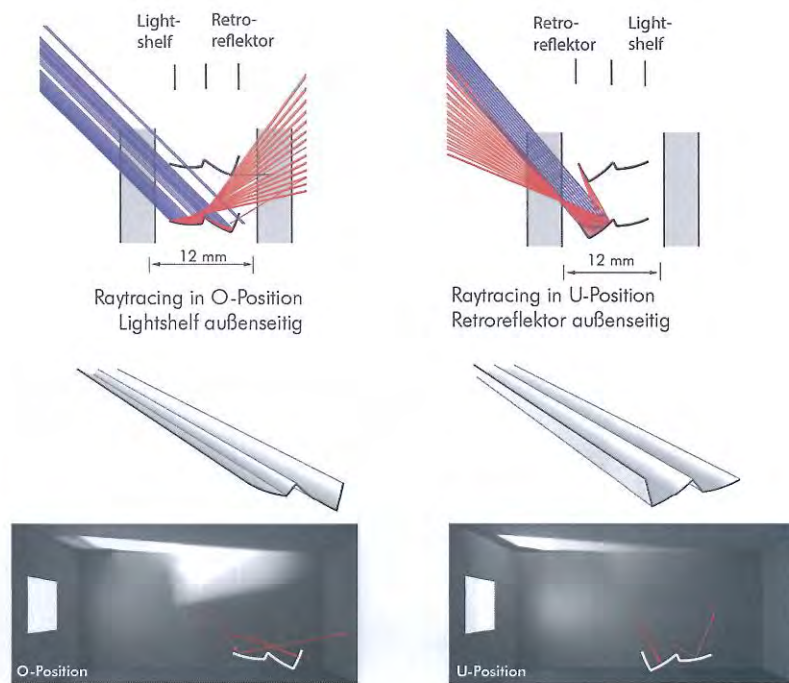
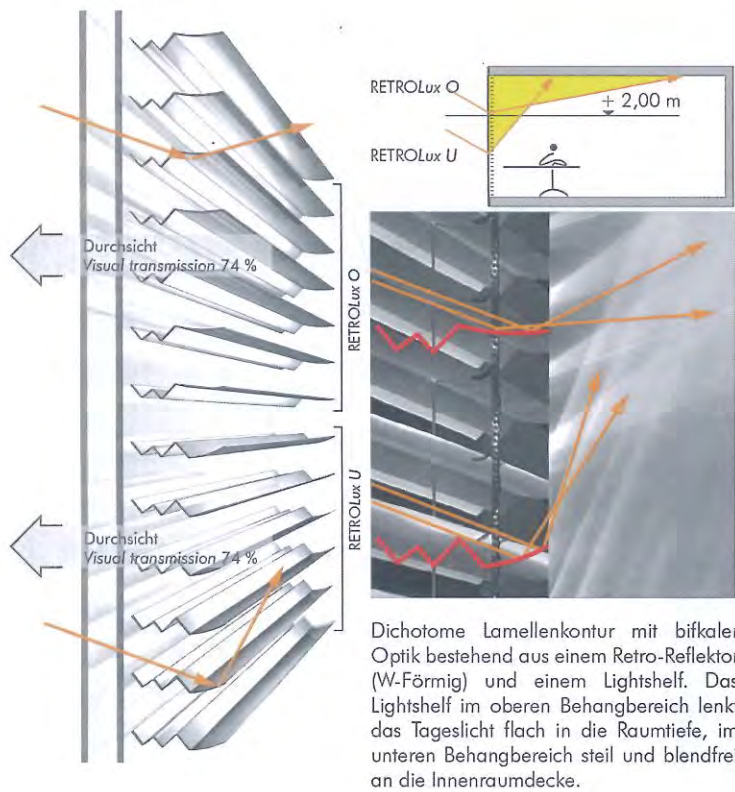


sehr geringe Gesamtenergietransmission (g -Wert) aus, wobei die Retrolamellen vorzugsweise in einer horizontalen bzw. flachen Position angeordnet sind, sodass sich bei minimalen g -Werten gleichzeitig eine optimierte Durchsicht und weiterhin eine verbesserte diffuse Raumausleuchtung durch den Lichteintritt zwischen den Lamellen und durch Lichteinlenkung ergibt. Ziel der Lamellenoptik ist eine Tageslichtautonomie durch Lichteintrag bei offenem Behang.

