

## PROSA Tageslichtlenksysteme

Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Studie im Rahmen des Projekts  
„Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“

Berlin, den 1.11.2012

### **Autoren:**

Günter Dehoust

Peter Gebhardt

### **Projektleitung:**

Jens Gröger

### **Öko-Institut e.V.**

#### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71

79017 Freiburg, Deutschland

#### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg, Deutschland

**Tel.** +49 (0) 761 – 4 52 95-0

**Fax** +49 (0) 761 – 4 52 95-88

#### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt, Deutschland

**Tel.** +49 (0) 6151 – 81 91-0

**Fax** +49 (0) 6151 – 81 91-33

#### **Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7

10179 Berlin, Deutschland

**Tel.** +49 (0) 30 – 40 50 85-0

**Fax** +49 (0) 30 – 40 50 85-388



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



**DIE BMU  
KLIMASCHUTZ-  
INITIATIVE**

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den  
**beidseitigen Druck** ausgelegt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>Methodisches Vorgehen</b>	<b>5</b>
<b>1 Definition der Produktgruppe</b>	<b>6</b>
1.1 Raffstoren	7
1.2 Lichtlenkjalousien im Innenbereich	8
1.3 Tageslichtlenkung innerhalb von Isolierglasscheiben	10
1.4 Lichtschwerter	13
1.5 Prismensysteme	14
1.6 Holographisch-optische Elemente (HOE)	16
<b>2 Markt- und Umfeldanalyse</b>	<b>16</b>
2.1 Markttrends	16
2.2 Marktsättigung	17
2.3 Preise	18
2.4 Materialaufwendungen	19
2.5 Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme	19
<b>3 Technologietrends</b>	<b>21</b>
<b>4 Energieeffizienz</b>	<b>21</b>
<b>5 Nutzenanalyse</b>	<b>25</b>
5.1 Gebrauchsnutzen	25
5.2 Symbolischer Nutzen	26
5.3 Gesellschaftlicher Nutzen	26
5.4 Entsorgung	26
<b>6 Öko-Bilanz und Lebenszykluskostenanalyse</b>	<b>27</b>
<b>7 Eignung der Produktgruppe zur Umweltkennzeichnung</b>	<b>27</b>
<b>8 Ausblick</b>	<b>28</b>
<b>9 Literatur</b>	<b>29</b>



## Einleitung

Die vorliegende Untersuchung zu Lichtlenksystemen ist Teil des mehrjährigen Forschungsvorhabens „Top 100“, bei dem die aus Klimasicht wichtigsten Haushaltsprodukte im Hinblick auf ökologische Optimierungen und Kosteneinsparungen bei Verbrauchern analysiert werden.

Auf Basis dieser Analysen können Empfehlungen für verschiedene Umsetzungsbereiche gegeben werden:

- für Verbraucherinformationen zum Kauf und Gebrauch klimarelevanter Produkte (einsetzbar bei der Verbraucher- und Umweltberatung von Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Umweltportalen),
- für die freiwillige Umweltkennzeichnung von Produkten (z.B. das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“, für das europäische Umweltzeichen, für Marktübersichten wie [www.topten.info](http://www.topten.info) und [www.ecotopten.de](http://www.ecotopten.de) oder andere Umwelt-Rankings),
- für Anforderungen an neue Produktgruppen bei der Ökodesign-Richtlinie und für Best-Produkte bei Förderprogrammen für Produkte,
- für Ausschreibungskriterien für die öffentliche und umweltfreundliche Beschaffung,
- für produktbezogene Innovationen bei Unternehmen.

## Methodisches Vorgehen

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes relevant sind – neben Energieverbrauch und Treibhauseffekt kommen Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der vom Öko-Institut entwickelten Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt (Abbildung 1). PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz, der Lebenszykluskostenberechnung und der Nutzen-Analyse die erforderlichen Teil-Methoden zur integrativen Entwicklung der relevanten Vergabekriterien.

Da soziale Aspekte bislang nicht oder nicht quantifizierbar in Umweltzeichen einbezogen werden, wird im Rahmen dieser Studie keine Sozialbilanz durchgeführt. Grundsätzlich eignet sich die Methode PROSA jedoch auch zur Identifizierung von sozialen Hot-Spots, die entlang des Lebensweges von Produkten auftreten.



Abbildung 1 Screening-PROSA für die Entwicklung von Vergabekriterien für Umweltzeichen

## 1 Definition der Produktgruppe

Die Angaben für die Beschreibung der einzelnen Systeme sowie für die Markt- und Umfeldanalyse beruhen auf Internetrecherchen, Herstellerangaben und Experteninterviews in Deutschland, sofern nicht anders angegeben.

Unter dem Begriff „Tageslichtlenkung“ werden Techniken zusammengefasst, die Tageslicht z.B. durch Fenster gezielt in den tieferen Innenraum lenken.

Systeme zur Tageslichtlenkung unterscheiden sich hinsichtlich

- der physikalischen Prinzipien der Lichtumlenkung (Reflexion, Brechung, Beugung),
- der Anordnung der Lichtlenkung (Dach oder Fassade),
- der Einbauposition (außen, im Isolierglaszwischenraum oder innen),
- der Materialien in den lichtlenkenden Bauteilen (Aluminium, Kunststoffe, Stahl, Glas, metallische Folien, etc.) und
- ihrer Regulierbarkeit.

Weiterhin wird zwischen direkten und indirekten Systemen unterschieden. Zu den direkten Systemen gehören Raffstoren im Außenbereich, Jalousien für den Innenbereich, Systeme für den Zwischenfensterbereich, Prismensysteme, optische Spiegel- und Reflektionssysteme und holographisch-optische Systeme. Als indirekte Systeme, die das Licht nicht nur umlenken sondern auch leiten, werden Heliostaten, Lightpipes und Lichtkamine genannt.

Im Rahmen dieser Untersuchung werden nur direkte Tageslichtlenksysteme betrachtet. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

Die Abbildung 2 zeigt das Prinzip der Tageslichtlenkung am Beispiel einer Lichtlenkjalousie im Oberbereich des Fensters eines Büroraumes.

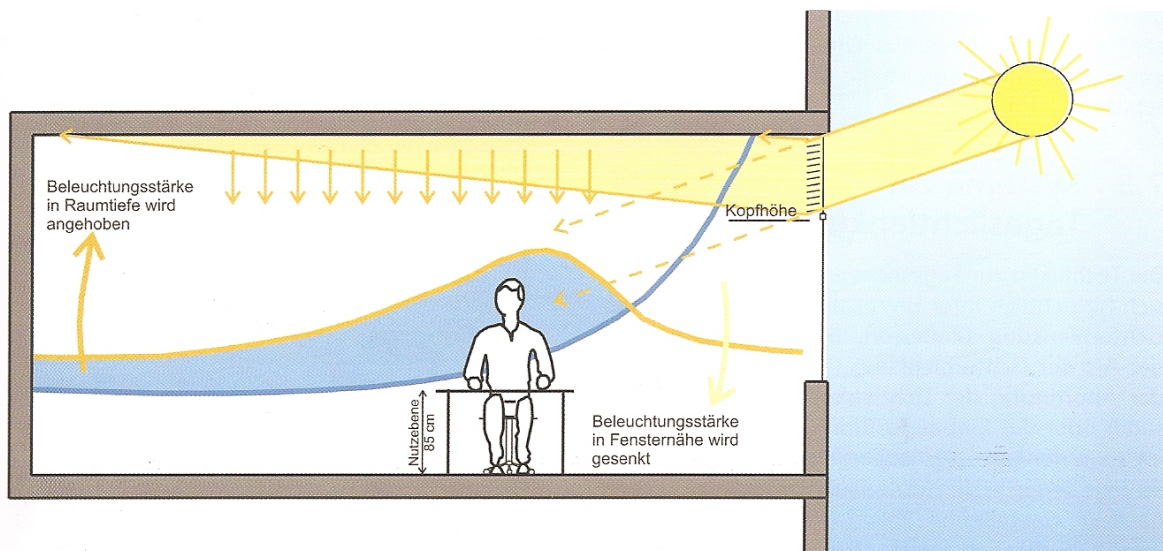


Abbildung 2 Prinzip der Tageslichtlenkung (Quelle: Haas-Arndt/Ranft 2007)

## 1.1 Raffstoren

Bei Raffstoren handelt es sich um Lamellensysteme, die im Außenbereich eingesetzt werden (Außenjalousien). Die Lamellen können in einen Kasten eingefahren werden und sind beweglich. Werden Raffstoren mit Lichtlenklamellen eingesetzt, sind diese im Oberlicht des Fensters angebracht. Die Wölbung der Lamelle zeigt nach unten (siehe Abbildung 2). Um einen ausreichenden Blendschutz zu gewährleisten, muss die verbleibende Fensterfläche, z.B. durch einen herkömmlichen Raffstore, zusätzlich verschattet werden. Meistens lassen sich beide Raffstoreteile unabhängig voneinander verstellen. Die Lichtlenklamelle im Raffstore lenkt das direkte Sonnenlicht an die Raumdecke. Von dort streut es in den Raum. Das diffuse Tageslicht gelangt direkt in den Raum.

