

# »»Wirkung von Verglasungs- systemen auf die Tageslicht- versorgung von Innenräumen««

**initiative-tageslicht.de**

Durchgeführt im Auftrag  
Bundesverband Flachglas e.V.  
Mülheimer Straße 1  
53840 Troisdorf

Autor: Dr.-Ing. Jan de Boer  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Abteilung Energieeffizienz und Raumklima  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Stuttgart, 8. Oktober 2018

# **»Wirkung von Verglasungs- systemen auf die Tageslicht- versorgung von Innenräumen«**



<b><u>1</u></b>	<b><u>Was kennzeichnet eine gute Tageslichtversorgung von Gebäuden?</u></b>	S 4
<b><u>2</u></b>	<b><u>Welche Rolle spielen die Verglasungen?</u></b>	S 6
2.1	Auf Verglasungen einwirkendes Tageslichtangebot	S 6
2.2	Lichttechnische Verglasungseigenschaften	S 10
2.3	Verglasungen und Tageslichtautonomie: Wirkung von Glas über die Zeit	S 11
<b><u>3</u></b>	<b><u>Tageslichtversorgung und Wärmeschutz: Zielkonflikt oder vereinbar?</u></b>	S 14
<b><u>4</u></b>	<b><u>Die nicht-visuelle Wirkung von Strahlung auf den Menschen: Ist die Glastransmission neu zu bewerten?</u></b>	S 16
4.1	Wirkung der Solarstrahlung auf den Menschen	S 16
4.2	Sind zukünftig weitere Kenngrößen zur Beschreibung der nicht visuellen Wirkung von Gläsern erforderlich?	S 18
<b><u>5</u></b>	<b><u>Ein neuer Standard zum Tageslicht: Was bringt die EN 17037 »Tageslicht in Gebäuden«?</u></b>	S 21
<b><u>6</u></b>	<b><u>Verglasungen auch unter tageslichttechnischen Aspekten richtig planen</u></b>	S 21
6.1	Planungshinweise	S 21
6.2	Planungswerkzeuge	S 22
<b><u>7</u></b>	<b><u>Literatur</u></b>	S 23

## 1

## Was kennzeichnet eine gute Tageslichtversorgung von Gebäuden?

Tageslicht kommt hinsichtlich einer guten visuellen, biologisch wirksamen und gesamtenergetisch effizienten Lichtversorgung von Innenräumen eine maßgebliche Bedeutung zu. In der Regel ist Tageslicht die vom Menschen präferierte Lichtquelle. Physiologisch hat sich das Auge gut auf das Sonnenspektrum angepasst. Ca. 48% werden als Licht wahrgenommen. Ebenso ist die Bereitstellung der Sichtverbindung von innen nach außen psychologisch extrem wichtig. In Räumen kommuniziert vorhandenes Tageslicht Informationen über Tageszeit und Witterung und stellt somit durch jeweilige Intensität, Verteilung und spektrale Zusammensetzung eine »Beziehung nach draußen« dar. Darüber hinaus belegen zahlreiche Studien die hohe psychologische Bedeutung einer Sichtverbindung nach außen, was häufig dem Begriff »Tageslicht« vereinfachend zugeordnet wird: Ein Ausblick ist besser als kein Ausblick. Weiter differenziert wird ein Ausblick in die Natur als erholsamer und kreativitätsfördernder eingestuft als ein Ausblick auf bebautes Umland. Fenster führen dazu, dass Räume als weitläufiger wahrgenommen werden. Speziell beeinflusst ein weiter, unverbauter Ausblick die Wahrnehmung von Raumgröße und -helligkeit positiv. Generell werden fensternahe Arbeitsplätze präferiert.

Das Tageslicht wirkt unmittelbar biologisch auf den Menschen ein, wie über die Steuerung des circadianen Rhythmus durch Melatoninsuppression. Übliche künstliche Beleuchtungssysteme

alleine können die für diesen Wirkprozess erforderliche Dosis nicht oder nur unter sehr hohen primärenergetischen und monetären Aufwendungen beisteuern. Des Weiteren stellt Tageslicht die maßgebliche regenerative Energiequelle zur Senkung der Energieverbräuche für Beleuchtung dar. Weltweit werden ca. 19% des Gesamtstromverbrauchs für künstliche Beleuchtung aufgewendet. Im Nicht-Wohnungsbau wurde Tageslicht mit neuen Bewertungsverfahren und Regularien wie der DIN V 18599 und der Energieeinsparverordnung (EnEV) mittlerweile zu einer energetisch bezifferbaren und planbaren Lichtquelle, die direkt mit den energetischen Anforderungen für die elektrische Beleuchtung verrechnet werden kann.

Für hochwertige Arbeitsplätze im Dienstleistungs- und Fertigungssektor ist die Schaffung einer guten Tageslichtversorgung heute eine wesentliche planerische Aufgabe [1]. Auch im Wohnungsbau wird eine gute Tageslichtsituation durch größere Fensterflächen positiv wahrgenommen.

Verglasungen spielen bei der natürlichen Beleuchtung von Innenräumen eine zentrale Rolle. Gegenüber reinen Rohbauöffnungen ändern sie die Intensität, spektrale Zusammensetzung und bei speziellen Funktionsgläsern auch die Lichtverteilung im Raum. Hierbei sind die Anforderungen an eine gute, möglichst natürliche, unverfälschte Tageslichtversorgung in Abstimmung mit anderen Anforderungen, wie den Grundfunktionen des Witterungs- und Lärmschutzes und heute auch des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes, zu erfüllen. Die variablen Anforderungen können allerdings nur durch die Gläser mit ihren



**BILD 1 A, B** Beispiele Tageslichtnutzung im Nicht-Wohnungsbau und Wohnungsbau.

statischen Eigenschaften oft nicht erfüllt werden. Verglasungen sind daher immer auch im Kontext einer integralen Fassadentechnik zu betrachten, entweder in Kombination mit separatem Sonnen- und/oder Blendschutz oder neueren, in sich variablen Funktionsschichten, wie sie in elektrochromen Gläsern zu finden sind.

■ Diese Schrift greift ausgewählte aktuelle Fragen zur Wirkung von Verglasungssystemen auf die Tageslichtversorgung von Innenräumen auf<sup>1</sup>.

■ In Kapitel 2 wird zunächst das auf Verglasungen einwirkende Tageslichtangebot charakterisiert. Die lichttechnischen Eigenschaften ausgewählter Typverglasungen werden in den Kontext heutiger, zunehmend systemischer Bewertungsansätze gestellt, wie in Normen zur Energieeffizienz [3], [4] und Nachhaltigkeitszertifizierungen [5], [6] gebräuchlich. Glas ist hierbei hinsichtlich einer guten Tageslichtversorgung eine wichtige, aber nicht die alleinige maßgebliche Einflussgröße: Wie steht das Bauteil im Kontext zu anderen Parametern wie Fassadenorientierung, Fassadenausbildung und den Raumparametern – und durch welche Kompensationsmaßnahmen können z. B. technisch unvermeidbare Reduktionen der Lichttransmission für Wärme- und Sonnenschutz ausgeglichen werden? Hierbei wird die aktuelle Fragestellung, inwieweit eine gute Tageslichtversorgung und ein guter Wärmeschutz bei zunehmendem Übergang von 2- auf 3-Scheibenverglasungen vereinbar sind, gesondert in Kapitel 3 behandelt.

■ Das Verständnis der nicht visuellen melano-pischen Wirkung der natürlichen Strahlung auf die »innere Uhr« und die Aktivierung des Menschen ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Das Thema wurde bereits in der Innenraumbeleuchtung unter dem Begriff des »Human Centric Lighting« mit aufgegriffen und u. a. in ersten Normungsaktivitäten adressiert. Wie stellen sich aber Verglasungen in diesem Kontext dar? Kapitel 4 gibt eine Einordnung.

■ Kapitel 5 beschäftigt sich mit Verglasungen im Kontext der neuen Europäischen Norm EN 17037 »Tageslicht in Gebäuden« [8]. Diese wird zukünftig Teile der Tageslichtnorm im Baubereich in Deutschland, der DIN 5034 »Tageslicht in Innenräumen« [9], ergänzen oder ersetzen.

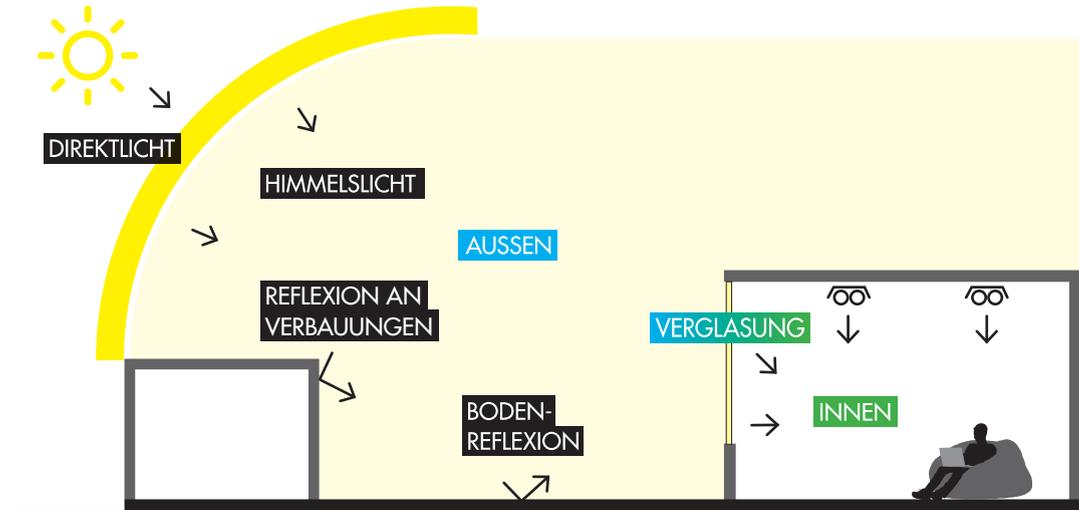
■ Wie können Verglasungen richtig im Tageslichtplanungsprozess berücksichtigt werden? Kapitel 6 erläutert ausgewählte planungstechnische Aspekte und gibt eine Kurzübersicht zu Planungswerkzeugen.