Ausführung von Retrolamellen

Man unterscheidet zwischen mikrostrukturierten, in die Oberflächen der Lamellen eingeprägten Fresnel-Optiken und makrostrukturierten, gefalteten Lamellenstrukturen. Des Weiteren unterscheidet man in Lamellen mit primär Lichtauslenkung (Schutzfunktion) und Lamellen mit Lichtein- und Lichtauslenkungsfunktion (Schutz- und Versorgungsfunktion). Diese Lamellen bestehen aus zwei parallelen Teilstücken, wobei vorzugsweise die nach außen orientierte Lamellenhälfte als Retroreflektor und die nach innen orientierte Lamelle als Lichtlenkschwert dient (bifokale Lamellenoptik). Hierdurch wird, ohne Wendung der Lamellen selbst, eine Einfallswinkelselektivität nur über den Einfallswinkel der Sonne erzielt, d.h., die hohe Sommersonne wird ausgelenkt, die flache Lichtstrahlung und ein Teil des diffusen Himmels wird zur verbesserten Raumtiefenausleuchtung immer eingelenkt, sodass sich je nach Sonnenstand bei flacher Lamellenanstellung ein dynamischer g -Wert ergibt.

Darüber hinaus unterscheidet man Lamellen für den oberen Fensterbereich mit flacher Lichteinlenkung zur Raumtiefenausleuchtung (O-Position) und für den unteren Fensterbereich mit steiler Lichteinlenkung an die Innenraumdecke zur Blendbegrenzung



Basisfunktionen der Retrolamellen mit bifokaler Optik
 O-Position für Oberlichtbereiche mit Zenitlicheinlenkung in große Raumtiefen
 U-Position für untere Fensterbereiche mit blendfreier Lichteinlenkung an die Innenraumdecke

(U-Position). Lamellen für den oberen Fensterbereich (O-Position) werden entweder mit Zenitlicheinlenkung oder mit Zenitlichtauslenkung ausgeführt, wobei das Lichteinlenkschwert im Falle der Zenitlicheinlenkung zum Sonneneinfall und im Falle der Zenitlichtauslenkung zum Innenraum angeordnet wird.

Richtungsselektive Lichteinlenkung

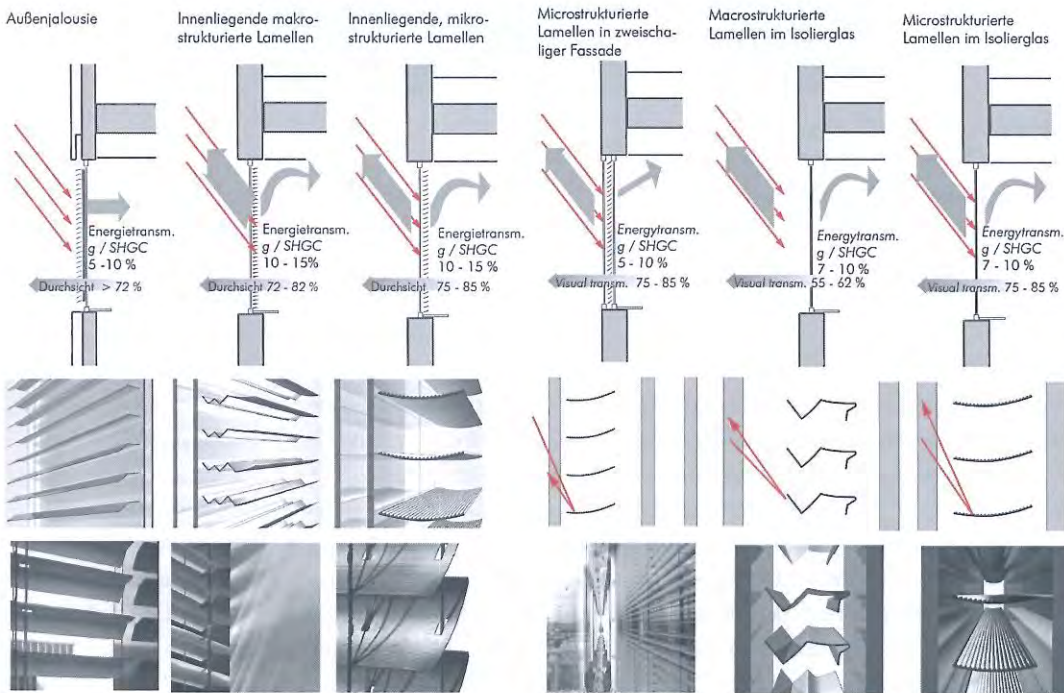
Zur Vermeidung von Blendung durch die Lichteinlenkung am spiegelnden Lightshelf wird dieses im oberen Fensterbereich flacher und im unteren Fensterbereich steiler eingestellt. Dies gewährleistet einen blendfreien Arbeitsplatz.