Raffstoren werden i.d.R. aus Aluminium hergestellt. Die Aluminiumlamellen sind weiß lackiert. Als Alternative kann hochglanzgewalztes Aluminium eingesetzt werden.

Es werden Systeme mit oder ohne automatische Steuerung angeboten.

Der Vorteil gegenüber innen liegenden Systemen besteht darin, dass die Wärme durch reflektierte Sonnenstrahlung nicht wieder durch die Scheibe nach außen abgeleitet werden muss.

Ein wesentlicher Nachteil ist die höhere Verschmutzungsneigung, bedingt durch die Anordnung im Außenbereich. Raffstoren, die als Lichtlenksysteme eingesetzt werden, müssen daher regelmäßig einer Reinigung unterzogen werden.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass Raffstoren nur bis zu einer bestimmten Gebäudehöhe eingesetzt werden können. Je höher das Gebäude, desto höher ist auch der Windanriff auf die Fassade. Ab einer bestimmten Gebäudehöhe ist der Einsatz von Raffstoren daher problematisch. In Hochhäusern werden daher i.d.R. innenliegende Systeme oder Zwischenfensterlösungen eingesetzt.

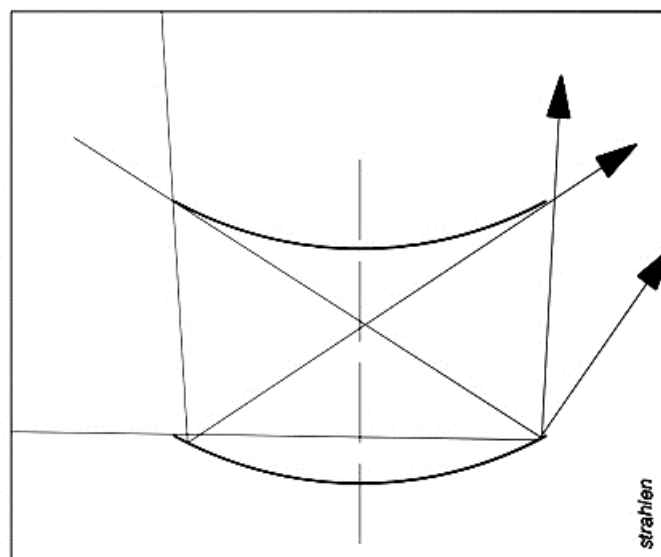


Abbildung 3 Funktionsprinzip einer Lichtlenklamelle in einem Raffstore zur Tageslichtlenkung  
(Quelle: Warema 2012)

Bei stärkeren Winden müssen auch Raffstoren, die an niedrigeren Gebäuden eingesetzt werden, hochgefahren werden. Der Sonnenschutz sowie die Lichtlenkwirkung entfallen dann.

## 1.2 Lichtlenkjalousien im Innenbereich

Lichtlenkjalousien im Innenbereich funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie Raffstoren mit Lichtlenkwirkung. Im Gegensatz zu herkömmlichen Jalousien zum Sonnenschutz werden Lichtlenkjalousien mit der konkaven Seite nach oben meist innenseitig vor das Oberlicht des Fensters angeordnet.

Die Lamellen bestehen aus Aluminium.

Mittlerweile sind auch Modelle auf dem Markt, die im unteren Bereich des Fensters eingesetzt werden können. Die Lamellen sind nahezu waagrecht und so konstruiert, dass sie bei



steil einfallendem Sonnenlicht die Lichtstrahlen nach außen reflektieren und bei flach einfallenden Sonnenstrahlen diese in einem sehr steilen Winkel an die Decke im Raum lenken. Diffuses Licht wird aufgrund der waagerechten Lamellen weitgehend ungehindert in den Raum gelassen (siehe Abbildung 4). Der Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass sie im Gegensatz zu herkömmlichen Lammelensystemen zur Lichtlenkung, die nur im Oberlicht angebracht sind, wesentlich mehr Licht ins Innere eines Raumes lenken können und damit den Tageslichtquotienten<sup>1</sup> erhöhen. Gleichzeitig kann der Betrachter im Raum durch die waagrecht angeordneten Lamellen hindurch sehen.

Lichtlenkjalousien im Innenbereich werden insbesondere in Bürohochhäusern eingesetzt, bei denen der Einsatz von Raffstoren nicht mehr möglich ist. Grundsätzlich ist der Einbau auch in niedrigeren Gebäuden möglich.

Es werden Systeme mit oder ohne automatische Steuerung angeboten.

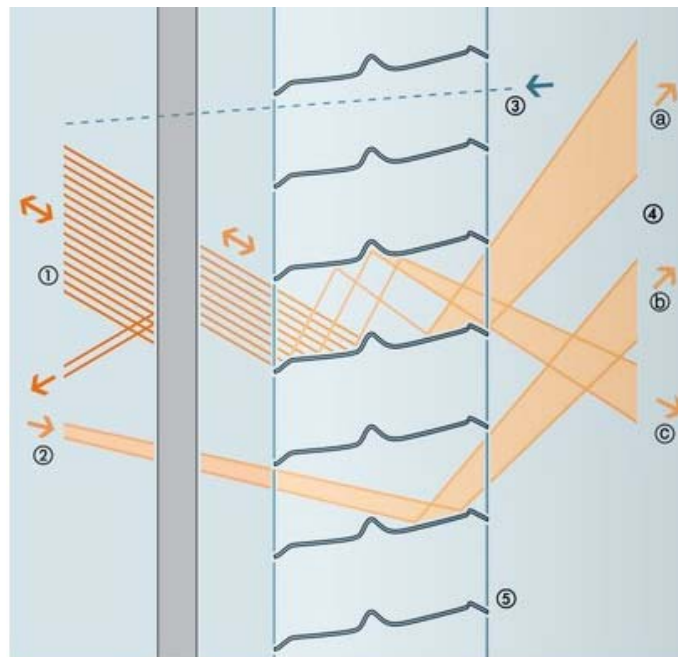


Abbildung 4 Funktionsprinzip einer Lichtlenkjalousie für den Innenbereich, die auch in unteren Fensterbereichen eingesetzt werden kann (Quelle: Warema 2012a)

<sup>1</sup> Der Tageslichtquotient beschreibt das Verhältnis von Innenbeleuchtungsstärke zu Außenbeleuchtungsstärke und wird in Prozent angegeben.

### 1.3 Tageslichtlenkung innerhalb von Isolierglasscheiben

Lichtlenksysteme, die innerhalb von Isolierglasscheiben angeordnet sind, werden auf dem Markt in verschiedenen Ausführungsformen angeboten. Allen Systemen ist gemeinsam, dass sie verschmutzungsunempfindlich sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass direkte Sonnenstrahlen und damit Wärme nicht in den Raum gelangen, da sie bereits vor der zweiten Isolierglasscheibe wieder reflektiert werden. Eine Windempfindlichkeit ist ebenfalls nicht gegeben.

Nachteilig wirkt sich der im Vergleich zu Jalousien und Raffstoren meist deutlich höhere Preis aus. Ein weiterer Nachteil ist, dass bei Reparaturen zumeist die gesamte Scheibe ausgetauscht werden muss.

#### Jalousien

Weit verbreitet sind Systeme, in denen Jalousien zwischen die Isolierglasscheiben eines Fensters eingebaut sind. Auf dem Markt werden Techniken angeboten, die sowohl beweglich als auch starr sind. Die Funktionsweise gleicht derjenigen von innen liegenden Lichtlenklamellen.

Häufig lassen sich Lichtlenksysteme bei Zwischenscheibenlösungen nicht hochfahren, sondern sind fest installiert. Dies führt dazu, dass an Tagen, an denen keine direkte Sonneneinstrahlung vorliegt und damit nur diffuses Licht durch die Fenster dringt, das System Licht schluckt und damit gegenüber einem flexiblen System oder einem herkömmlichen Sonnenschutz ohne Lichtlenksystem erhebliche Nachteile aufweist.

Auf dem Markt werden sowohl starre Systeme als auch Systeme, die automatisch oder manuell nachjustiert werden, angeboten.

Bei den früheren Systemen traten relativ häufig technische Probleme auf, die dazu führten, dass Lichtlenkjalousien im Scheibenzwischenraum einen schlechten Ruf erlangten. Beispielsweise kam es durch unzureichend bemessene Abstände der Jalousien zum Glas wiederholt dazu, dass sich die Jalousien verklemmten.

Die Lichtlenklamellen können sowohl in Aluminium als auch in Stahl ausgeführt werden.