<sup>1</sup> Zu allgemeinen Grundlagen zum Thema Tageslicht kann auf weiterführende Schriften wie [1], [7] verwiesen werden



# 2

## Welche Rolle spielen die Verglasungen?

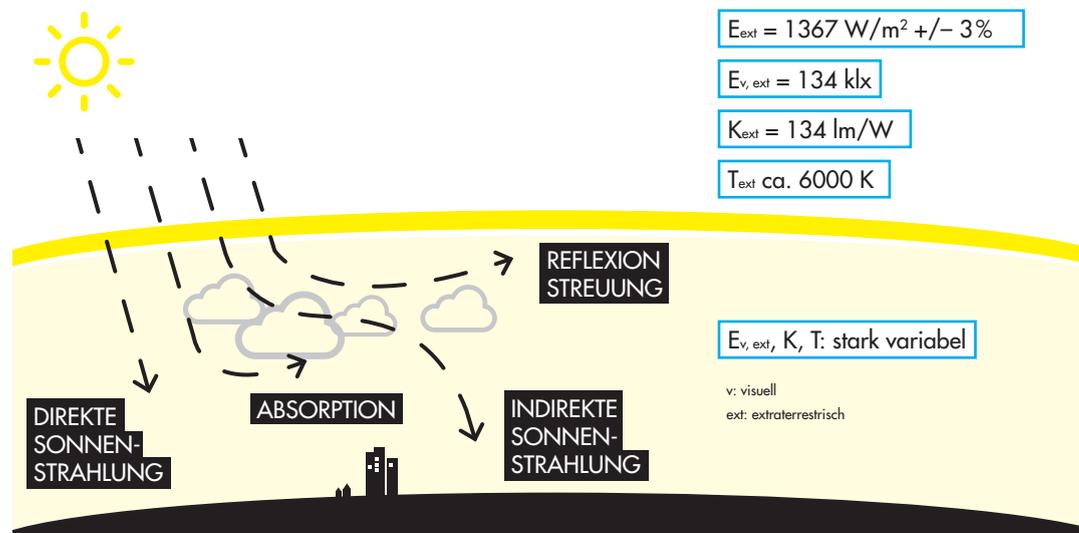


**BILD 2** Symbolische Darstellung Verglasungen zwischen außen und innen.

### 2.1 Auf Verglasungen einwirkendes Tageslichtangebot

Zur Beurteilung der Wirkung von Glas auf die natürliche Innenraumbeleuchtung (vgl. Bild 2) ist die Kenntnis der Variabilität des Tageslicht-/Solarstrahlungsangebots wesentlich. Durch unterschiedliche Wirkprozesse in der Erdatmosphäre, dargestellt in Bild 3, die Drehung der Erde und damit die Veränderung der Beobachterposition relativ zur Sonne kommt es zu einer starken Variation der Intensitäten und der spektralen Zusammensetzung.

# 6



**BILD 3** Atmosphäre als Filter in Abhängigkeit von Sonnenhöhe, Absorptions-, Reflexions- und Streuvorgängen.

■ Beleuchtungsstärken variieren in unseren Breiten exemplarisch mittags zum Sonnenhöchststand von unter 6 klx an bedeckten Wintertagen zu über 100 klx an klaren Sommertagen.

■ Die spektrale Zusammensetzung des Tageslichts und damit die Farbtemperaturen variieren in Abhängigkeit der Himmelszustände, dargestellt in Bild 4 A oben. Direktes Sonnenlicht weist die »wärmste« d. h. geringste Farbtemperatur zwischen ca. 4.000 K bei sehr niedrigen Sonnenständen und etwa 6.000 K bei hohen Sonnenständen auf. Direktes Sonnenlicht kann den Normlichtarten D50, D55 zugeordnet werden [10]. Bei klaren Himmeln außerhalb der Blickrichtung zur Sonne werden »kühlere«, d. h. höhere Farbtemperaturen erreicht, im Allgemeinen beschrieben mit Normlichtart D75, was einer Farbtemperatur von 7.500 K entspricht. Klare Himmelsbereiche können aber durchaus, je nach Atmosphärenzustand, Farbtemperaturen von über 10.000 K aufweisen. Der bedeckte Himmel zeigt Farbtemperaturen um 6.500 K, üblicherweise repräsentiert durch Normlichtart D65, für die dann auch die Glaskennwerte nach EN 410 [11] bestimmt werden.

■ Über die Zeit betrachtet liegt, wie Bild 5 zu entnehmen ist, die jährliche mittlere Sonnenscheinwahrscheinlichkeit in Deutschland bei unter 40%: Es überwiegen in über 60% der Zeit bedeckte

Himmelszustände. In den Sommermonaten liegen mittlere Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten zwischen 40 und 50%, in den Wintermonaten i. d. R. zwischen 10 und 20%. Die im Mittel auf unterschiedlichen Fassaden verfügbaren jährlichen Belichtungen (Beleuchtungsstärken gewichtet mit der Zeit) variieren zwischen 93 Mlxh für eine horizontale Dachverglasung, 31 Mlxh für eine Nord-, 74 Mlxh für eine Süd- und zwischen 51 und 57 Mlxh für eine Ost- bzw. Westfassade, bei einem angenommenen Betrachtungszeitraum von 8 – 18 Uhr. Entsprechend variieren die Zeiten direkter Besonnung, zu denen je nach Nutzung Sonnen- und / oder Blendschutz erforderlich ist, zwischen 33% bei Süd-, 20% bei Ost-West- und genähert 0% bei Nordorientierung.

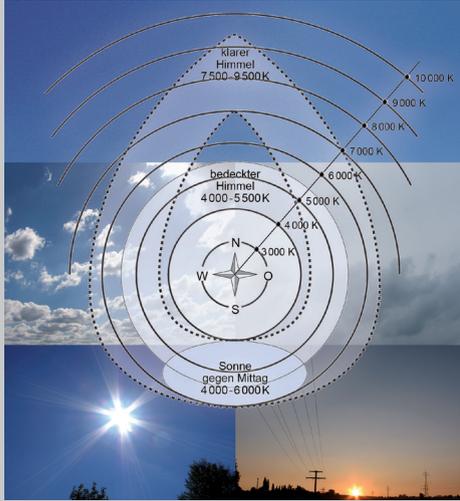
■ Die auf Gläser einwirkende Lichtquelle »Tageslicht« ist hochvariabel. Wäre sie eine künstliche Lichtquelle, hätte sie variierende Farbtemperaturen von unter 4.000 K bis über 10.000 K, einen Lichtstrom von bis zu 100.000 lm je Quadratmeter Leuchtenfläche, variable Lichtverteilungen von diffus bis quasi parallelem Licht und würde über das gesamte Jahr betrachtet eine Belichtung von ca. 93 Mlxh emittieren, was in etwa dem 80-fachen einer für die Bürobeleuchtung von 500 lx erforderlichen Belichtung entspräche<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Unter der Annahme von 9 Arbeitsstunden pro Tag und einem dauerhaft bis auf Wochenenden belegten Büroarbeitsplatz.

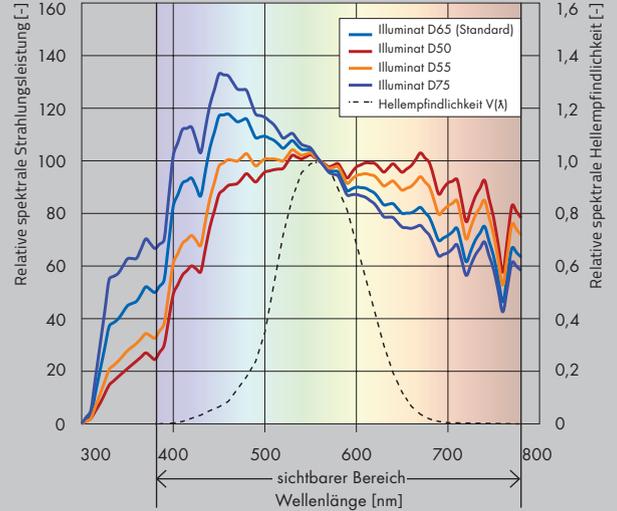
# 2

**BILD 4 A-E** Zur Wirkkette zwischen Tageslicht außen, Transmission durch Glas und Tageslicht innen.

## Außen



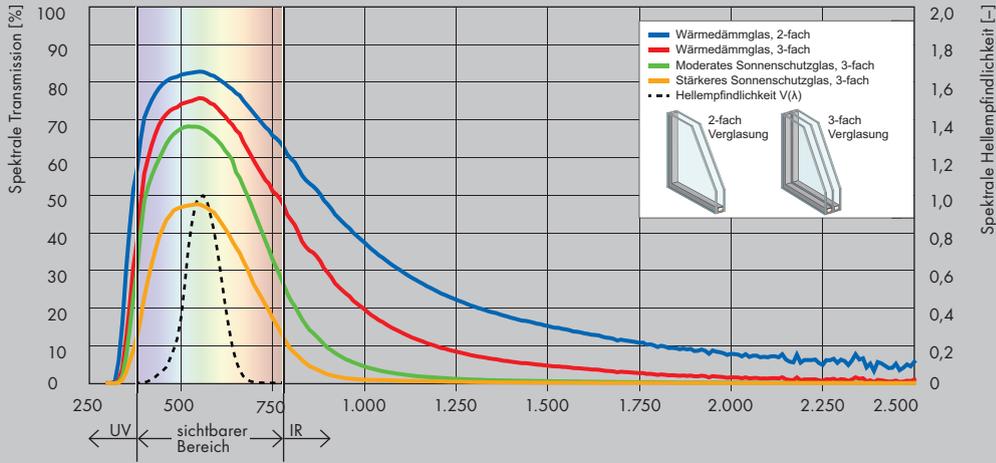
**BILD 4 A** Auf Verglasungen einwirkende natürliche Spektren: Zuordnung von Himmelszuständen zu Farbttemperaturen.