Retrolamellen in der Fassade

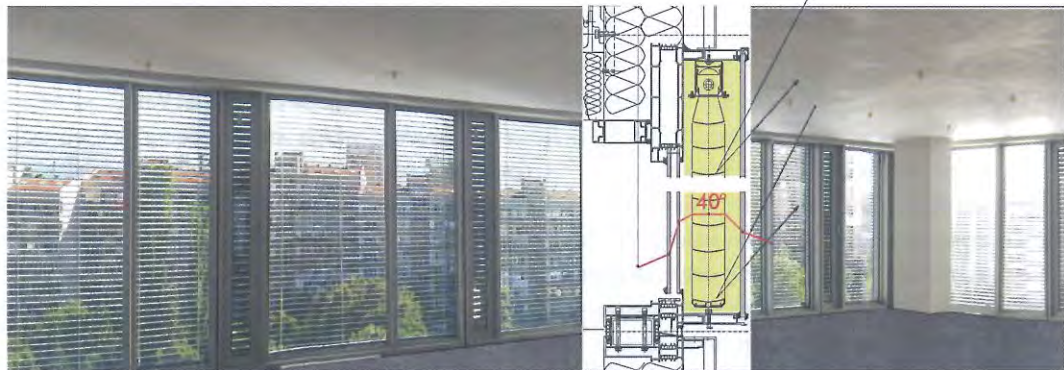
Die Retrolamellen werden entweder in Jalousiebehänge mit Wende- sowie Auf- und Abfahrfunktion eingebaut oder als fixierte Elemente. Die fixierte Anordnung wird für die isolierglasintegrierte Anordnung bevorzugt. Es gibt je nach Einsatzbereich in Fassaden Speziallamellen für Außenanwendung vor der Fassade (Tageslichtraffstore) oder Innenanwendung (im Innenraum hinter Glas) im Fassadenzwischenraum (zweischalige Fassade).

Steuerung der Retrotechnik

Die Retrotechnik steuert den Lichteinfall und die Energietransmission sonneneinfallswinkelselektiv. Eine Lamellennachführung wird erforderlich, wenn der Cut-off-Winkel unterschritten wird, d.h., wenn die Sonne zwischen den Lamellen in den Innenraum eindringt. Bei fixierten Systemen im Isolierglas wird innenraumseitig ein zusätzlicher Blendschutz empfohlen, während nachführbare Systeme den Sonnenschutz, die Lichteinlenkung und den Blendschutz in einem einzigen Produkt gewährleisten.