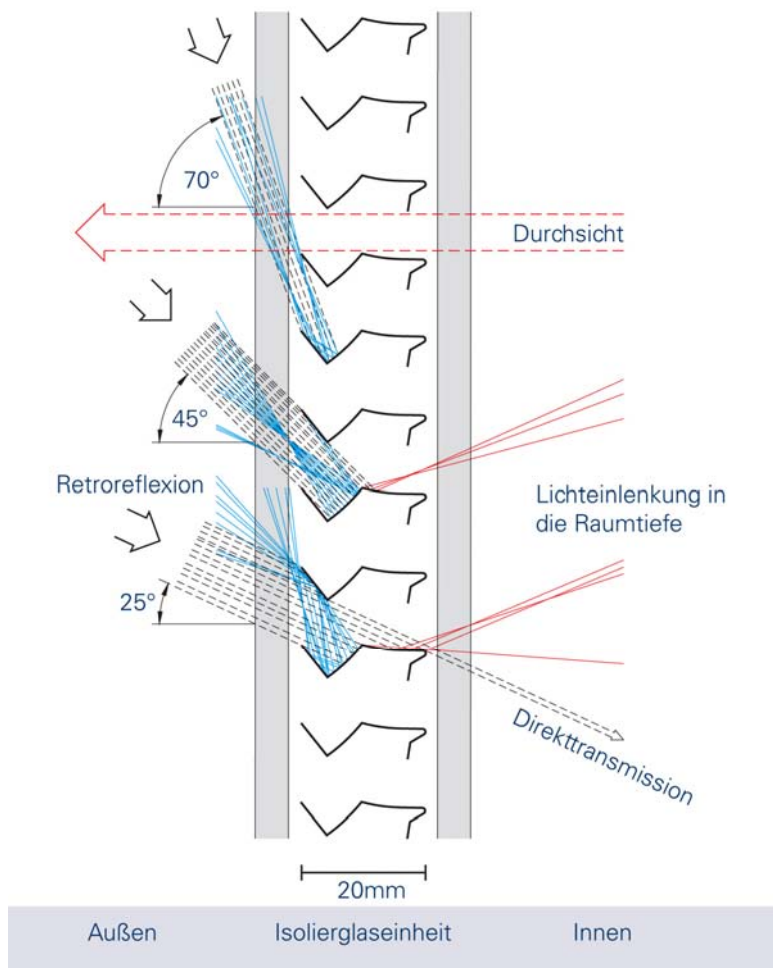


Abbildung 5 Funktionsprinzip einer Lichtlenklamelle innerhalb von Isolierglasscheiben (Quelle: Retroflex 2012)

### Micro-Sonnenschutzraster

Micro-Sonnenschutzraster reflektieren das aus bestimmten Richtungen auftreffende direkte Sonnenlicht nach außen und lassen das aus den übrigen Richtungen auftreffende diffuse Tageslicht hindurch.

Hierdurch wird die "heiße" Wärmestrahlung der Sonne vom Innenraum abgehalten, die Blendwirkung der Sonne verringert, und gleichzeitig wird ein Maximum an "kühlem" diffusem Tageslicht in den Innenraum durchgelassen. Der Sperr- bzw. Durchlassbereich des Rasters bezogen auf den Tageslichthalbraum ergibt sich einerseits durch die spezielle Formgebung und wird andererseits durch die genaue Ausrichtung (Verdrehung) des Rasters gegenüber der Sonnenbahn erreicht.

Die Rasterelemente werden zunächst im Hochvakuum mit Reinstaluminium verspiegelt. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Rasterelemente zu größeren Einheiten zusammengefügt und entsprechend der geografischen Lage und den baulichen Gegebenheiten in die notwendige Form zugeschnitten. Um das verspiegelte Raster vor äußeren Einflüssen (Feuchtigkeit, Staub etc.) zu schützen, wird das Inlett mit einem speziellen Randprofil eingefasst. Auf dieses Randprofil werden Glasscheiben geklebt und mit einem Dichtstoff versiegelt. Das Rasterinlett kann mit unterschiedlichen Gläsern kombiniert werden, so dass die meisten bauphysikalischen Anforderungen erfüllt werden können.

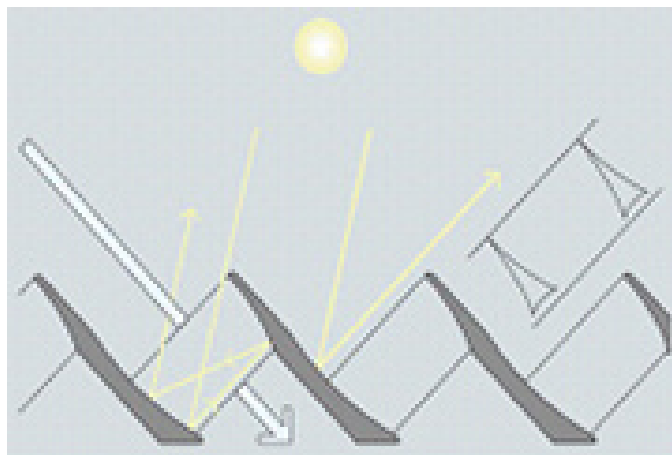


Abbildung 6 Funktionsprinzip Micro-Sonnenschutzraster (Quelle: Siteco 2012)

### Polyvinylstränge

Eine Firma bietet Polyvinylstränge an, die im Zwischenglasbereich stapelförmig aufeinander geschichtet sind. Das System wird im Oberlichtbereich des Fassadenfensters eingesetzt und ist nicht durchsichtig. Die Lichtlenkung erfolgt sowohl vertikal als auch horizontal. In der folgenden Abbildung ist das Funktionsprinzip dargestellt. Ein Einsatz im Oberlichtbereich ist ebenfalls möglich.

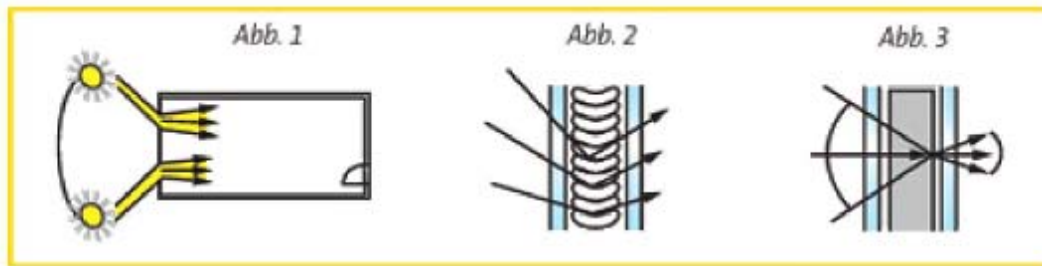


Abb. 1: Durch die unterschiedlichen Sonnenstände im Lauf des Tages ändert sich der Einfallswinkel des Lichts. *scg LUMITOP* gleicht diese Änderung aus und lenkt das Tageslicht im Raum komplett um.

Abb. 2: Funktionsdetail *scg LUMITOP*: vertikale Umlenkung des Lichts

Abb. 3: Funktionsdetail *scg LUMITOP*: horizontale Umlenkung des Lichts

Abbildung 7 Funktionsprinzip von gestapelten Polyvinylsträngen im Zwischenglasbereich

### Kapillargläser

Bei Kapillargläsern zur Lichtstreuung wird häufig eine Kapillareinlage zwischen den Glasscheiben eingesetzt. Die Kapillareinlage besteht aus einer Hohlkammerstruktur aus Kunststoff, z.B. PMMA, die sich durch hohe Lichtdurchlässigkeit auszeichnet.

Durch Kapillargläser ist eine hohe Lichttransmissionen von ca. 80 % möglich. Allerdings ist das Fenster nicht mehr durchsichtig.

Als Alternative sind auch 3-Scheibenlösungen auf dem Markt. Der Aufbau eines solchen Systems gestaltet sich z.B. folgendermaßen: Außenscheibe mit Sonnenschutzfunktion – Zwischenscheibe – Kapillareinlage aus PMMA Kunststoff - Glasfaservlies-Innenscheibe.

Solche Licht streuenden Verglasungen werden häufig im Oberlichtbereich eingesetzt.

### 1.4 Lichtschwerter

Waagrecht oder schräg vor die Fassade montierte Lamellen, die aus hoch reflektierenden Materialien bestehen, werden als Lichtschwerter oder Lightshelves bezeichnet. Ein Lichtschwert wird unterhalb des seitlichen Oberlichts im 90- oder 60-Grad-Winkel außen an der Fassade befestigt, so dass Licht aus dem Zenit auftreffen und an die Decke des Innenraums reflektiert werden kann. In der Abbildung 8 ist das Funktionsschema eines Lichtschwertes dargestellt.

Vorteile von Lichtschwertern bestehen darin, dass sie sich sowohl zur Lenkung von diffusem Licht als auch von direktem Sonnenlicht eignen. Eine effektive Ausleuchtung eines Raumes ist daher auch auf der Nordseite eines Gebäudes gegeben. Gegenüber Raffstoren zeichnen sich Lichtschwerter durch die wesentlich geringere Windanfälligkeit aus.

Nachteile sind die fehlende oder mäßige Regulierbarkeit des Systems. Auf Süd-, Ost- und Westfassaden kann es hierdurch zu Überhitzung oder Blendung kommen. Im direkten Fensterbereich senken Lichtschwerter allerdings das Tageslichtniveau aufgrund ihrer mangelnden Transparenz.