**BILD 4 B** Relative spektrale Strahlungsleistung der Tageslicht-D-Normspektren, Helligkeitskurve

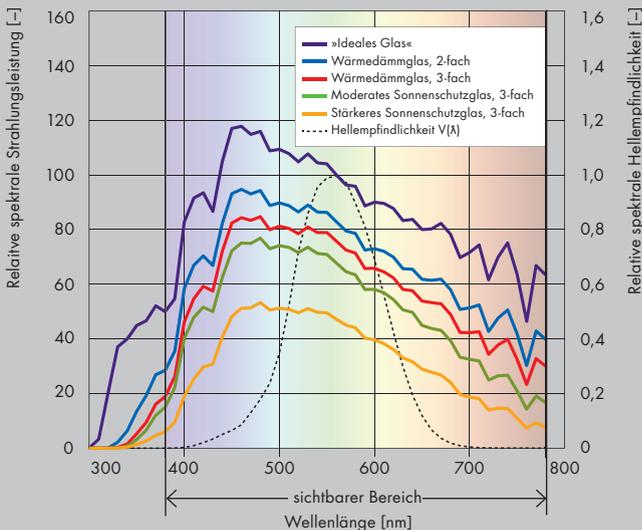
## Verglasung

8

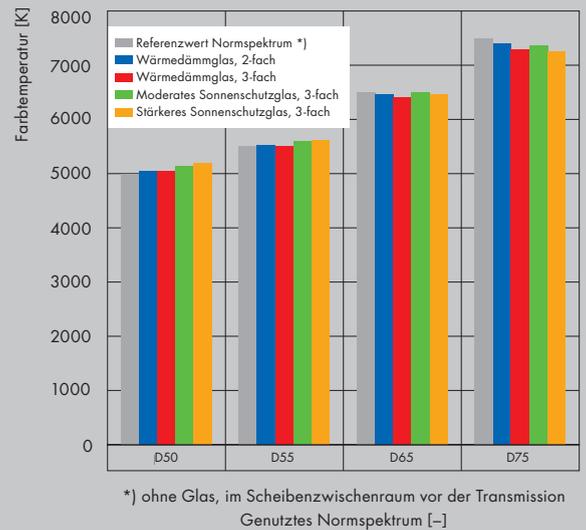


**BILD 4 C** Spektrale Transmissionsgrade der Typverglasungen

## Innen



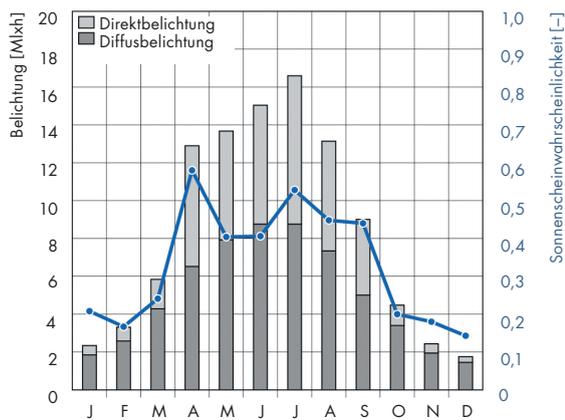
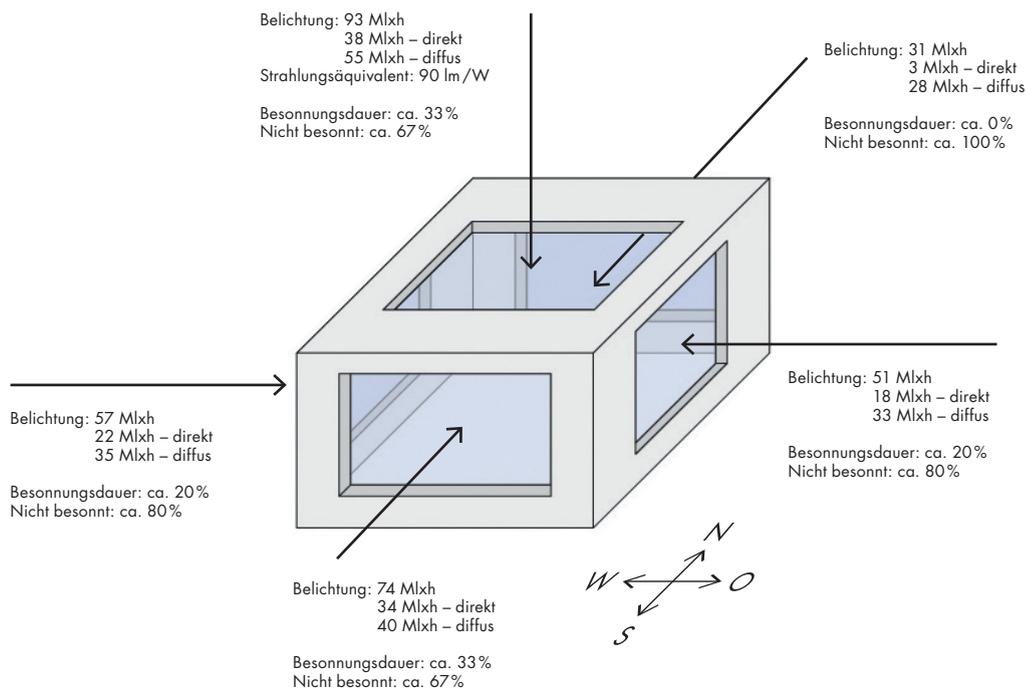
**BILD 4 D** Relative spektrale Transmission eines D65-Spektrums durch ein ideales Glas und durch die Typverglasungen.



**BILD 4 E** Vergleich der Farbttemperaturen der durch die Typverglasungen transmittierten Normspektren.

\*) ohne Glas, im Scheibenzwischenraum vor der Transmission  
Genutztes Normspektrum [-]

**BILD 5** Auf Verglasungen einwirkende Be-  
 lichtungen: Zuordnung Jahresbelichtungen  
 nach direkt und diffus und Besonnungszeiten  
 auf verschiedenen Fassadenorientierungen  
 (oben) und monatliche Darstellung der Be-  
 lichtungen nach direkt / indirekt und der  
 Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (Diagramm  
 unten) für mittleres Klima in Deutschland.



# 2

## 2.2 Lichttechnische Verglasungseigenschaften

Die Verglasungen verändern Intensität und spektrale Zusammensetzung des in den Raum transmittierten Tageslichts, Funktionsgläser wie Lichtlenkgläser zusätzlich auch die Lichtrichtung. Bild 4 C sind die spektralen Transmissionsgrade von vier repräsentativen Typverglasungen nach Tabelle 1 zu entnehmen. Diese sind dargestellt in Relation zur Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges  $V(\lambda)$ .

Ersichtlich ist, dass die Gläser auf diese Hellempfindlichkeit optimiert sind. Es herrscht nahezu Koinkidenz des Maximums der spektralen Transmission mit dem Maximum von  $V(\lambda)$ . Die Gläser haben ihre höchste Durchlässigkeit im sichtbaren Bereich, sperren dagegen stark im UV-Bereich aufgrund der chemischen Zusammensetzung der im Floatglas-Prozess hergestellten üblichen Kalk-Natron-Gläser und im IR-Bereich aufgrund selektiver Wärme- / Sonnenschutzbeschichtungen.

Durch Abstimmung der maximalen Strahlungstransmission auf den Bereich der maximalen Hellempfindlichkeit des Auges sind übliche Verglasungen auf eine möglichst hohe Tageslichttransmission ausgelegt.

Bzgl. der Farbwiedergabe ist aus Bild 4 D ersichtlich, dass gegenüber dem ungefilterten D65-Spektrum sich die relativen Spektren nach Transmission durch die Gläser im sichtbaren Bereich kaum verändern, die Gläser daher weitestgehend farbneutral sind. Entsprechend erreichen

heute im Markt übliche Gläser hohe Farbwiedergabeindizes, im Falle der Gläsertypen 1, 2, 3 in Tabelle 1  $R_a = 94$  oder größer [1], [11]. Dies entspräche im Bereich der elektrischen Beleuchtung der besten Farbwiedergabestufe 1A [12]. Angemerkt sei, dass bei Sonnenschutzgläsern der Farbwiedergabeindex tendenziell etwas geringer ausfällt, da aufgrund der stärkeren Rückreflexion des IR-Strahlungsanteils auch Rotanteile sichtbar stärker gedämpft werden<sup>3</sup>.

Hinsichtlich Einfluss auf die Farbtemperaturen in Innenräumen hat die Farbvarianz des Tageslichts selbst einen erheblich größeren Einfluss als die spektrale Transmission der Gläser, wie Bild 4 E zu entnehmen ist.

Heute gebräuchliche Gläser sind durch eine hohe Farbneutralität mit sehr guter Farbwiedergabe gekennzeichnet. Sonnenschutzgläser zeigen gegenüber reinen Wärmeschutzgläsern vergleichsweise etwas geringere, aber immer noch als sehr gut einzustufende Werte. Allgemein werden Änderungen der Farbtemperaturen in Innenräumen erheblich stärker durch die Farbvarianz des Tageslichts selbst als durch die Verglasungen geprägt.

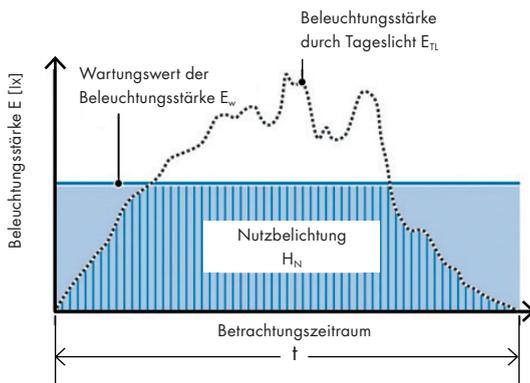
<sup>3</sup> Dies drückt sich speziell in einem geringeren Farbwiedergabewert des Remissionsspektrums R9 (gesättigtes Rot) nach [2] aus.

**TABELLE 1** Kennwerte typischer Wärmedämm- und Sonnenschutzgläser in 2- und 3-Scheiben-Ausführung.

#	Glastyp	$\tau_{UV, D65}^*$ [%]	$\tau_{v, D65}$ [%]	$\tau_{IR, D65}^{**}$ [%]	$\tau_e^{***}$ [%]	$R_a$ [-]	g-Wert [-]	Selektivität S [-]	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]
1	Wärmedämmglas 2-fach	30	82	32	57	98	0,65	1,26	1,1
2	Wärmedämmglas 3-fach	16	74	18	45	96	0,53	1,4	0,7
3	Moderates Sonnenschutzglas 3-fach	11	66	6	34	94	0,39	1,69	0,7
4	Stärkeres Sonnenschutzglas 3-fach	4	46	2	21	91	0,25	1,84	0,7

Bestimmt für Wellenlängen: \*300–380 nm, \*\*780–2.500 nm, \*\*\*300–2.500 nm

### 2.3 Verglasungen und Tageslichtautonomie: Wirkung von Glas über die Zeit



**BILD 6** Zur Definition der relativen Nutzbelichtung (Tageslichtautonomie) zur Bewertung der Tageslichtversorgung in Innenräumen.

#### Was versteht man unter Tageslichtautonomie?

Planung und Bewertung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse in Innenräumen orientieren sich heutzutage neben dem Tageslichtquotienten<sup>4</sup> an der sogenannten relativen Nutzbelichtung, oft auch als »Tageslichtautonomie« bezeichnet. Der Bewertungsansatz der relativen Nutzbelichtung bietet gegenüber dem Tageslichtquotienten den Vorteil, dass die Tageslichtversorgung über einen längeren Zeitraum sowohl unter Berücksichtigung unterschiedlicher Himmels- und Besonnungszustände als auch Fassadenzustände (Sonnen-, Blendschutz aktiv oder nicht aktiv) beschrieben wird. Damit kann dann auch der Einfluss der natürlichen Beleuchtung auf den Einsatz der künstlichen Beleuchtung und damit auf die Energiebilanz des Gebäudes beschrieben werden. Wie Bild 6 zu entnehmen ist, kann hierbei die Nutzbelichtung in einem gegebenen Punkt durch Integration der Beleuchtungsstärke  $E_{TL}$  aufgrund des Tageslichts bis zum Erreichen des vorgegebenen Wartungswertes der Beleuchtungsstärke  $E_W$  z. B. anhand Vorgabe aus einer Lichtplanung gemäß [12] über den Betrachtungszeitraum  $t_A$  ermittelt werden. Die Nutzbelichtung gibt somit den Belichtungsanteil an, der von einem dimmbaren künstlichen Beleuchtungssystem zum Erreichen der für die Erfüllung der Sehaufgabe erforderlichen Belichtung ( $E_W \cdot t_A$ ) **nicht** beigesteuert werden muss. Die relative Nutzbelichtung ist damit auch eine Bewertungsgröße für das im Idealfall zu erreichende Einsparpotential elektrischer Beleuchtungsenergie. In angewandten energetischen Bewertungsverfahren (DIN V 18599-4 [4], EN 15193 [3], ISO 10916 [13]) wird sie im Allgemeinen für eine jährliche Periode ausgewertet und dabei aufgeteilt in Anteile für die Zeit, in der die Fassade besonnt, d. h. der Sonnenschutz im Allgemeinen aktiviert ist, und in der die Fassade nicht besonnt, d. h. der Sonnenschutz nicht aktiviert ist.

Nachhaltigkeitszertifizierungen wie BNB [5] und DGNB [6] nutzen indirekt über die Verfahren der DIN V 18599-4 das Konzept der relativen Nutzbelichtung.

#### Einfluss von Verglasungen auf die Tageslichtautonomie

Glas ist hinsichtlich Erzielung generell guter Tageslichtverhältnisse eine wichtige, aber nicht die allein maßgebliche Einflussgröße. Weitere Einflussfaktoren sind:

- Die zumeist nicht direkt beeinflussbaren städtebaulichen Gegebenheiten wie Orientierung des Baukörpers und dessen Verbauung.
- Der Gebäudeentwurf, definiert durch Gebäudekubatur, Innenraumprogramm und die generelle Fassadenausbildung wie Lochfassade, Ganzglasfassade, Glasdoppelfassade.
- Die spezielle Fassadenausbildung, die z. B. im Verwaltungsbau heute stark durch den Sonnen- und Blendschutz geprägt ist, vgl. auch Bildschirmarbeitsstättenverordnung [14].