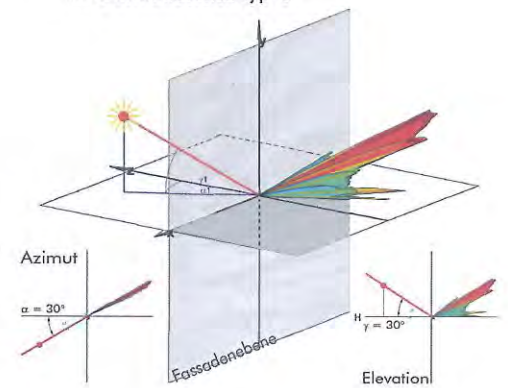


Fassadenintegration der Retrotechnik

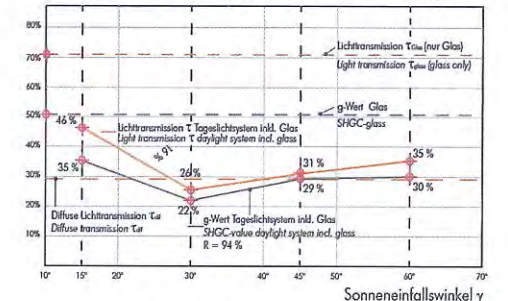


Ausführungsbeispiel einer zweischaligen nicht hinterlüfteten Fassade

für Oberlichtbereich Typ O



g-Wert mit Wärmeschutzglas, low-e auf Pos. 3 und 5 Typ O



O-Position									
$\alpha / ^\circ$	$\gamma / ^\circ$			$\alpha / ^\circ$	$\gamma / ^\circ$				
	15	30	45	60	15	30	45	60	
0	0,44	0,24	0,31	0,34	0	0,34	0,22	0,29	0,30
15	0,44	0,25	0,32	0,34	15	0,34	0,22	0,29	0,30
30	0,41	0,24	0,32	0,34	30	0,32	0,21	0,29	0,30
45	0,33	0,25	0,33	0,32	45	0,26	0,23	0,29	0,28
60	0,23	0,27	0,31	0,15	60	0,21	0,26	0,26	0,18

Radiometrisch gemessene Werte
TU Berlin, Institut für Lichttechnik, Prof. Dr. Kaase, Dr. Aydinli

Retrolamellen im SZR einer Isolierverglasung:
Gleichzeitigkeit von passiver Kühlung - Tageslicht - Durchsicht.

Retrolamellen in Glasdächern

Für Glasdächer gelten Sonderkonfigurationen mit an Breitengrad, Dachneigung und Himmelsrichtung angepassten Lamellenkippwinkeln und Lamellenabständen.

In Glasdächern werden vorzugsweise fixierte Systeme im Isolierglas eingesetzt. Die Lamellenkippwinkel und Abstände zwischen den Lamellen werden auch in Abhängigkeit der Funktion der Innenräume festgelegt. Beispielsweise werden für Wintergärten die Lamellen so ausgelegt, dass nur die hohe Sommersonne ausgeleitet, die flache Wintersonne jedoch eingelenkt wird (Solarzugewinn). Für große Glasdachkonstruktionen werden Konfigurationen bevorzugt, bei denen der Südhimmel vollständig ausgeblendet wird. Der Lichteintritt erfolgt über den diffusen Himmel aus Norden.

Oberfläche der Retrolamellen

Die Retrolamellen bestehen meist aus Reinstaluminium 99,9 mit glanzeloxierten Oberseiten (Gesamtreflexion 86%) oder mit zusätzlicher PVD-Beschichtung (Gesamtreflexion 96%). In der Innenanwendung kommen auch preiswertere elektrolytische Metallbeschichtungen zum Einsatz mit einer Gesamtreflexion von ca. 81%. Für Außenraffstoren werden übliche Aluminiumwalzlegierungen mit Klarlacken oder Reflexionslacken (ähnlich RAL 9006) eingesetzt.

Messtechnik

Die Lichtverteilung der optischen Spiegellamellen werden mit Raytracern (durch Strahlenverfolgung) berechnet oder radiometrisch vermessen. Die Lichtverteilung nach innen und/oder nach außen wird mittels Goniophotometern bestimmt und als BDRF (Bidirectional Distribution Reflection Function) oder als BDTF (Bidirectional Distribution Transmission Function) dargestellt.

Die Simulation der Innenraumausleuchtung erfolgt mittels BDTF-Daten in Radiance oder mittels OLDS-Daten in DIALux Evo. Die Visualisierung der Lichtströme erfolgt als Photonmapping, d.h. durch Verfolgung der einzelnen Lichtphotonen.