Lichtschwerter neigen zur Verschmutzung und müssen regelmäßig gereinigt werden. Als Blend- und Sonnenschutz sind sie nur bei sehr hoch stehender Sonne einsetzbar. Von Nordfassaden abgesehen, müssen sie daher mit anderen Systemen kombiniert werden.

Lichtschwerter konnten sich auf dem Markt bislang nicht richtig durchsetzen. Aufgrund des relativ hohen Herstellungsaufwandes wurden bislang nur Unikate gefertigt.

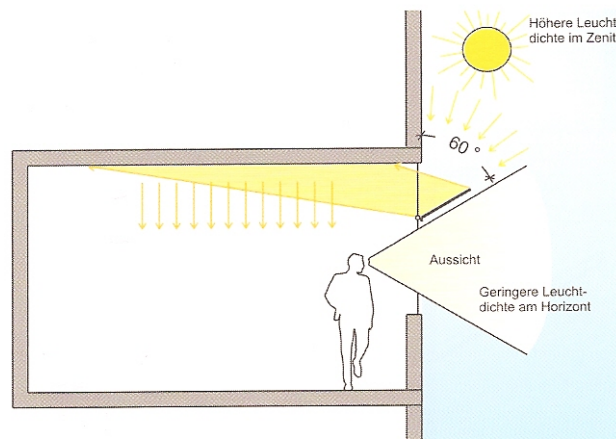


Abbildung 8 Funktionsprinzip eines Lichtschwerter (Quelle: Haas-Arndt/Ranft 2007)

## 1.5 Prismensysteme

Aufgrund ihrer Struktur brechen Prismensysteme das durch sie hindurch fallende Licht. Bei Prismenplatten ist die außen liegende Seite glatt, während die innen liegende Seite die Form rechtwinkliger Dreiecke bildet. Sie reflektieren das direkte Sonnenlicht und lassen nur diffuses Licht durch. Diffuses Licht weist eine etwas höhere Lichtausbeute auf. Die G-Werte<sup>2</sup> von Prismensystemen liegen im Bereich von 10 – 15 %. Die Abbildung 9 zeigt ein installiertes Prismensystem.

<sup>2</sup> Als G-Wert wird der Gesamtenergiedurchlassungsgrad bezeichnet. Er gibt an, wie viel Strahlung von außen durch die Fenster in den Innenraum dringt und dort für die Aufheizung des Innenraums sorgt.

Prismensysteme können vor oder hinter der Fassade positioniert werden. Sie können aber auch wartungsfrei im Scheibenzwischenraum oder als bewegliche Lamellenkonstruktion eingesetzt werden. Als Material wird hochtransparentes Acrylglas verwendet.

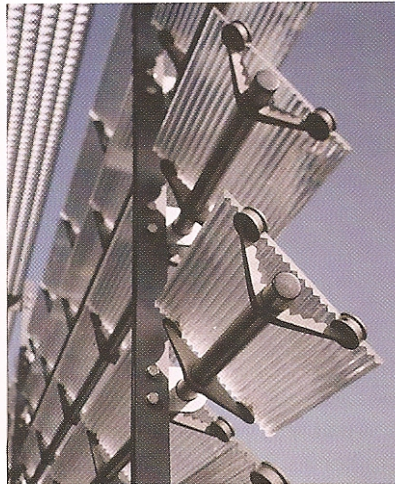


Abbildung 9 Prismensystem an der Hauptverwaltung der Sparkasse in Fürstenfeldbruck (Quelle: Haas-Arndt/Ranft 2007)

Um das direkt einfallende Sonnenlicht zu reflektieren, muss dieses jedoch genau senkrecht auf die Prismenflanken einfallen. Die Wirkung von Prismen lässt sich daher nur dann optimal entfalten, wenn diese in Abhängigkeit vom Tages- bzw. Jahresverlauf der Sonne durch elektronisch gesteuerte Antriebssysteme nachgeführt werden.

Der Einsatz von drehbaren Lamellen bietet den Vorteil, dass die Elemente im Winter parallel zum Sonneneinfall gedreht werden können und dadurch eine passive Solarbeheizung der Räume möglich machen.

Nachteilig ist, dass auch diffus eintretendes Licht, das durch Prismen nicht zurückgehalten wird, zu Blendwirkungen führen kann. Eine Möglichkeit besteht daher darin, Prismensysteme mit Lamellensystemen zur Lichtumlenkung zu kombinieren.

Ein weiterer Nachteil besteht in den relativ hohen Kosten.

Eine Firma bietet auch Deckenverglasungen mit Prismenplatten an. Es wird dabei auf zwei Ebenen gearbeitet. Auf der ersten Ebene wird ein Prisma eingesetzt, das das direkte Sonnenlicht umlenkt und zum Sonnenschutz dient. Auf der zweiten Ebene wird ein System mit Lichtumlenkung für das diffuse Licht, das die Prismen durchlässt, installiert.

## 1.6 Holographisch-optische Elemente (HOE)

Holographisch-optische Elemente bestehen aus sehr dünnen Filmfolien, die in Verbundglas oder Glaslamellen eingelegt sind und das Licht in seine Spektralfarben zerlegen können. Nur die Lichtstrahlen, die innerhalb eines bestimmten Wellenbereichs einfallen, werden gebeugt. Die Elemente sind der Sonne nachzuführen. Das Sonnenlicht wird so stark gebeugt, dass an der Rückseite des Glases Totalreflexion nach außen auftritt. Licht, das aus einem anderen Winkel einfällt, wird dagegen durchgelassen [Ranft/Frohn 2004].

Das System neigt durch seine hohe Transparenz zur Überhitzung. Auch Blendungen sind nicht ganz ausgeschlossen. Deshalb werden HOE vor allem an Nordfassaden oder auf stark verbauten Grundstücken entweder im Oberlicht eines Fensters oder als geneigtes transparentes Vordach vor Fassadenöffnungen eingesetzt.

Ein Vorteil gegenüber anderen Systemen ist ihr insgesamt hoher Durchlass von diffusem Licht. Nachteilig wirken sich die hohen Kosten aus.

## 2 Markt- und Umfeldanalyse

### 2.1 Markttrends

Nach der Bildschirmarbeitsplatz-Verordnung müssen die Fenster mit einer geeigneten verstellbaren Lichtschutzvorrichtung ausgestattet sein, durch die sich die Stärke des Tageslichteinfalls auf den Bildschirmarbeitsplatz vermindern lässt. Die Beleuchtung muss der Art der Sehaufgabe entsprechen und an das Sehvermögen der Benutzer angepasst sein [BildscharbV 2008]. Tageslichtlenksysteme erfüllen diese Anforderung in einem hohen Maße, da sie einerseits direkt einstrahlendes Tageslicht umlenken, so dass dieses nicht mehr zu Blendwirkungen führt, und andererseits für eine angenehme Arbeitsatmosphäre durch Tageslicht sorgen. Vor dem Hintergrund der BildscharbV gewinnen Tageslichtlenksysteme zunehmend an Bedeutung. Lichtlenksysteme werden überwiegend in Bürogebäuden und öffentlichen Gebäuden eingesetzt. Auch bei Lebensmittelketten sind Tageslichtlenksysteme derzeit ein großes Thema.

Raffstoren für den Außenbereich mit Lichtlenkfunktion und Lichtlenkjalousien für den Innenbereich sind die dominierenden Tageslichtlenksysteme am Markt. Lichtlenkjalousien werden dabei überwiegend in Hochhäusern eingesetzt, Raffstoren bei niedrigeren Gebäuden, da dort die Windanfälligkeit geringer ist.

Neben den beiden oben genannten Systemen spielt die Tageslichtlenkung im Zwischenscheibenbereich eine relevante Rolle auf dem Markt. Die Technik war aber in den Anfangsjahren in Verruf geraten, weil die Systeme infolge ihrer Verklemmungsneigung sehr reparaturanfällig waren und Reparaturen relativ kostenaufwendig sind. Die Anbieter haben hinzu gelernt und konnten die Reparaturanfälligkeit deutlich verringern.



Zwar wird auf dem Markt neben den oben genannten Systemen eine Vielzahl weiterer Systeme zur Tageslichtlenkung angeboten, doch führen die meisten der in Kap. 1 beschriebenen Techniken ein Nischendasein und kommen nur in Einzelobjekten zur Anwendung. Häufig gibt es für ein System nur einen oder sehr wenige Anbieter. Beispiele sind Lichtschwerter, Prismensysteme, holographisch-optische Elemente oder Spiegelrastern. In vielen Fällen ist der relativ hohe Preis die Ursache dafür, dass sich die Systeme bislang nicht durchsetzen konnten.