Bild 7 illustriert für einen üblichen Büroraum die Einflüsse. Zur Einordnung sei genannt, dass sich außen unter freiem Himmel eine relative Nutzbelichtung von etwa 93% ergibt. Bei geforderten 500 lx am Arbeitsplatz wird 93% der Zeit diese Beleuchtungsstärke durch Tageslicht erreicht oder überschritten. Als Benchmark lässt sich in unseren Breiten zu den üblichen Nutzungszeiten in Innenräumen eine relative Nutzbelichtung von etwa 80% erreichen, vgl. Variante »Optimierte bauliche Lösung«.

<sup>4</sup> Der Tageslichtquotient ist definiert als das Verhältnis der Beleuchtungsstärke innen zur Beleuchtungsstärke außen bei bedecktem Himmel.

# 2

Die Variationen der Typverglasungen von Wärmedämmglas 2-fach ( $\tau_{v,D65} = 82\%$ ), Wärmedämmglas 3-fach ( $\tau_{v,D65} = 74\%$ ) und moderatem Sonnenschutzglas 3-fach ( $\tau_{v,D65} = 66\%$ ), vgl. Tabelle 1, bedingen Unterschiede in der relativen Nutzbelichtung von maximal 7% in der Variante »Raumorientierung Nord« und minimal 2% in der Variante »Fensterflächenanteil 100%«. Die Gesamtvariation bei einem angenommenen Referenz-Glastyp Wärmedämmglas 3-fach in Abhängigkeit anderer nicht glasbezogener Parameter liegt dagegen bei erheblich größeren 40%. Ausgewählte bauliche Maßnahmen können daher zumeist zur Kompensation geringer Lichttransmissionswerte genutzt werden, vgl. auch das folgende Kapitel 3.

Somit bleiben Kompensationsmöglichkeiten. Z. B. kann mit einem günstigeren Rahmenanteil (0,2 statt 0,3) die geringere Lichttransmission eines moderaten Sonnenschutzglases 3-fach gegenüber einer Wärmeschutzverglasung ausgeglichen werden.

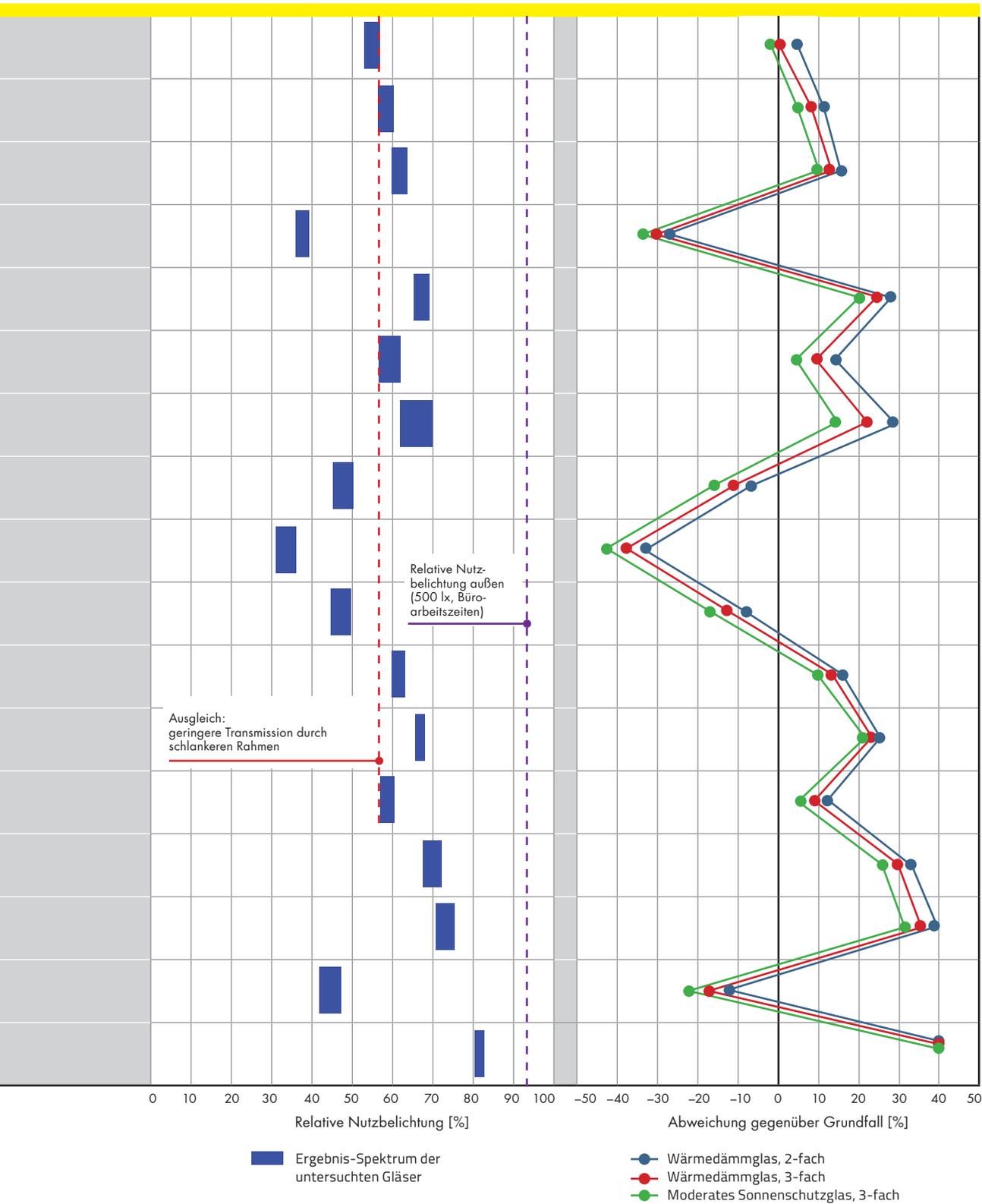
Glas kann eine gute Tageslichtarchitektur unterstützen, aber nicht ersetzen. Gute Tageslichtversorgung ist eine integrale Planungsaufgabe aus Architektur und Fassadenplanung und hängt von dem städtebaulichen Umfeld ab.

12

**BILD 7** Relative Nutzbelichtung in einem einseitig belichteten Büroraum für die unterschiedlichen Glastypen »Wärmedämmglas, 2-fach« mit  $\tau_{vis,D65} = 82\%$  (jeweils höchster Wert), »Wärmedämmglas, 3-fach« mit  $\tau_{vis,D65} = 74\%$  (jeweils mittlerer Wert) und »Moderates Sonnenschutzglas, 3-fach« mit  $\tau_{vis,D65} = 66\%$  (jeweils niedrigster Wert) nach Tabelle 1 bei Variation allgemeiner Bauparameter (Diagramm links: Abweichung gegenüber Grundfall mit Typglas »Wärmedämmglas, 3-fach« (Diagramm rechts))<sup>5</sup>. Berechnungen auf Basis der DIN V 18599-4 [4].

5 Grundfall:  
 Breite: 3,6 m; Tiefe 4,8 m; Wartungswert der Beleuchtungsstärke: 500 lx;  
 Orientierung: Süd; Verbauung 0°; Fensterflächenanteil 40%; Fassadentyp: einfach; Sonnen-/ Blendschutz: Standard, »nur Blendschutz«.

Grundfall		
Variante	Raubbreite	7,20 m
	Raumtiefe	3,60 m
		7,20 m
	Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_w$	300 lx
	Orientierung	Ost / West
		Nord
	Verbauung	30°
		45°
	Fensterflächenanteil (FFA)	25%
		60%
		100%
	Geringerer Rahmenanteil	0,15 statt 0,30
Sonnen- / Blendschutz	Lichtlenkend	
	Kein	
Fassadentyp	Glas-Doppel-Fassade	
Optimierte bauliche Lösung	FFA 100% lichtlenkend	



## 3

### Tageslichtversorgung und Wärmeschutz: Zielkonflikt oder vereinbar?

Die Darstellungen des vorherigen Kapitels werden im Folgenden hinsichtlich der aktuellen Fragestellung von Tageslichtversorgung und Wärmeschutz vertieft. Verbesserter Wärmeschutz mittels 3-fach-Verglasungen setzt gegenüber 2-Scheibengläsern die Lichttransmission aufgrund der Fresnelreflexionen an zwei weiteren Glasgrenzschichten herab. So verbessert sich exemplarisch der Wärmeschutz von Wärmedämmglas 2-fach mit  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf Wärmedämmglas 3-fach mit  $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  um 41 %, vgl. auch Tabelle 1. Dies geht einher mit einer Absenkung von  $\tau_{\text{vis,D65}} = 82 \%$  auf  $\tau_{\text{vis,D65}} = 74 \%$  um 10 %.

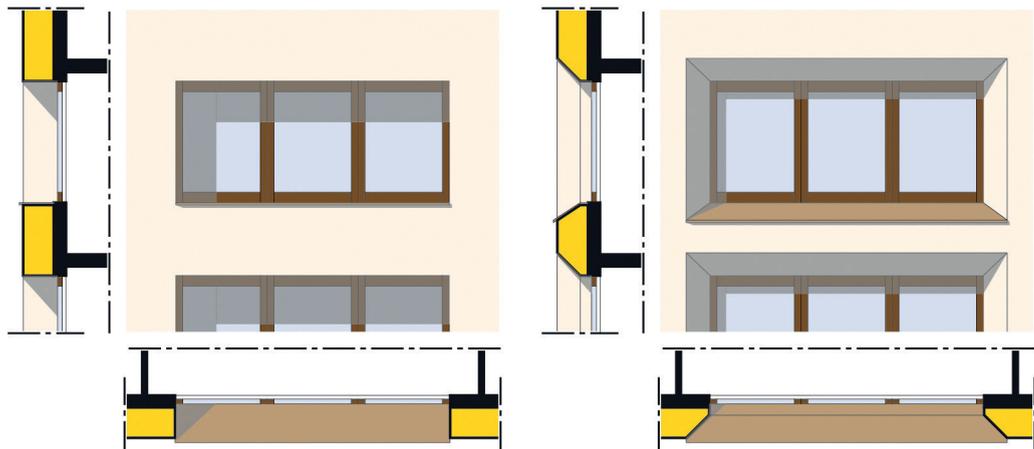
Ermittelt man nun nach Bild 9 die relative jährliche Nutzbelichtung, bedingt die exemplarische 10-prozentige Verringerung der Lichttransmission bei einer baulich als »mittel« einzustufenden Tageslichtsituation eine Verringerung der relativen Nutzbelichtung um 4 % und bei einer als baulich