Wirtschaftlichkeit der Retrotechnik

Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich aus folgenden Einsparungen: Einsparung elektrischer Beleuchtung (Tageslichtautonomie), Einsparung an Kühllast (g-Wert-Verbesserung), Einsparung an Wartungskosten und Einsparung infolge von „well being“ am Arbeitsplatz (reduzierte Fehlzeiten, bessere Gesundheit). Die Einsparungen ergeben sich aus einer Gegenüberstellung einer Standardausführung zu einer Best-Practice-Ausführung der Fassaden. Rein beispielhaft wird als Standard der außen liegende Sonnenschutz einer Best-Practice-Lösung mit der Retro-Technik im Isolierglas gegenübergestellt. In Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer und der Himmelsrichtung

der Fassaden und den Einsparungen von Wartungskosten sind Mehrkosten im Schnitt in 4-5 Jahren amortisiert. Um die Einsparungen über den Lebenszeitraum zu ermitteln, sind diese unter Berücksichtigung der tatsächlichen Energiepreissteigerungsrate zu akkumulieren. Die Energiepreissteigerungsrate in Deutschland betragen während der vergangenen 15 Jahre im Schnitt 10% pro Jahr.

Lichtgestaltung durch Retrotechnik

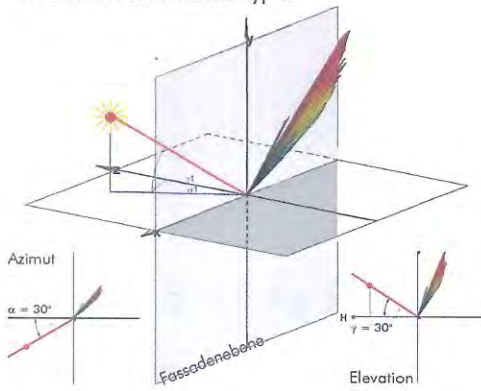
Die Retrotechnik mit bifokaler Lamellenoptik erlaubt jahres- und tageszeitlich angepasste Lichtszenarien im Innenraum mit erhöhter indirekter Licht- und Energieeinfutung im Winter und reduziertem Energieeintrag durch flache Lichteinlenkung von Zenitstrahlung im Sommer.

Die Besonderheit der bifokalen Optik liegt in der winkelabhängigen Steuerung. Eine Lamellennachführung ist nur für sehr flache Sonneneinfallswinkel erforderlich. Die Regie der Lichtlenkung in den Innenraum durch die Retrotechnik unterliegt dem Urheberrecht und ermöglicht ein bisher nicht gekanntes Raumerlebnis infolge sich ständig ändernder Lichtprojektionen in die Raumtiefe abhängig von Tageszeiten und Jahreszeit.

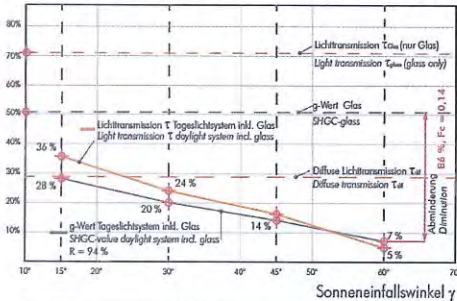
Gesund durch bessere Tageslichtversorgung

Lichteinlenkssysteme verbessern das Tageslichtniveau in Innenräumen signifikant. In Langzeitstudien

für unteren Fensterbereich Typ U



g-Wert mit Wärmeschutzglas, low-e auf Pos. 3 und 5 Typ U

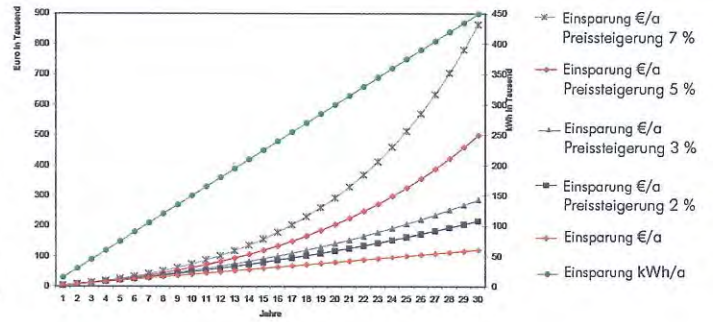


U-Position									
$\alpha / ^\circ$	$\gamma / ^\circ$				$\alpha / ^\circ$	$\gamma / ^\circ$			
	15	30	45	60		15	30	45	60
0	0,36	0,24	0,16	0,05	0	0,28	0,20	0,14	0,07
15	0,36	0,23	0,15	0,05	15	0,28	0,20	0,14	0,07
30	0,37	0,21	0,13	0,05	30	0,28	0,19	0,12	0,07
45	0,31	0,18	0,08	0,04	45	0,25	0,17	0,08	0,04
60	0,19	0,11	0,05	0,03	60	0,19	0,12	0,07	0,04

Einsparungen aufgrund verbesserter Tageslichtautonomie und verminderter Kühllast.