Die meisten Anbieter sind im beratungsintensiven Projektbereich tätig, d.h. die Lichtlenksysteme werden speziell an Projekte angepasst. Stark schwankende Verkaufszahlen sind die Folge. Anbieter im Projektbereich verspüren eine zunehmende Konkurrenz durch Billiganbieter, die mit hohen Produktionszahlen aufwarten. Vor diesem Hintergrund ist eine Konzentration des Marktes auf weniger Anbieter zu erwarten.

Für Lichtlenksysteme jeglicher Art wird von den Produzenten im privaten Bereich relativ wenig Entwicklungspotenzial gesehen. Einerseits besteht in Privaträumen i.d.R. kein so hoher Lichtbedarf wie in Büroräumen oder in öffentlichen Gebäuden wie z.B. Schulen. Andererseits schreckt viele potentielle Kunden der höhere Preis ab. Inwieweit und wie schnell sich die höheren Kosten eines Tageslichtlenksystems amortisieren, lässt sich nicht pauschal benennen (siehe auch Kap. 4).

Ob sich Lichtlenksysteme dauerhaft durchsetzen, wird auch davon abhängen, wie schnell und effizient Energiesparmaßnahmen bei Kunstlicht, insbesondere die LED- oder die OLED-Technik weiter entwickelt werden. Je geringer die Kosteneinsparungen durch Kunstlicht aufgrund von stromsparenden Techniken, desto geringer werden auch die finanziellen Anreize sein, in z.T. kostenintensive Lichtlenksysteme zu investieren.

Doch auch dann, wenn der Faktor Kosteneinsparung weitgehend vernachlässigbar wird, sieht eine Reihe von Anbietern zukünftig gute Perspektiven für Lichtlenksysteme. Sie begründen ihre Einschätzung mit dem Wohlfühlfaktor, weil Tageslicht im Gegensatz zu Kunstlicht das Wohlbefinden steigert und somit auch die Motivation der Beschäftigten erhöht. Von erheblicher Bedeutung ist auch die Durchsichtigkeit der Systeme nach außen.

## 2.2 Marktsättigung

Im Vergleich zu herkömmlichen Jalousien und Raffstoren ohne Lichtlenkung ist der Marktanteil von Lichtlenksystemen derzeit relativ gering.

Der Marktführer Warema aus Marktheidenfeld vertreibt pro Jahr ca. 500.000 Raffstoren. Im Außenbereich sind davon ca. 10 % mit Lichtlenkfunktion ausgerüstet. Der Anteil an Jalousien im Innenbereich mit Lichtlenkfunktion beträgt bei Warema ca. 5 % der verkauften Jalousien.

Lichtlenksysteme weisen insbesondere deshalb relativ geringe Marktanteile auf, weil die Bauherren von Bürogebäuden die relativ hohen Investitionskosten scheuen. Einige Anbieter

berichten von weitgehend gleichbleibenden Verkaufszahlen in den vergangenen Jahren. Die Mehrzahl der Anbieter kann aber auf steigende Umsätze, teilweise im zweistelligen Bereich zurückblicken. Eine Marktsättigung ist daher nicht gegeben.

### 2.3 Preise

Die nachfolgende Tabelle nennt Preise für die am weitesten auf dem Markt verbreiteten Systeme.

Bei Raffstoren werden Aufpreise gegenüber herkömmlichen Raffstoren von 20 bis 30 € pro Raffstore genannt. Quadratmeterpreise für herkömmliche Raffstoren konnten von den Anbietern nicht genannt werden, da sich die Raffstorepreise nach der Objektgröße richten und daher sehr unterschiedlich ausfallen.

Bei Lichtlenkjalousien für den Innenbereich werden die Mehrkosten im Vergleich zu herkömmlichen Jalousien von einem Anbieter hochwertiger Lichtlenkjalousien mit 30 – 50 % beziffert. Ein Hersteller für Lichtlenkjalousien im Innenbereich nimmt unabhängig von der Größe der Jalousie einen Aufpreis von 60 € pro Jalousie, insbesondere aufgrund der aufwändigeren Steuerung.

Insgesamt betrachtet sind die Preisspannen relativ hoch. Sie reichen von ca. 100 € für Lichtlenkjalousien bis zu 800 € für Prismensysteme aus Glas.

Tabelle 1 Kosten für verschiedene Lichtlenksysteme

System	Preis in [€/m <sup>2</sup> ]
Raffstoren	k.A.
Lichtlenkjalousien im Innenbereich	100
Lichtlenkjalousien im Zwischenscheibenbereich starr	260-320
Lichtlenkjalousien im Zwischenscheibenbereich starr beweglich	260-800
Micro-Sonnenschutzraster im Zwischenscheibenbereich incl. Glas	450-500
Polyvinylstränge im Zwischenfensterbereich*	700
Kapillargläser im Zwischenfensterbereich incl. Glas	100-300
Prismensysteme aus Acrylglas	650
Prismensysteme aus Glas	800

k.A.: Es konnten nur Aufpreise pro Raffstore angegeben werden.

## 2.4 Materialaufwendungen

Für Lichtlenksysteme werden eine Vielzahl von Materialien, insbesondere Metalle, Kunststoffe und Gläser verwendet. Bei Lichtlenklamellen für Jalousien und Raffstoren ist Aluminium am weitesten verbreitet. Daneben werden auch Lamellen aus Kunststoff und Stahl eingesetzt. Die Materialaufwendungen liegen im Bereich zwischen 1,5 und 3,5 kg/m<sup>2</sup> (siehe Tabelle 2).

Wesentlich materialintensiver stellen sich Prismensysteme dar. Einschließlich Halterungen ist mit Aufwendungen im Bereich von 30 kg/m<sup>2</sup> zu rechnen.

Tabelle 2 Materialaufwendungen für verschiedene Lichtlenksysteme

	Material	Materialbedarf [kg/m <sup>2</sup> ]
Raffstoren	Aluminium	1,5
Lichtlenkjalousien im Innenbereich	Aluminium	1,8-2
Lichtlenkjalousien im Innenbereich mit Antrieb	Aluminium	3-3,5
Lichtlenkjalousien im Zwischenscheibenbereich*	Stahllamellen	2,5-3,5
Micro-Sonnenschutzraster im Zwischenfensterbereich*	Kunststoff mit aufgedampfter Aluminiumschicht	3-6
Polyvinylstränge im Zwischenscheibenbereich*	Polyvinyl	12
Kapillarschicht im Zwischenscheibenbereich*	PMMA	0,3-1
Prismensysteme	Acrylglas einschließlich Halterungen	30
Prismensysteme	Glas	10

\* nur Material für die Lichtlenktechnik zwischen den Scheiben

## 2.5 Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme

In der folgenden Tabelle werden die Vor- und Nachteile von verschiedenen Tageslichtlenksystemen nochmals zusammengefasst.

Tabelle 3 Vor- und Nachteile verschiedener Lichtlenksysteme

System	Vorteile	Nachteile
Raffstoren	Wärme durch reflektierte Sonnenstrahlung muss nicht wieder durch die Scheibe nach außen abgeleitet werden Niedrige Kosten	Höhere Neigung zur Verschmutzung durch die Anordnung im Außenbereich Windanfälligkeit
Lamellen im Innenbereich	Weniger anfällig für Verschmutzungen, ggf. auf der gesamten Fensterfläche einsetzbar und durchsichtig Niedrige Kosten	Wärme muss wieder durch das Isolierglas nach außen geleitet werden
Lamellen im Zwischenscheibenbereich	Keine Verschmutzungsanfälligkeit, Wärme durch reflektierte Sonnenstrahlung muss nicht wieder durch die Scheibe nach außen abgeleitet werden	Hohe Kosten Höherer Reparaturaufwand Starre Systeme schlucken Licht bei indirektem Sonnenlicht
Micro-Sonnenschutzraster im Zwischenscheibenbereich	Keine Verschmutzungsanfälligkeit Keine Wärmestrahlung ins Rauminnere	Hohe Kosten Höherer Reparaturaufwand Keine Regulierbarkeit Keine Durchsichtigkeit
Polyvinylstränge im Zwischenscheibenbereich	Keine Verschmutzungsanfälligkeit Seitliche Lichtlenkung	Hohe Kosten Höherer Reparaturaufwand Keine Regulierbarkeit Keine Durchsichtigkeit
Kapillargläser im Zwischenscheibenbereich	Keine Verschmutzungsanfälligkeit	Hohe Kosten Keine Durchsichtigkeit Höherer Reparaturaufwand Keine Regulierbarkeit Ggf. hohe Wärmeeinleitung in Räume
Lichtschwerter	Gute Lenkung auch von diffusem Licht	Hohe Kosten Hohe Materialaufwendungen Verschmutzungsanfällig Ggf. hohe Wärmeeinleitung in Räume Keine Regulierbarkeit
Prismen	Lassen nur diffuses Licht durch Variabel einsetzbar	Hohe Kosten Hohe Materialaufwendungen Ggf. Blendwirkung durch diffuses Licht
Optisch-holografische Systeme	Reflexion von direktem Sonnenlicht Hoher Durchlass von diffusem Licht	Hohe Kosten Ggf. hohe Wärmeeinleitung in Räume Keine Regulierbarkeit Ggf. Blendungen

### 3 Technologietrends

Bei Lichtlenkjalousien im Innenbereich wird die Entwicklung hin zu Systemen gehen, die auf der ganzen Fensterfläche einsetzbar sind und damit eine höhere Lichtausbeute bei gleichzeitigem Durchblick vom Büroinneren nach außen aufweisen. Eine Reihe von Anbietern hat solche Systeme bereits im Angebot.