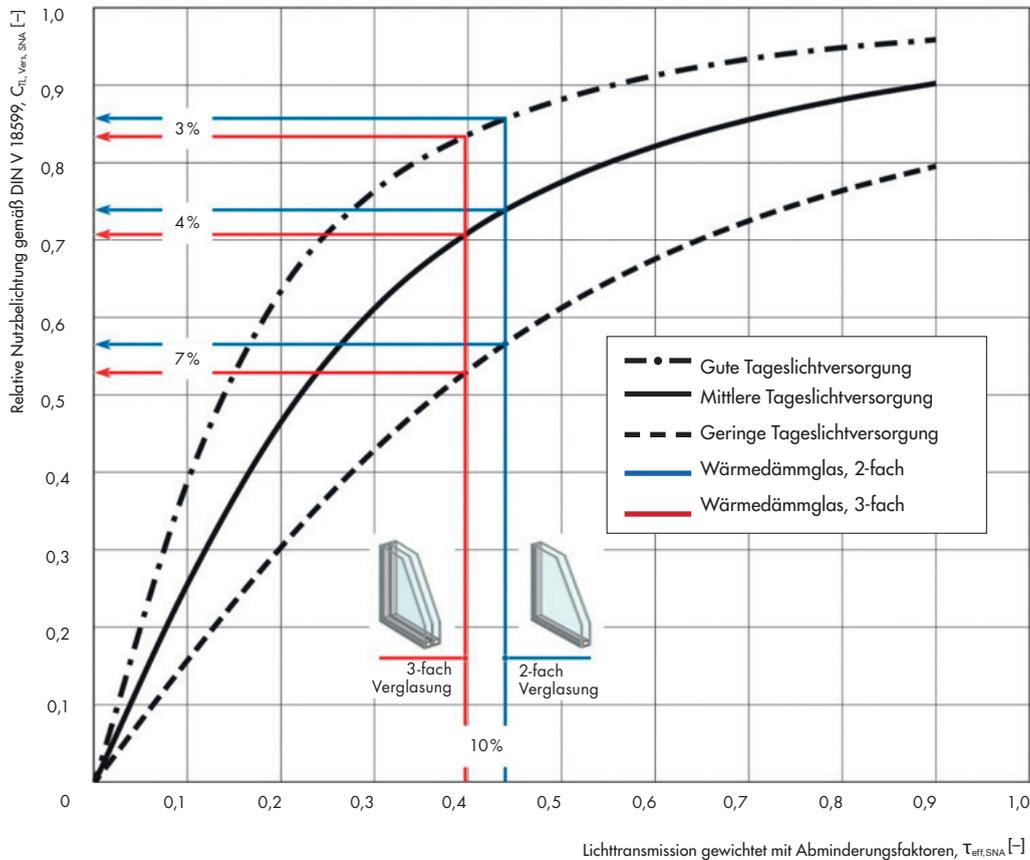
»gut« einzustufenden Situation um 3 %. Die Verringerung der Lichttransmission wirkt sich daher nicht direkt proportional, sondern unterproportional auf die eigentliche Tageslichtversorgung aus. Der Grund liegt in Sättigungseffekten. Ab einem gewissen, ausreichenden Tageslichtniveau des Raumes erfolgt zu großen Teilen des Jahres morgens und abends ein schnelles Über- bzw. Unterschreiten der erforderlichen Beleuchtungsniveaus von z. B.  $E_w = 500 \text{ lx}$ , vgl. auch Bild 6. Dagegen ist bei einer geringen Tageslichtversorgung der Einfluss der Gläser größer, bleibt aber noch immer unterproportional, in dem Beispiel nach Bild 9 bei 7 %.

Kompensationsmöglichkeiten könnten beispielsweise geringfügig größere Fensterflächenanteile, geringfügig schlankere Rahmenanteile, vgl. auch Bild 7, oder auch lichttechnisch optimierte Laibungen sein, wie in Bild 8 dargestellt.

14

**BILD 8** Sich nach außen öffnende Fensterlaibungen (Bild rechts) können gegenüber konventionellen Laibungen (Bild links) helfen, die Verringerung der Tageslichtversorgung durch 3-fach-Wärmedämmglas zu kompensieren.





**BILD 9** Zusammenhang zwischen der Lichttransmission und der relativen jährlichen Nutzbelichtung (Tageslichtautonomie)<sup>6</sup>.

Die Auswirkung eines besseren Wärmeschutzes mit Übergang von 2- auf 3-fach-Verglasungen auf die Tageslichtversorgung verhält sich gegenüber dem Verhältnis der Lichttransmissionsgrade unterproportional. Die Erzielung vergleichbarer Lichtverhältnisse ist zumeist durch geringe bauliche Modifikationen in der Planung möglich.

<sup>6</sup> Glas, d. h. ohne Betrachtung des Sonnenschutzes  $\tau_{eff, SNA} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \tau_{vis, D65}$ . Randbedingungen gemäß DIN V 18599 für Verschmutzung  $k_1 = 0,9$ , nicht senkrechten Lichteinfall  $k_2 = 0,85$ , Rahmenanteil  $k_3 = 0,3$ ,  $E_w = 500lx$ .

# 4

## Die nicht-visuelle Wirkung von Strahlung auf den Menschen: Ist die Glastransmission neu zu bewerten?

### 4.1 Wirkung der Solarstrahlung auf den Menschen

Der Mensch reagiert vielfältig auf die unterschiedlichen Strahlungsanteile des Sonnenspektrums. So ist im Bereich der nicht sichtbaren Strahlung beispielsweise der UV-B-Anteil der natürlichen Strahlung verantwortlich für die Vitamin-D-Bildung über die Haut. Der UV-Strahlung ist die Hautbräunung – aber auch Sonnenbrand! – zuzuordnen. Des Weiteren bestehen sowohl ebenfalls im UV-Bereich Wirkungen auf die Immunmodulation als auch auf Wundheilungs- und Regenerationsprozesse im Infrarotbereich.

Von etwa 2001 an konnte im Bereich der sichtbaren Strahlung, d. h. des über das Auge empfangenen Wellenlängenbereichs von 380 nm bis 780 nm, ein weiterer Wirkmechanismus nachgewiesen werden. Auf der Netzhaut befinden sich neben den für das eigentliche Sehen verantwortlichen Photorezeptoren – Zapfen für das Tagsehen und Stäbchen für das Nachtsehen – mit den sogenannten intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGC) weitere Rezeptoren, die, wie in Bild 10 illustriert, direkt auf den auch als »Master Clock« (»innere Uhr«) des Menschen bezeichneten suprachiasmatischen Nucleus (SCN) wirken. Lichtreize steuern auf diesem Weg wesentliche Hormone, u. a. die Unterdrückung des Schlafhormons »Melatonin«. Auch die Kon-

zentration von Cortisol (»Stresshormon«) und die Körpertemperatur hängen von der inneren Uhr ab. In den ipRGC-Rezeptoren wirkt als Signalgeber das Protein Melanopsin, dessen Wirkung analog zur  $V(\lambda)$ -Kurve mit einem sogenannten Wirkspektrum, der  $S_{mel}(\lambda)$ -Kurve, beschrieben wird, dargestellt in Bild 11. Der circadiane (lateinisch circa: »etwa, ungefähr«, dies: »Tag«) Rhythmus – »der Schlaf-Wach-Rhythmus« – und die Aktivierung (»Art des Wachseins«) des Menschen wird dadurch maßgeblich durch das zeitliche Auftreten, die Intensität und die spektrale Zusammensetzung der in das Auge eindringenden Strahlung synchronisiert und beeinflusst<sup>7</sup>.

Eine gute Versorgung von Arbeitsplätzen mit Tageslicht sorgt im Allgemeinen auch für eine gute ausreichende circadiane Aktivierung. Erst in fensterfernen Raumbereichen oder Räumen mit aus anderen Gründen schlechter Tageslichtversorgung kann das natürliche Licht für diese Wirkprozesse, deren Stimulanz oberhalb des Beleuchtungsniveaus üblicher elektrischer Beleuchtungsanlagen liegt, nicht ausreichen und ist ggf. mit elektrischer Beleuchtung zu ergänzen. Erste Planungshinweise sind z. B. der DIN SPEC 67600<sup>8</sup> zu entnehmen [15]. Dort angeregte / vorgeschlagene erhöhte Beleuchtungsstärken mit kühlerem Licht z. B. zur Mittagszeit können in gut tageslichtversorgten Räumen über weite Teile des Jahres ohne gesondert erforderliche Ergänzungsbeleuchtung erreicht werden. Auch im Winter ist nicht pauschal in diesen Bereichen von einer defizitären Versorgung auszugehen, da ungleich der sofortigen visuellen Wirkung des Lichts bei der nicht visuellen Wirkung relevant ist, zu welcher Tageszeit welche Lichtdosis aufgenommen wird.

16

- 7 A) Licht mit starken Blauanteilen in den Abendstunden kann Schlafstörungen verursachen, vgl. auch Blaufilter bei Bildschirmen.
  - B) Die therapeutische Wirkung z. B. zur Verbesserung des Schlafrhythmus bei Demenzkranken durch eine erhöhte Lichtexposition tagsüber ist erwiesen. Idealerweise erfolgt diese im Innenbereich durch gut und ausreichend tageslichtversorgte Aufenthaltsbereiche.
  - C) Solange die Lichtexposition dem Gang des Tageslichts folgt, wird diese im Allgemeinen als unkritisch bewertet. Problematisch dagegen sind z. B. Fälle, wenn Licht nachts (wie z. B. bei Schichtarbeit) zur Stimulation eingesetzt wird. Dies kann erhebliche gesundheitliche Folgen haben.
- 8 Achtung, keine Norm. Für eine Norm besteht noch kein allgemeiner fachlicher Konsens.