Fassadenfläche / Glasfläche 329 qm
 Sonnenstunden auf Südfassade 1.127 h
 Tageslichtautonome Raumtiefe 7,2 m
 Höhe der Verglasung 2,38 m
 EER 1,33
 Strompreis 0,27 €/kWh

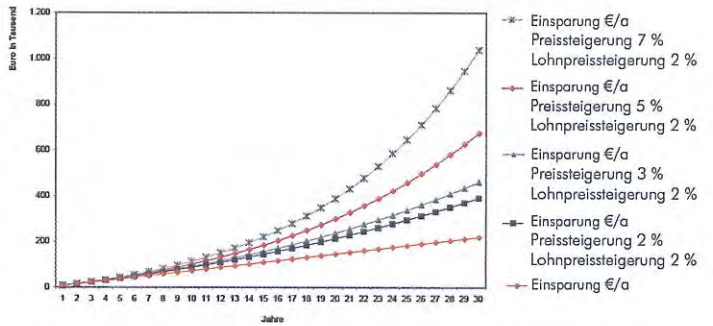
Einsparung kWh im ersten Jahr 14.984 kWh
 Einsparung € im ersten Jahr 4.046 €



Einsparungen von Kosten für Wartung und Reparatur des außenliegenden Sonnenschutzes

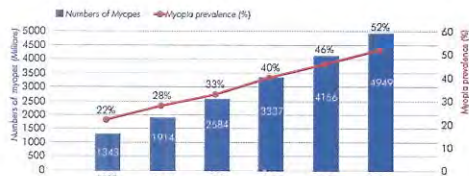
Fassadenfläche / Glasfläche 329 qm
 jährliche Wartungskosten Raffstore 5 €
 jährliche Reparaturkosten Raffstore 5 €

Einsparung € im ersten Jahr 7.336 €



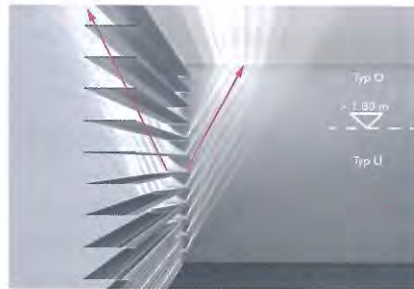
Wirtschaftlichkeitsberechnung am Beispiel einer Schule, Standort Frankfurt, Süd-West-Fassade (329 qm).
 Ermittlung der Einsparungskosten für Isolierglas integrierte Lichtlenksysteme gegenüber außenliegenden Raffstoren. 90 €/qm
 Mehrkosten Fassade
 Amortisation der Mehrkosten infolge Einsparung von elektrischer Beleuchtung, Kälteleistung und Wartungskosten: 4-5 Jahre

mit außen liegenden RETROLux-Haftstoren wurde festgestellt, dass mehr Tageslichteinlenkung in Schulen stressreduzierend wirkt. Auch wird die Tagesmüdigkeit der Schüler reduziert. Des Weiteren wurden ein schnelleres Arbeitstempo und eine erhöhte Konzentrationsfähigkeit festgestellt. Blutuntersuchungen bei den Jugendlichen zeigen einen stärkeren Abbau des Stresshormons Cortisol und des Melatoninspiegels von bis zu 30%. Der Serotoninspiegel – verantwortlich für Glückseligkeit und Lebensfreude – war in Langzeitstudien in Schulklassen mit besserer Tageslichtversorgung deutlich angehoben. Infolgedessen waren auch das soziale Verhalten und die Lernbereitschaft deutlich verbessert. Schulkinder leiden heutzutage zunehmend an Kurzsichtigkeit. In Asien sind schon bis zu 95% der 14-jährigen von Kurzsichtigkeit betroffen, wie eine WHO-Studie in Shanghai feststellt. Einzige medizinisch empfohlene Maßnahme der WHO gegen Myopie ist mehr Tageslicht. Hier hilft die Retrotechnik mit Lichteinlenkung, die Pandemie einzudämmen.