Für den Außenbereich gibt es derzeit keine Systeme, die eine Lichtlenkfunktion über die gesamte Fensterfläche aufweisen.

Da viele Architekten das unruhige Fassadenbild stört, das durch bewegliche Lamellen, die bei Systemen im Zwischenscheibenbereich eingesetzt werden, hervorgerufen wird, werden feststehende Lamellen bevorzugt. Um die Reparaturanfälligkeit von Systemen im Zwischenscheibenbereich zu verringern, werden mittlerweile teilweise Stahllamellen anstatt Aluminiumlamellen eingesetzt, da sich diese weniger stark ausdehnen und damit die Verklemmungsneigung erheblich verringert wird. Auch wird sorgfältiger auf einen ausreichenden Abstand zwischen Glas und Lamelle geachtet.

Es ist auch damit zu rechnen, dass verstärkt Dreischeibenlösungen auf den Markt kommen. Das Lichtlenksystem wird dabei in sogenannte „Closed Cavity Fassaden“ integriert. Das System besteht aus einer äußeren Monoverglasung, die vor Witterungseinflüssen schützt, einem nicht unter Vakuum stehenden Zwischenraum, in dem das Lichtlenksystem integriert wird und einer Isolierglaseinheit, bestehend aus zwei oder drei Scheiben. Es vereint die Vorteile von Raffstoren mit denen von innen liegenden Jalousien. Eine Windanfälligkeit ist nicht gegeben. Ebenso wenig besteht erhebliche Verschmutzungsgefahr. Die mit der Sonne eingetragene Wärmestrahlung gelangt nicht in den Raum, da sie vor der Isolierglaseinheit reflektiert wird. Reparaturen sind wesentlich einfacher möglich, da der Bereich, in dem die Jalousie angebracht wird, relativ leicht zugänglich ist.

Technisch sehr aufwändige Systeme konnten sich in den vergangenen Jahren auch aufgrund der hohen Preise nicht durchsetzen. Insgesamt geht der Trend hin zu technisch möglichst einfachen Lösungen, mit gestalterischem Anspruch. Mittelfristig ist mit der Entwicklung hochselektiver Sonnenschutzschichten ggf. in Verbindung mit solarer Stromgewinnung zu rechnen.

### 4 Energieeffizienz

Der mögliche ökologische Nutzen von Lichtlenksystemen ergibt sich insbesondere durch die Einsparung von Strom aufgrund von vermiedenem Kunstlicht. Dabei treten allerdings auch gegenläufige Effekte auf, die zu erhöhten Energieaufwendungen führen.

Folgende Faktoren sind im Rahmen von energetischen Betrachtungen mit zu berücksichtigen:

- Art des Systems (unterschiedliche Erhöhung des Tageslichtquotienten),
- Automatische Lenkbarkeit des Systems,
- Lebensdauer des Systems (durch den Windangriff weisen z.B. Raffstoren kürzere Lebenszeiten auf als innen liegende Systeme),
- Standort (klimatische Verhältnisse, z.B. Sonnenscheindauer etc.),
- Ausrichtung (West-, Süd-, Nord-, Ostseite),
- Einbau in Fassade oder als Oberlicht,
- Höhe des Gebäudes,
- Nutzungstiefe des betrachteten Raums,
- Vorhandensein einer Klimaanlage,
- Energieverbrauch des substituierten künstlichen Beleuchtungssystems (Halogenlampen, Energiesparlampen, LED-Beleuchtung),
- Vorhandensein einer automatischen Steuerung zur Kunstlichtreduktion,
- Art der Verglasung (bei einem System von Sonnenschutzverglasung und mit innen liegenden Lamellen kann die Wärme nicht mehr gut nach außen reflektiert werden).

Energieeinsparungen ergeben sich insbesondere durch den geringeren Stromverbrauch für künstliches Licht, das durch das zusätzlich genutzte Tageslicht substituiert wird. Weitere Einsparungen ergeben sich durch die reduzierten Wärmelasten dieser Lichtquellen, die von Klimaanlagen nicht mehr herabgekühlt werden müssen. In der Heizperiode kann dieser Effekt zu einer Reduzierung der Einsparungen infolge eines höheren Heizaufwandes führen.

Durch den zusätzlichen Lichteintrag erfolgt auch ein zusätzlicher Wärmeeintrag. Dieser ist systemabhängig. Beispielsweise muss bei innen liegenden Lichtlenkjalousien die durch die direkte Sonneneinstrahlung eingebrachte Wärme durch die Verglasung wieder nach außen transportiert werden. Dies gelingt nicht immer befriedigend. Ein zusätzlicher Energieverbrauch bei ggf. installierter Klimaanlage ist die Folge.

Eine Reihe von Systemen kann in bestimmten Situationen zu Überhitzungen im Rauminneren neigen (Lichtschwerter, holographisch-optische Elemente und Kapillargläser). Bei solchen Systemen besteht daher die Gefahr, dass die Aufwendungen für zusätzlichen Kühlbedarf die Stromeinsparkosten übersteigen können und damit insgesamt ein höherer Energiebedarf resultiert.

Außen liegende Systeme weisen diese Nachteile in wesentlich geringerem Maße auf.

Eine ganz wesentliche Voraussetzung, um einen nennenswerten Stromspareffekt zu erzielen, ist die automatische Kunstlichtreduktion. Das Kunstlicht im Raum wird über einen

Sensor (Photozelle) mit dem Vorschaltgerät der Lichtquellen verbunden, das einen Potenzialanschluss aufweist. Hierdurch wird das Kunstlicht an die Lichtverhältnisse angepasst (Fachbegriff: „Tageslichtsteuerung“ bzw. „Lichtkonstantregelung“). Sehr häufig fehlt diese Regelung und der Stromeinspareffekt ist wesentlich geringer als möglich, weil das Kunstlicht häufiger genutzt wird, als es erforderlich wäre.

Gute Lichtlenksysteme konkurrieren immer auch mit guten Beleuchtungssystemen. Der Strombedarf eines energieintensiven Beleuchtungssystems (Glühbirnen, Halogenstrahler) beträgt ca. 25 W/m<sup>2</sup>. Der Strombedarf eines sehr guten Beleuchtungssystems (z.B. LED-Leuchten) liegt dagegen bei circa 9 W/m<sup>2</sup>. Mittlere Beleuchtungssysteme auf Basis von Leuchtstoffröhren weisen einen Strombedarf von 12 bis 15 W/m<sup>2</sup> auf. Dabei ist von Beleuchtungsstärken von 500 Lux am Arbeitsplatz und 300 Lux in der Arbeitsplatzumgebung auszugehen. Durch die Verbreitung der LED- und der OLED-Technik im Bereich der Innenraumbeleuchtung werden sich durch den geringeren Stromverbrauch und die geringere freigesetzte Wärmelast die Energieeinsparungen durch Lichtlenksysteme deutlich verringern.

In Fachkreisen wird häufig pauschal von ca. 20 % Stromeinsparung durch Tageslichtlenksysteme gesprochen. Unter Berücksichtigung der oben genannten Faktoren, die bei energetischen Berechnungen zu berücksichtigen sind, sind solche Aussagen jedoch nicht belastbar. Insbesondere bei solchen Systemen, die in bestimmten Situationen zu Überhitzungen im Rauminneren neigen, ist es denkbar, dass die Einsparungen bei Lichtstrom die Mehraufwendungen zur Raumkühlung nicht kompensieren.

Die kontaktierten Gesprächspartner waren der einstimmigen Auffassung, dass der Energieeinspareffekt eines Lichtlenksystems aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren letztendlich nur für den Einzelfall mit aufwändigen Rechenmodellen ermittelt werden kann. Ein Vertreter eines Planungsbüros, der selbst einschlägige Berechnungen durchführt, sprach von einer „unglaublich komplizierten“ Thematik. Eine ähnliche Auffassung äußerten auch andere Planer.

Nach Auskunft eines Planungsbüros wurden bislang in den seltensten Fällen entsprechende Untersuchungen durchgeführt. So hat beispielsweise der Marktführer Warema bislang noch keine Berechnungen für die von ihm vertriebenen Systeme vorgenommen. Es wurde lediglich für Raffstoren allgemein ein Carbon Footprint erstellt [Warema 2012b].

Von einem Planungsbüro wurde ein Rechenmodell entwickelt, das Energieeinsparungen für Lichtlenksysteme bilanziert. Diese Berechnungen werden, von einer Firma erstellt, die sich auf Innenjalousien mit Tageslichtlenkung spezialisiert hat. Jüngere Rechenbeispiele sind drei Hochhäuser in Sofia sowie ein Bankgebäude in Südafrika. Konkrete Ergebnisse wurden jedoch nicht genannt. Anhand dieses Modells lassen sich lediglich die Energieeinsparungen der speziellen Systeme einer Firma berechnen (siehe Abbildung 10).