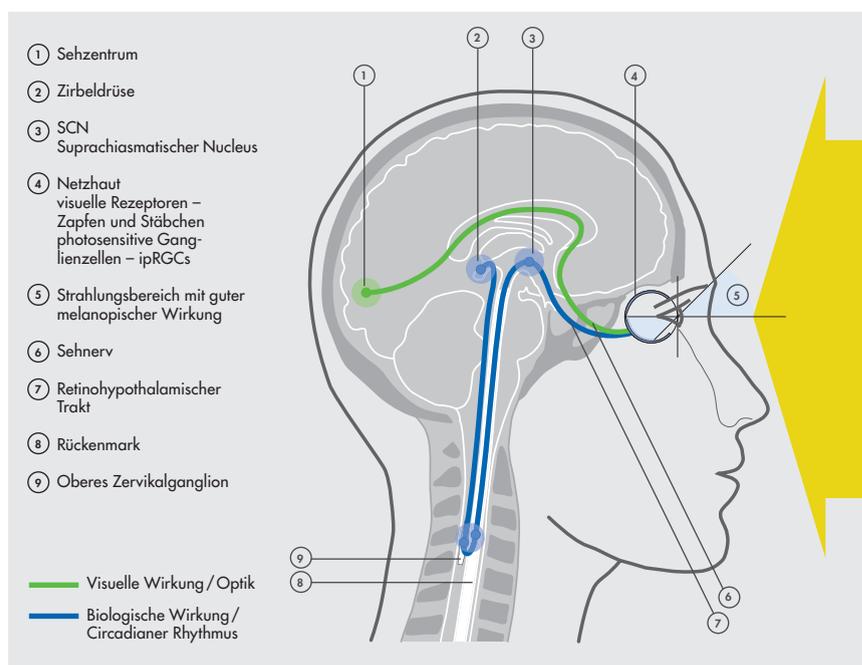
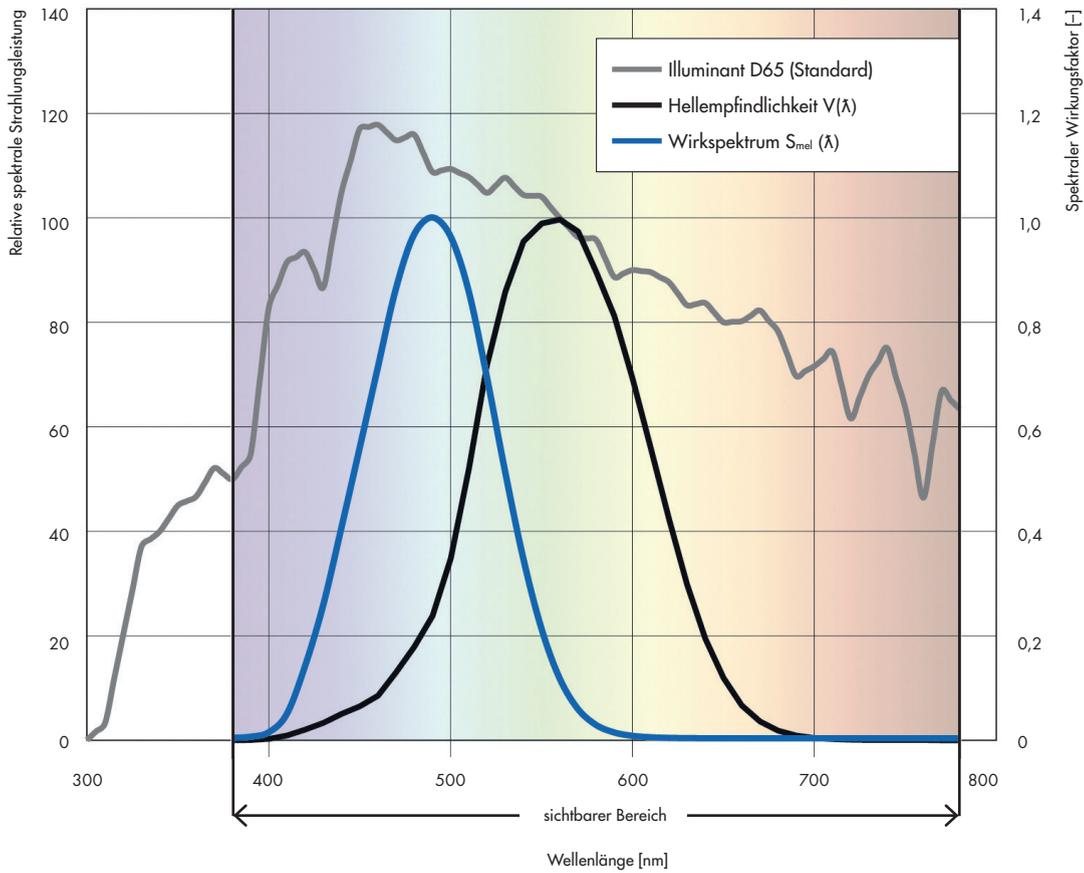
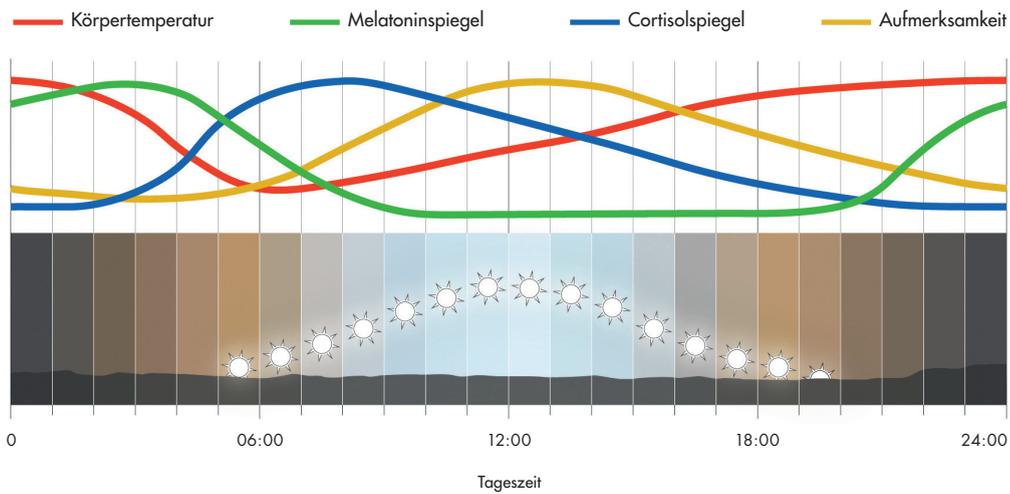


BILD 10 Zur nicht visuellen Wirkung der auf die Netzhaut treffenden Strahlung.



**BILD 11** S<sub>mel</sub> Wirkfunktion im Vergleich zur Hellempfindlichkeitskurve V(λ) und zum Tageslichtspektrum D65.



**BILD 12** Verlauf Melatonin- und Cortisol-Spiegel und Körpertemperatur über den Tag.

Tageslicht in Gebäuden wirkt auf den circadianen Rhythmus des Menschen. Eine allgemein gute Tageslichtversorgung stützt auch den circadianen Rhythmus. Somit liegen im Wesentlichen kongruente Planungsziele hinsichtlich visueller und nicht visueller Wirkung vor.

# 4

## 4.2 Sind zukünftig weitere Kenngrößen zur Beschreibung der nicht visuellen Wirkung von Gläsern erforderlich?

■ Übliche Fenstergläser auf Kalk-Natron-Basis, vgl. Bild 4 und auch Tabelle 1, sperren gegenüber UV-B-Strahlung so gut wie vollständig. Im Innenraum wird somit die zuvor angesprochene Vitamin-D-Produktion über die Haut nicht ange-regt. Zugleich erfolgt dadurch aber auch ein Schutz vor Sonnenbrand in fensternahen Bereichen. Der Versuch der Verbesserung der Strahlungstran-smission in diesem Wellenlängenbereich (und die Berücksichtigung durch entsprechende Kennwerte) durch den theoretisch möglichen Einsatz von Glä-sern wie Borosilikatgläsern, die in diesen Wellen-längenbereichen durchlässiger sind, würde keine sinnvolle Alternative darstellen.

■ Vor dem Hintergrund der dargestellten melanopischen Wirkung des Tageslichts auch in Innenräumen wird verstärkt die Frage diskutiert, ob ein weiterer, auf die Wirkungsfunktion  $S_{mel}(\lambda)$  bezogener Transmissionsgrad  $\tau_{mel}(\lambda)$  zur Charak-terisierung von Verglasungen in der Praxis einge-führt werden sollte oder ob der bisherige Kenn-wert  $\tau_{vis}(\lambda)$  auch für die melanopische Wirkkette ausreichend repräsentativ ist.

■ Analog zur Definition der visuellen Trans-mission von Gläsern nach DIN EN 410 [11]:

$$\tau_{vis,D65} = \frac{\int X_{D65}(\lambda) U(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int X_{D65}(\lambda) U(\lambda) d\lambda}$$

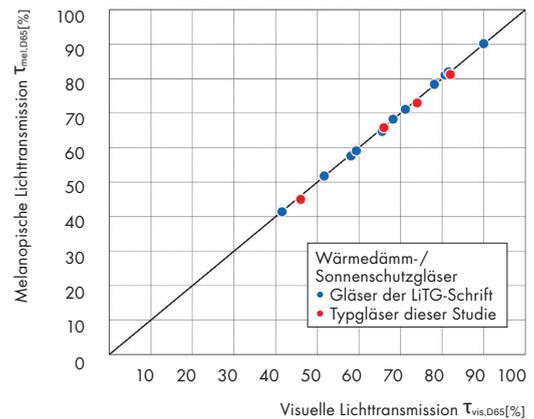
kann eine melanopische Lichttransmission de-finiert werden:

$$\tau_{mel,D65} = \frac{\int X_{D65}(\lambda) S_{mel}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int X_{D65}(\lambda) S_{mel}(\lambda) d\lambda}$$

■ Hierauf basierend kann die melanopische Wirkung von Tageslicht auf Grundlage des Norm-spektrums  $X_{D65}(\lambda)$  in Innenräumen bewertet und damit z. B. mit melanopischen Strahlungs-bewertungsgrößen nach Definition in DIN SPEC 5031-100 [16] verrechnet werden. Bild 13 zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Transmis-sionsgrade  $\tau_{vis,D65}$  und  $\tau_{mel,D65}$  für eine Sammlung unterschiedlicher Wärme- und Sonnenschutzgläser [1] und auch der in dieser Schrift exemplarisch betrachteten vier Typgläser gemäß Tabelle 1. Für diese weitestgehend farbneutralen Gläser gilt  $\tau_{mel,D65} \cong \tau_{vis,D65}$ . Eine Betrachtung für die anderen Tageslichtnormlichtarten D50, D55, D75 zeigt entsprechendes Verhalten.

■ Für übliche Gläser können daher melano-pisch zu bewertende Spektren in guter Näherung mit den bereits breit eingeführten Lichttran-smissionsgraden  $\tau_{vis,D65}$  bewertet werden. Für eine Kenngröße  $\tau_{mel,D65}$  können die Werte von  $\tau_{vis,D65}$  übernommen werden.

■ Für weitestgehend farbneutrale Verglasungen können für die melanopisch gewichtete Strahlungs-transmission  $\tau_{mel,D65}$  in guter Näherung die Licht-transmissionsgrade  $\tau_{vis,D65}$  herangezogen werden.



**BILD 13** Vergleich von  $\tau_{vis,D65}(\lambda)$  und  $\tau_{mel,D65}(\lambda)$  für 11 Ver-glasungen nach [1] und 4 Typverglasungen nach Tabelle 1.

## Ein neuer Standard zum Tageslicht: Was bringt die EN 17037 »Tageslicht in Gebäuden«?

Die in der finalen Abstimmung befindliche europäische Norm prEN 17037 »Tageslicht in Gebäuden« führt in Teilen neue Kriterien, Bewertungsansätze und Empfehlungen zur Tageslichtversorgung, zum Ausblick, zur Sonnenlichtexposition und der Blendung durch Tageslicht ein:

### Tageslichtversorgung:

Wie schon seit langem im Bereich der Bewertung des Einflusses von Tageslicht auf den Gebäudeenergiebedarf (vgl. Kapitel 2.3) üblich, wird in der EN 17037 (dort als »Tageslichtzufuhr« bezeichnet) als allgemeine Baunorm zum Thema Tageslicht nun auch die Bewertung der Verfügbarkeit von Tageslicht über die Zeit aufgegriffen. Ein Raum kann nach EN 17037 als ausreichend mit Tageslicht versorgt bezeichnet werden, wenn eine Zielbeleuchtungsstärke über einen vorgegebenen Anteil der Bezugsebene für mindestens die Hälfte der Tageslichtstunden erreicht wird. Dies entspricht einer oben unter 2.3 dargestellten relativen Nutzbelichtung (»Tageslichtautonomie«) von 50%. Zum Nachweis kann entweder auf eine detaillierte Simulation mittels validierter Software, auf der auch die Ansätze in der weiter oben genannten energetischen Normung basieren, oder auf ein in der EN 17037 vorgegebenes vereinfachtes Nachweisverfahren auf Basis des Tageslichtquotienten zurückgegriffen werden.