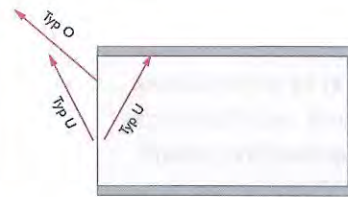


Report of the Joint World Health Organization - Brien Holden Vision Institute
 Global Scientific Meeting on Myopia, University of New South Wales, Sydney, Australia, 16-18 March 2015

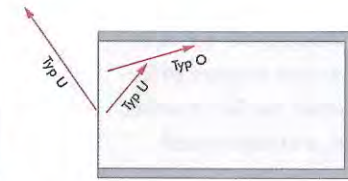
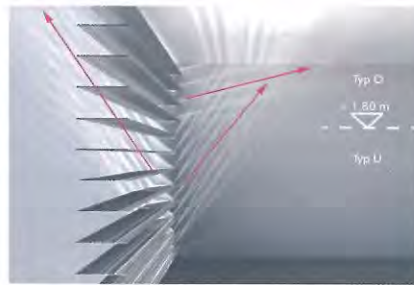
Weblinks: www.retrosolar.de



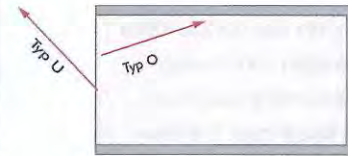
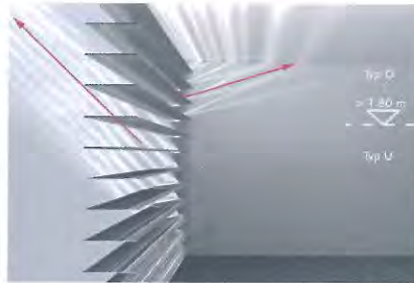
Mittels Lichteinlenkung an Ganzglasfassaden kann eine Tageslichtautonomie bis 10 m Raumtiefe realisiert werden.



Winterlicher Solarzugewinn durch Lichteinlenkung im unteren Fensterbereich.



Übergangszeit mit teilweiser Lichteinlenkung und Lichtauslenkung.



Sommer: primär Sonnenschutz. Zenitlichtgewinnung im Oberlicht.

Herstellerverzeichnis

RETROSolar, Kirn / BGT, Bretten / Amberger Glas, Amberg / Saint-Gobain Glassolutions Radeburg / Glas Arnold, Kirchberg / Union Glas, Italien / Alico Egypt / SSG Singapore Safety Glass / StarGrup, Türkei

Autor Dr.-Ing. Helmut Köster, Dipl.-Ing. Architekt

Entwickler der Retrotechnik für Sonnenschutzlamellen

www.koester-lichtplanung.de

References

- [1] Hartl, A.: Tageslichtlenkung zur Reduzierung von Stress und Tagesmüdigkeit bei Schulkindern, Paracelus Medizinische Privatuniversität Salzburg, Sonderdruck Institut für Ecomedicine, pp 1-8, 2018.
- [2] Bahnsen, U.: Ist das noch zu lesen, oder schauen Sie zu oft auf ihr Handy? Zeit, 30.05.2018, p 29ff.
- [3] Grobe, Lars. O., Bidirectional Scatter Distribution Function of two Metal Sheets, CC Envelopes and Solar Energy, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, Summary of measurements, Oct. 10, 2015
- [4] Schregle, R.: Development and Integration of the RADIANCE Photon Map Extension – Technical Report -, Rev. 1.14, CC Envelopes and Solar Energy, Lucerne University of Applied Sciences and Arts, June 1, 2015
- [5] Aydinli, S., Gramm, S., Kaase, H., Köster, H.: Einbindung tageslichttechnischer Messwerte in Planungsprogramme am Beispiel eines neuartigen Sonnenschutzsystems, Bauphysik 37 (2015), Heft 15, pp 257-262, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [6] Köster, H.: Dynamic Daylight Architecture, Birkhäuser Publisher, Basel, 2004
- [7] Köster, H.: Tageslicht modulieren - Daylight Modulation, Strategies for Adaptive Facades, Witag Publisher, Frankfurt, 2014