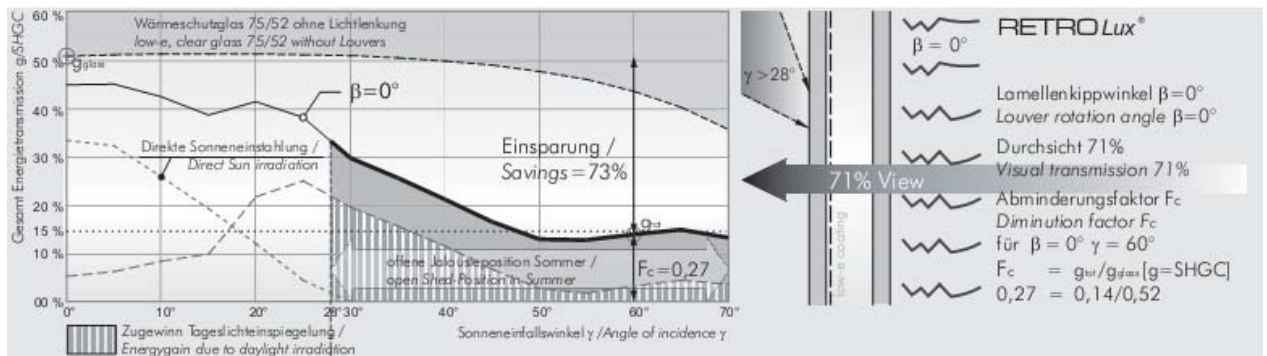


Abbildung 10 Berechnete Energieeinsparung durch eine Lichtlenkmaße im Innenbereich in Abhängigkeit vom Sonneneinfallswinkel (Quelle: Retrosolar 2012)

Nach Auskunft eines weiteren Anbieters zeigten Berechnungen, die im Rahmen der Gebäudesanierung für die Kassenärztliche Vereinigung Westfalen-Lippe in Dortmund durchgeführt wurden, dass sich durch innenliegende Lichtlenkjalousien Energieeinsparungskosten von 26 €/m<sup>2</sup> erreichen lassen. Die Amortisationszeit gegenüber herkömmlichen Jalousiensystemen beträgt fünf Jahre. Über die Randbedingungen der Kalkulation liegen keine näheren Informationen vor.

Ob ein wirtschaftlicher Nutzen für die gängigen Lichtlenksysteme vorliegt, wird von den befragten Fachleuten unterschiedlich bewertet.

Um den Nutzen von Lichtlenksystemen durch Stromeinsparungen ermitteln zu können, sind die bislang vorliegenden Berechnungen nicht ausreichend.

Grundsätzlich stehen aber geeignete Rechenprogramme zur Verfügung. Im Rahmen der Recherchen wurden daher unter Vermittlung der Energieagentur Nordrhein-Westfalen auch Gespräche mit insgesamt vier verschiedenen Planungsbüros geführt, die in der Lage sind, entsprechende Berechnungen durchzuführen.

Voraussetzung für solche Berechnungen wäre die Festlegung von standardisierten Fällen.

Bei der Betrachtung eines Systems wären dabei mehrere Anwendungen zu berechnen. Beispielsweise müsste jeweils zumindest eine Süd- und eine Nordausrichtung berücksichtigt werden, denn die einzelnen Systeme reagieren hierbei unterschiedlich. Weiterhin wäre jeweils eine Variante mit und ohne Klimaanlage zu berücksichtigen. Außerdem sollte einmal mit einem unterschiedlichen Energieverbrauch der substituierten Kunstlichtsysteme gerechnet werden, z.B. mittlerer und geringer Energieverbrauch. Damit würden sich pro System insgesamt etwa 8 verschiedene Berechnungsvarianten ergeben.



Zu betrachten wären insgesamt 9 verschiedene Systeme, 4 davon mit oder ohne automatische Nachregelung. Somit ergeben sich insgesamt 13 Systeme, für die jeweils 8 Varianten zu rechnen wären und damit 104 Fallbeispiele.

Hinzu käme die Betrachtung von Systemen, die als Oberlichtvarianten eingesetzt werden können (z.B. Prismensysteme).

Weiterhin wäre zu berücksichtigen, dass auch Systeme angeboten werden, die sich bezüglich des Funktionsumfangs von den anderen Systemen unterscheiden, zum Beispiel Lichtschwerter, die sich nicht als Blend- oder Sonnenschutz eignen.

Eine genaue Festlegung von Anzahl und Art der betrachteten Anwendungsfälle sollte in Absprache mit den einschlägigen Fachkreisen getroffen werden. Hier wäre die Schnittstelle zwischen Industrie und Planungsbüros von erheblicher Bedeutung.

In diesem Rahmen könnten auch Prüfvorschriften diskutiert und festgelegt werden, anhand derer Kenngrößen der Systeme, wie z.B. der mit dem System verbundene Licht- und Wärmeeintrag, ermittelt werden. Häufig wird von den Herstellern nur der G-Wert als Summe aus Licht- und Wärmeeintrag angegeben.

Nach Auskunft eines Ingenieurbüros wäre dann, wenn bestimmte Standards, wie z.B. Raumgröße, Lage des Raumes etc. festgelegt werden würden, mit Kosten von ca. 250 € pro Fallbeispiel zu rechnen. Aufwendigere Berechnungen würden dagegen eher im Bereich von 2.500 € pro Rechnung liegen.

## **5 Nutzenanalyse**

### **5.1 Gebrauchsnutzen**

Alle seitlichen Fensterflächen haben für einen Raum zur Folge, dass die Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Fensterbereich bei 2.000 bis 5.000 lx liegt und je nach Fensteranordnung zur Raummitte stark abfällt. Tageslichtlenksysteme bieten die Möglichkeit, tiefer liegende Gebäudebereiche natürlich zu belichten, indem sie die Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe erhöhen und damit für eine gleichmäßigere Ausleuchtung des Raums sorgen. Dadurch kann der Energieverbrauch für die künstliche Beleuchtung deutlich gesenkt werden.

Das Prinzip der Tageslichtlenkung besteht darin, dass das in einem bestimmten Winkel auftreffende Sonnenlicht durch ein Lenksystem, zum Beispiel eine Lamelle im Oberlicht des Fensters entweder in den Raum gestreut oder gezielt an eine möglichst gut reflektierende Decke gelenkt wird. Der Vorteil solcher Systeme besteht darin, dass auch fensterfernere Zonen mit Tageslicht versorgt werden können.

Bereits in der Planung berücksichtigt, kann Tageslicht eine wichtige Rolle bei der lichttechnischen und raumklimatischen Optimierung der Gebäudehülle spielen.

Weiterhin kommt dem Wohlfühlfaktor eine wesentliche Bedeutung zu. Tageslicht hat eine positive Auswirkung auf Physis und Psyche, es erhöht das Wohlbefinden von Menschen in Gebäuden, wirkt stimulierend und motivierend.

## 5.2 Symbolischer Nutzen

Immer mehr Verbraucher drücken mit der Wahl ihrer genutzten Geräte auch ihren Lebensstil aus. In gewisser Weise lässt sich dieses Verbraucherverhalten auch auf Entscheidungen öffentlicher Träger bei Bauvorhaben übertragen. Neben dem funktionellen Nutzen kann der Einsatz von Tageslichtsystemen zur architektonischen Gestaltung eines Gebäudes beitragen. Ein Beispiel stellt der Einsatz von Prismensystemen dar. Solche Systeme sind von außen gut zu erkennen und können zur optischen Gestaltung eines Gebäudes erheblich beitragen.

Daneben können Lichtlenksysteme aufgrund ihrer Innovativität als Prestige- und Statusobjekte dienen.

Lichtlenksysteme können auch bei künstlerischer Gestaltung eines Raumes eine bedeutende Rolle spielen. Beispielsweise ist das Kunsthaus in Bregenz mit einer abgehängten, mattierten Lichtdecke ausgestattet, die, je nach Beleuchtungsverhältnissen, mit Tages- oder Kunstlicht versorgt wird. Durch umlaufende Lichtbänder fällt das seitliche Tageslicht ein, wird über die Lichtdecke in die Ausstellungsräume umgelenkt und bei Bedarf mit Kunstlicht ergänzt [Haas-Arndt-Raft 2007].

## 5.3 Gesellschaftlicher Nutzen

Die mögliche Energieeinsparung durch Lichtlenksysteme stellt durch den Beitrag zu Klima- und Ressourcenschutz den wesentlichen gesellschaftlichen Nutzen dar. Allerdings ist hier zwischen den verschiedenen Systemen zu unterscheiden. Eine wesentliche Energieeinsparung muss nicht bei allen Lichtlenksystemen zwangsläufig gegeben sein, da durch in den Raum eingetragene Wärme, die zu erhöhten Kühlleistungen, z.B. durch eine Klimaablage, führt, der gegenteilige Effekt auftreten kann.