Bei letzterem werden in Abhängigkeit der geografischen Lage und des Klimas Mindesttageslichtquotienten vorgegeben; dies unter der vereinfachten Annahme von nur diffuser Himmelsbeleuchtung und von nur Glas in den Fassadenöffnungen. Durch diese soll, wie in Bild 14 dargestellt, sichergestellt werden, gewünschte Beleuchtungsstärkewerte (z. B. 300 lx) alleine durch Tageslicht über eine Mindestzeit, 50% der Tageslichtstunden, und über einen Mindestanteil von 50% der Nutzfläche zu erreichen. Für Deutschland gelten für vertikale Fassadenzielteslichtquotienten  $D_T$  (»Target Daylight Factor«) von 2,2% für eine gewünschte Beleuchtungsstärke von 300 lx ( $D_{300}$ ), 3,6% für 500 lx ( $D_{500}$ ) und 5,4% für 750 lx ( $D_{750}$ ). Für Dachoberlichter gelten entsprechend 1,8% ( $D_{300}$ ), 2,9% ( $D_{500}$ ) und 4,4% ( $D_{750}$ ). Der bisherige Mindestwert von 0,9% für Räume mit vertikalen Fassaden nach DIN 5034 findet in der neuen Norm keine Berücksichtigung mehr<sup>9</sup>.

Dies bedeutet für den Einsatz von Glas: Für eine gleiche Verfügbarkeit von Tageslicht bei sonst gleichen Randbedingungen würde z. B. der Fensterflächenanteil in den Fassaden von Süd nach Nordeuropa zunehmen müssen, d. h. der Glasanteil steigen. In dem vereinfachten Modell der EN 17037 hängt die »Tageslichtzufuhr« hinsichtlich der Fassadenparameter ausschließlich vom Transmissionsgrad der eingesetzten Verglasung ab. Die Ausbildung des Sonnen- und Blendschutzes wird nicht beachtet.

5

<sup>9</sup> Nach Verschiebung der EN 17037 ist von einer mittelfristigen Anpassung des Normwerkes der DIN 5034 »Tageslicht in Innenräumen« auszugehen, da europäische Normung Vorrang vor nationaler Normung hat.

19

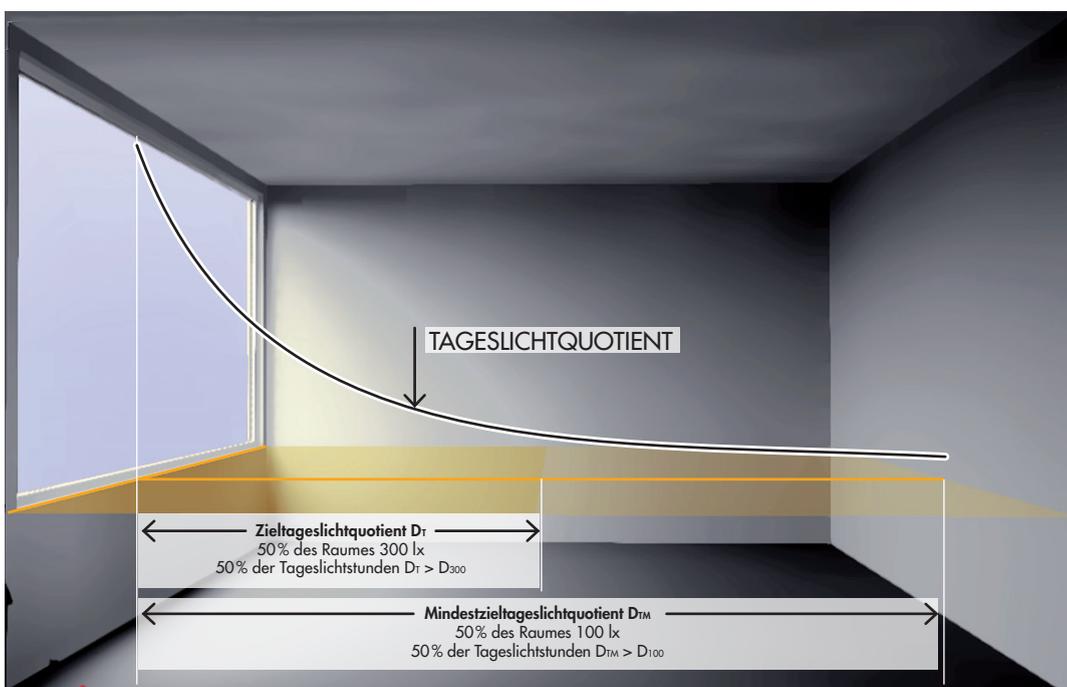


BILD 14 Konzept der Tageslichtverfügbarkeit (Tageslichtzufuhr) nach prEN 17037 [8].

## 5

**Ausblick:**

Für vorzugebende Beobachterpositionen im Gebäude kann der Ausblick zukünftig als Funktion eines horizontalen Sichtwinkels, einer Außensichtweite und der Art der sichtbaren Umgebung (»No-Skyline, No-Ground-Line-Konzept«), vgl. Bild 15, mit den Empfehlungsstufen »Minimum, Mittel, Hoch« klassifiziert werden. Hierbei sind der horizontale Sichtwinkel und die Außensichtweite Bewertungskriterien, die von der Größe und Positionierung der Fassadenöffnung abhängen. Ein großer Fensterflächenanteil wirkt sich in der Bewertung generell positiv aus.

**Sonnenlichtexposition:**

Für Räume werden Mindestempfehlungen für die Sonnenlichtexpositionen gegeben. Heranzuziehende Bezugspunkte liegen in der Fensterebene. Die Bewertung erfolgt unabhängig von der eigentlichen Fenstergröße.

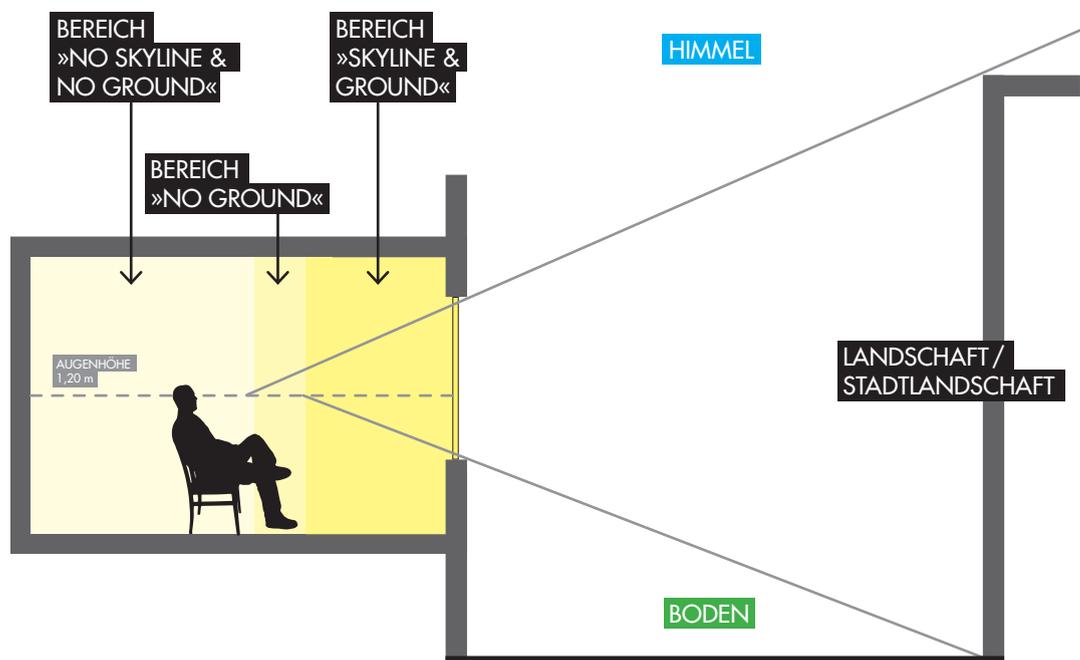
**Schutz vor Blendung durch Tageslicht:**

Für Räume mit Aktivitäten wie Lesen, Schreiben oder Nutzung von Anzeigegeräten wird empfohlen, Abschattungsvorrichtungen zu verwenden. Zur Beurteilung der Blendungswirkung wird die

sogenannte Daylight Glare Probability (DGP) verwendet. Das Verfahren betrifft damit vornehmlich den Sonnen- / Blendschutz. Bei Gläsern können lediglich »Verglasungen mit geringer Transmission« oder »elektrochrome Verglasungen«, die im geschalteten Zustand nur noch sehr geringe Lichttransmissionswerte aufweisen, bewertet werden. Für Gläser mit höherer Lichttransmission wird davon ausgegangen, dass sie keinen ausreichenden Blendschutz sicherstellen können.

In der EN 17037 ersetzt das Konzept der Tageslichtverfügbarkeit über die Zeit das reine Tageslichtquotientenkonzept der DIN 5034 und greift damit bereits bestehende Ansätze in der energetischen Bewertung von Tageslicht auf. Weitere neue Konzepte, welche Verglasungseinflüsse beachten, sind die Bewertung des Ausblicks und der Blendung durch Tageslicht.

20



**BILD 15** Darstellung des »No-Skyline, No-Ground-Line-Konzepts« zur vereinfachten Einstufung eines Ausblicks nach EN 17037.

## **Verglasungen auch unter tageslicht- technischen Aspekten richtig planen**

### **6.1 Planungshinweise**

Fassadensysteme übernehmen zugleich eine Schutz- und eine Versorgungsfunktion. Es ist z. B. an Bildschirmarbeitsplätzen ein adäquater Blendschutz bereitzustellen [14]. Dabei sollten die Räume zugleich mit ausreichend Tageslicht versorgt werden. Ein Ausblick sollte möglichst immer gewahrt bleiben. Ergänzend sollten Sonderaspekte, wie die Wirkung der Fassade im urbanen Raum, in der Planung Beachtung finden.

#### **Versorgungsfunktion**

Da in unseren Breiten bedeckte Himmelszustände überwiegen, sollten grundsätzlich Gläser mit möglichst hohen Transmissionsgraden und schlanken Rahmenanteilen eingesetzt werden. Die spezielle Auswahl von Gläsern ist hierbei auch abhängig von den einsetzbaren Sonnenschutzsystemen:

—> Zielsetzung bei Gebäuden mit einer eher geringen Gesamthöhe, die aufgrund moderater Windlasten beweglichen, außenliegenden Sonnenschutz (wie Raffstore) ermöglichen, sollte sein: hoher Wärmeschutz, hohe Lichttransmission, hoher g-Wert. Exemplarische Werte einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung sind nach Tabelle 1:  $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $g = 0,53$ ;  $\tau_{065} = 0,74$ .

—> Zielsetzung bei hohen Gebäuden, bei denen aufgrund höherer Windlasten nur innenliegender Blendschutz möglich ist: hoher Wärmeschutz, geringer g-Wert bei zugleich noch hohem Lichttransmissionsgrad (hohe Selektivität der Gläser!). Exemplarische Werte einer 3-fach-Sonnenschutzverglasung sind:  $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $g = 0,39$ ;  $\tau_{065} = 0,66$ .

#### **Schutzfunktion**

Je nach Tätigkeit sind die Nutzer durch den Blendschutz vor der direkten Wirkung der hohen Leuchtdichten der Fassaden (bei Besonnung und hohen Außenleuchtdichten des Himmels) und ungünstigen Leuchtdichteverteilungen im Raum zu schützen.