## 5.4 Entsorgung

Lichtlenkjalousien fallen nicht unter das Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten.

Die Entsorgungskosten hängen maßgeblich vom System ab. Je aufwändiger das System, desto höhere Entsorgungskosten sind zu erwarten. Die Entsorgung von Raffstoren und Lichtlenkjalousien, die die mit Abstand größten Marktanteile ausmachen, unterscheidet sich nicht von der Entsorgung von Systemen ohne Lichtlenkfunktion. Insofern ist gegenüber herkömmlichen Systemen nicht mit höheren Entsorgungskosten zu rechnen. Da die meisten

Raffstoren und Lichtlenkjalousien aus Aluminium bestehen, ist eine Verwertung als Altmetall unproblematisch.

Aufwändiger gestaltet sich die Entsorgung von Prismensystemen und Lichtlenkschwertern, da diese wesentlich mehr Materialien beinhalten. Je nach Bauart des Systems können einzelne Komponenten, wie z.B. Metallhalterungen, getrennt gesammelt und ggf. recycelt werden. Es fallen zusätzliche Entsorgungskosten durch den aufwändigen Rückbau und die Entsorgung nicht verwertbarer Materialien an. Deren Höhe ist systemspezifisch und pauschal nicht quantifizierbar.

## **6 Öko-Bilanz und Lebenszykluskostenanalyse**

Anhand der orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll im Rahmen des Projekts TOP 100 ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Lichtlenksystemen ermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe zur Frage, wo die Verbesserungspotentiale in dieser Produktgruppe liegen.

Die Ermittlung des Umweltnutzens durch Lichtlenksysteme insbesondere durch Energieeinspareffekte ist sehr aufwändig und hängt von einer Reihe von Randbedingungen ab. Da derzeit nur sehr wenige Untersuchungen hierzu vorliegen und diese bislang nicht veröffentlicht wurden, wären im Rahmen dieser Untersuchung eigene Berechnungen durchzuführen. Hierfür sind spezielle Rechenprogramme erforderlich. Die Berechnungen wären daher an geeignete Planungsbüros zu vergeben. Aufgrund der Vielzahl von Fallbeispielen, bedingt einerseits durch die unterschiedlichen Lichtlenksysteme und andererseits durch unterschiedlichste Randbedingungen ist zu erwarten, dass sich solche Berechnungen sehr kostenintensiv darstellen und daher den finanziellen Rahmen dieses Projektes sprengen.

Hinzu kommt, dass im Rahmen einer orientierenden Ökobilanz auch die Materialaufwendungen mit einzubeziehen sind. Dieser Faktor spielt z.B. bei Lichtschwertern, Prismensystemen oder Kapillargläsern eine bedeutende Rolle.

## **7 Eignung der Produktgruppe zur Umweltkennzeichnung**

Wie in Kap. 6 dargestellt, ist die Erarbeitung einer belastbaren Ökobilanz als Grundlage zur Entwicklung von Vergabekriterien für ein Umweltzeichen mit erheblichen Aufwendungen verbunden.

Eine pauschale Vergabe des „Blauen Engel“ an alle Lichtlenksysteme, wie er von einigen Gesprächspartnern vorgeschlagen wurde, würde einerseits den Zielen des Projekts TOP 100 widersprechen und wäre andererseits schon allein deshalb nicht sachgerecht, weil anhand des derzeitigen Kenntnisstandes nicht sicher davon ausgegangen werden kann, dass alle auf dem Markt angebotenen Lichtlenksysteme in der Gesamtbetrachtung tatsächlich langfristig zu Energieeinspareffekten und damit zu einem positiven Umweltnutzen führen.

Vor diesem Hintergrund wird die Entwicklung von Vergabekriterien im Rahmen des klimaschutzbezogenen Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Lichtlenksysteme als nicht zielführend erachtet.

Dessen ungeachtet könnten andere Wege entwickelt werden, um Tageslichtlenksysteme zu bewerten bzw. deren Einsatz zu fördern.

## 8 Ausblick

Eine Alternative zur Kennzeichnung mit einem Umweltzeichen wäre beispielsweise die Erstellung eines Leitfadens oder einer Broschüre als Orientierung für Produzenten bei der Weiterentwicklung ihrer Systeme sowie als Entscheidungshilfe für Beschaffer, Planungsbüros und Architekten.

Grundlage hierfür könnten wiederum Berechnungen für einzelne Systeme sein, allerdings mit dem Unterscheid, dass in Zusammenarbeit mit den Herstellern und Planungsbüros nur diejenigen Systeme, die relevante Markanteile aufweisen, untersucht werden, z.B. Raffstoren, zwei innen liegende Lammellensysteme, einmal mit Lichtlenksystem nur für das Oberlicht und einmal für die ganze Fensterfläche sowie eine Zwischenscheibenlösung.

Dabei wäre es sinnvoll, in Zusammenarbeit mit Herstellern und Planern Standards für Berechnungen festzulegen (z.B. Südfassade, Klimaanlage vorhanden, mittlerer Energieverbrauch, automatische Nachregelung). Damit ließe sich die Fallzahl erheblich reduzieren. Darüber hinaus könnten noch einige Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt werden, z.B. niedriger Energieverbrauch der substituierten künstlichen Beleuchtungsquellen.

Ein weiterer, ggf. ergänzender Ansatz könnte darin bestehen, in Absprache mit Planungsbüros und Herstellern, Rahmenbedingungen für Berechnungen und ggf. Messungen festzulegen. Dadurch wird jedem Anbieter die Möglichkeit gegeben, eigene Berechnungen für seine Systeme durchführen zu lassen, deren Ergebnisse mit anderen Systemen vergleichbar sind. Solche Berechnungs- oder Messergebnisse könnten z.B. in den Anhang der oben angesprochenen Broschüre bzw. des Leitfadens aufgenommen werden. Der Vorteil hiervon wäre, dass auch Nischenprodukte einer einheitlichen Bewertung zugeführt werden könnten.

## 9 Literatur

- BildscharbV 2008  
Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) vom 4.12.1996 (BGBl. I S. 1841) zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 18.12.2008 (BGBl. I Nr. 62, S. 2768) in Kraft getreten am 24.12.2008
- Haas-Arndt/Ranft 2007  
Haas-Arndt/Ranft: Tageslichtlenktechnik in Gebäuden. Herausgegeben von der Energieagentur NRW, C. F. Müller Verlag Heidelberg 2007; ISBN -13: 978 -3-7880-7790-7
- Jakobiak 2000  
Tageslichtnutzung in Gebäuden. BINE-Informationdienst profiinfo 1/00, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn 2000
- Kiss/Hanke 1995  
Kiss, M. Hanke, S.: DIANE-Projekt Tageslichtnutzung; Band 1 Tageslichtnutzung in Gebäuden – Denkanstöße. Bundesamt für Energiewirtschaft, CH-Zürich, 1995
- Köster 2003  
Köster, H.: Integrierte Kunst- und Tageslichttechnik – Gutes Licht am Arbeitsplatz bei reduziertem Energieverbrauch. Deutsches Architektenblatt 5/2003
- Köster 2004  
Köster, H.: Tageslichtdynamische Architektur, Grundlagen, Systeme, Projekte Birkenhäuser Verlag, Basel 2004 ISBN 3-7643-6729
- RetroFlexr 2012  
Produktserie RETROFlex – System Dr. H. Köster. Webseite: [http://www.retrosolar.de/de/pdf/Produktserie\\_RL\\_AD600.pdf](http://www.retrosolar.de/de/pdf/Produktserie_RL_AD600.pdf)
- RetroLux 2012  
Produktserie RETROLux – System Dr. H. Köster. Webseite: [http://www.retrosolar.de/de/pdf/Produktserie\\_RF\\_AD600.pdf](http://www.retrosolar.de/de/pdf/Produktserie_RF_AD600.pdf)
- Retrosolar 2012  
Gesamtenergietransmission / Lichtverteilungskurven / Steuerung der Retrosysteme. Webseite: [http://www.retrosolar.de/de/pdf/pdf\\_aktuell/bms\\_lux.pdf](http://www.retrosolar.de/de/pdf/pdf_aktuell/bms_lux.pdf)
- Ranft/Frohn 2006  
Ranft/Frohn: Natürliche Klimatisierung, Springer Basel AG, Juni 2004 ISBN-13: 9783764369392
- Siteco 2012  
Home page der Firma Siteco  
<http://www.siteco.de/de/produkte/tageslichtsysteme/mikrosonnenschutzraster.html>
- Warema 2012a  
Sonnenschutzkatalog 2011/2012. <http://www.sonnenschutzkatalog.de/>
- Warema 2012b  
Presseerklärung der Firma Warema zur Erstellung eines Carbon Footprints für Raffstoren. Im Internet: <http://www.warema-newsroom.de/2012/05/02/raffstoren-fur-den-klimaschutz/>