Generell wird empfohlen, dass der Sichtkontakt in Sonnenrichtung komplett z. B. durch Raffstoresysteme unterbrochen werden kann. Derartige Einrichtungen ermöglichen eine beliebige Positionierung von Arbeitsplätzen im gesamten Arbeitsbereich, ohne dass es zu Blendung kommt.

Bei fester Positionierung von z. B. Bildschirmarbeitsplätzen parallel zu den Fassaden oder der Möglichkeit, selbst frei den Arbeitsplatz positionieren zu können und damit den Bildschirm selbst aus der Blendrichtung herauszudrehen, kann auch auf transparente Blendschutzsysteme wie lose gewebte Textilien, Folienrollos oder die heute verfügbaren elektrochromen Verglasungssysteme mit sehr geringen Restlichttransmissionsgraden (bis ca. 1 %) zurückgegriffen werden. Zur Veranschaulichung: Eine Gesamtlichttransmission der Fassade von nur 1 % setzt die Leuchtdichte der Sonne auf einen Wert von noch immer ca.  $1,5 \cdot 10^7 \text{ cd/m}^2$  herab. Diese Leuchtdichte kann nach wie vor bei ungeeigneter Positionierung der Arbeitsplätze (s. o.) zur Direktblendung im Gesichtsfeld oder auf Monitoren zu Reflexblendung führen. Zu beachten ist, dass derartige Systeme durch die insgesamt sehr geringe Lichttransmission den Diffuslichteinfall in Teilen so stark herabsetzen, dass die Räume trotz direkter Besonnung dunkel erscheinen und verstärkt auf den Einsatz von Kunstlicht zurückgegriffen werden muss. Es ist zu beachten, dass übliche Sonnenschutzgläser aufgrund ihrer noch immer relativ hohen Lichttransmission allein keinen ausreichenden Blendschutz bereitstellen.

#### **Sonderaspekte, Wirkung im urbanen Raum**

Gläser prägen heute maßgeblich das äußere Erscheinungsbild von Gebäuden. Da sie aufgrund ihrer Beschichtung bei teilweise identischen Kennwerten ( $U_g$ ;  $g$ ;  $\tau_{065}$ ) spektral unterschiedliches Reflexionsverhalten und damit auch unterschiedliche Farbwiedergaben aufweisen, sind Bemusterungen oft empfehlenswert, vgl. Bild 16.

Heute hauptsächlich eingesetzte Sonnenschutzgläser wirken durch die Rückreflexion der Sonnenstrahlung. Je nach Neigung und Orientierung der Verglasungen kann es zu Blendungsproblemen kommen. Darüber hinaus kann dieser Effekt in Kombination mit konkaven Fassadenkrümmungen und kritischer Fassadenorientierung bzgl. der Sonneneinstrahlung zu sehr hohen Konzentrationen von Solarstrahlungen im Außenraum führen. Derartige Brennpunkte können Schaden an benachbarten Gebäuden oder mobilen Gegenständen hervorrufen [17]. Diese Probleme sollten bereits in der Planung identifiziert und durch Anpassung der Architektur oder den Einsatz alternativer Verglasungen vermieden werden.

## 6

**BILD 16** Bemusterung: spektral unterschiedliches Verhalten verschiedener Gläser mit ähnlicher Lichttransmission  $T_{vis,D65}$ , u- und g-Wert.



### 6.2 Planungswerkzeuge

Planungswerkzeuge unterstützen zum einen die Ermittlung unterschiedlicher lichttechnischer Kennwerte von Verglasungen, d. h., sie bieten Lösungen auf Komponentenebene. Sie helfen zum anderen, das Verhalten der Verglasungen auf Systemebene im Raum- und Gebäudekontext zu bewerten. Erstere Tätigkeit ist häufiger bei Herstellern und Fassadenplanern angelagert, letzteres eher bei Planern, die sich mit der Tageslichtversorgung (z. B. spezialisierte Lichtplaner), Gebäudeenergieeffizienz (Energieberater, HLK-Fachplaner) und Nachhaltigkeitszertifizierung (Nachhaltigkeitsaudatoren) auseinandersetzen. Für Sonderfragestellungen wie Blendung und Solarkonzentration durch Glasfassaden in urbanen Umfeldern können Spezialprogramme zum Einsatz kommen.

#### Komponentenbewertung

Heute eingesetzte Programme (proprietäre Software von Glasherstellern, Software von Drittanbietern, frei verfügbare Systeme wie LBNL-Windows [18]) orientieren sich primär an der Bewertung von Komponenten nach Normverfahren wie der DIN EN 410 [11] für die Bestimmung des Transmissions- und Reflexionsverhaltens und auch Farbwiedergaben von Verglasungsschichten. Zur Bewertung der Kombination von Verglasungen mit Sonnen- und / oder Blendschutz wird auf die EN 13363-1 / 2 [19] zurückgegriffen, beim visuellen Komfort auf die EN 14500 [20], EN 14501-1 [21]. Im Allgemeinen erlauben die Programme die Berechnung beliebiger Schichtaufbauten und verfügen hierbei über umfangreiche Datenbanken von Gläsern, Beschichtungen und auch Sonnen- / Blendschutzkomponenten. Der Import eigener (neu vermessener) Spektraldaten ist häufig möglich. Diverse Ausgaben, in Teilen mit Leistungserklärungen und CE-Kennzeichnung, unterstützen die Analyse und Dokumentation.

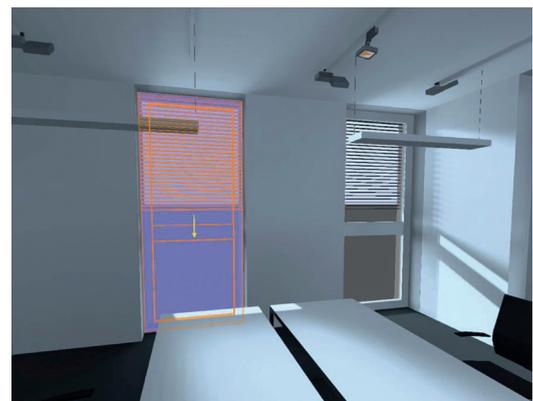
**BILD 17** Photorealistische Visualisierung der natürlichen Raumbeleuchtung durch ein Fassadensystem aus Glas und ein Raffstore mittels der Software DIALux Evo.

Diese Programme decken neben der Bestimmung der lichttechnischen Kennwerte zumeist auch noch die Bestimmung weiterer Glaseigenschaften wie der U- und g-Werte unter Berücksichtigung auch der Rahmeneigenschaften mit ab.

#### Systembewertung

Im Kontext einer raum- oder gebäudebezogenen Tageslichtplanung wird die Lichttechnik der Verglasung dann bei der Bestimmung von Planungsgrößen wie dem Tageslichtquotienten, der relativen Nutzbelichtung und dem Blendverhalten herangezogen. Zukünftig kann dies auch Empfehlungen der EN 17037 und ggf. auch neuer, kommender, nicht visueller, circadianer Bewertungsgrößen umfassen.

Die meisten Tageslichtbewertungen erfolgen im Rahmen der Nachweise zur Energie-Einsparverordnung (EnEV) und in geringerer, aber noch signifikanter Zahl im Rahmen von Nachhaltigkeitsaudits (BNB, DGNB) jeweils in der Anwendung des normativen Verfahrens der DIN V 18599-4. Das vereinfachte Verfahren, vgl. Kapitel 2.3, berücksichtigt die wesentlichen baulichen und technischen Einflüsse und wird im Rahmen von Programmen zur gesamtenergetischen Bewertung von Gebäuden von zahlreichen Softwarehäusern angeboten.



Tageslichttechnische Fragestellungen lassen sich mittlerweile auch mit ursprünglich reinen Kunstlichtplanungsprogrammen wie DIALux, vgl. Bild 17, Relux oder AGI32 bearbeiten. Deren Funktionserweiterung in den Bereichen Tageslicht und Energie wird zur Zeit forciert. Für spezialisierte Fachplanungen oder wissenschaftliche Untersuchungen steht darüber hinaus das Radiance-Programmsystem inklusive hierauf basierender Erweiterungen zur Verfügung. Eine detailliertere Übersicht ist in [1] zu finden.

### Ausblick

Wünschenswert wäre zukünftig eine verstärkte Integration der Komponenten- mit der Systembewertung. So enthält die bei Planern sehr weit verbreitete und kostenfreie Software DIALux nur wenige Verglasungsdaten. Die in der neuen EN 17037 »Tageslicht in Gebäuden« dokumentierten Empfehlungen und Verfahren – auch zu einer guten Planung mit Verglasungen – sollten gängige und gebräuchliche Programme funktional erweitern. »Last but not least« sollte im Rahmen des Building Information Modelling (BIM) eine gute Einbindung digitaler Verglasungskennwerte und ihrer Leistungsmerkmale in die gesamte Planungskette sichergestellt werden.

## Literatur

- [1] LiTG Tageslicht kompakt; Tageslichttechnik und Tageslichtplanung in Gebäuden.
- [2] DIN 6169-1: Farbwiedergabe, Allgemeine Begriffe. Beuth Verlag, Berlin (1976).
- [3] DIN EN 15193: Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2014).
- [4] DIN V 18599-4: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2011).
- [5] BNB, Zertifizierungssystem, Steckbrief »Visueller Komfort«. Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- [6] DGNB, Zertifizierungssystem, Steckbrief »Visueller Komfort«. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Stuttgart.
- [7] Kaase, H.; Rosemann, A.: Solarstrahlung und Tageslicht. Verlag Ernst und Sohn, Berlin (2018).
- [8] DIN EN 17037: Tageslicht in Gebäuden, Normentwurf. Beuth Verlag, Berlin (2018).
- [9] DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen, Berechnung. Beuth Verlag, Berlin.
- [10] CIE Normlichtarten: CIE 15:2004: Selected colorimetric tables in Excel.
- [11] DIN EN 410: Glas im Bauwesen, Bestimmung des Lichttransmissionsgrades, direkter Sonnenenergietransmissionsgrad, Gesamtenergie-durchlassgrad, UV-Transmissionsgrad und damit zusammenhängende Glasdaten. Beuth Verlag, Berlin (1991).
- [12] DIN EN 12464-1: Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth Verlag, Berlin (2011).
- [13] ISO 10916: Calculation of the Impact of Daylight Utilization on the Net and Final Energy Demand for Lighting. British Standards Institution, London (2014).
- [14] BildscharbV: Bildschirmarbeitsverordnung: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. Bundesgesetzblatt, Teil 1 (1996), S. 1841.
- [15] DIN SPEC 67600: Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen. Beuth Verlag, Berlin (2013).
- [16] DIN SPEC 5031-100: Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren (2015).
- [17] de Boer, J.; Fang, Y.; Wössner, S.: »Fryscraper« stören die Nachbarschaft. Neues Analyseverfahren für Strahlungskonzentration durch Glasfassaden, IBP-Mitteilung 550/2017.
- [18] LBNL Windows: <https://windows.lbl.gov/software/window>.
- [19] DIN EN 13363: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [20] DIN EN 14500: Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Prüf- und Berechnungsverfahren. Beuth Verlag, Berlin (2008).
- [21] DIN EN 14501: Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung. Beuth Verlag, Berlin (2006).

**initiative-tageslicht.de**

Durchgeführt im Auftrag  
Bundesverband Flachglas e.V.  
Mülheimer Straße 1  
53840 Troisdorf

Autor: Dr.-Ing. Jan de Boer  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Abteilung Energieeffizienz und Raumklima  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Stuttgart, 8. Oktober 2018