

LiTG-Fachgebiet Tageslicht

TAGESLICHT KOMPAKT

Tageslichttechnik und Tageslichtplanung
in Gebäuden



33



**Deutsche Lichttechnische
Gesellschaft e.V.**

LiTG-Fachgebiet Tageslicht

Tageslicht kompakt Tageslichttechnik und Tageslichtplanung in Gebäuden

33

Veröffentlichung der
Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V.

Impressum

Die Publikation wurde von folgenden Autoren verfasst:

Dr.-Ing. Jan de Boer, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Dr.-Ing. Sirri Aydinli, TU Berlin

Dipl.-Ing. Wolfgang Cornelius, Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V. (FVLR)

Dr.-Ing. Martine Knoop, TU Berlin

Dipl.-Ing. Günther Volz †

Dr.-Ing. Jan Wienold, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Redaktionelle Bearbeitung: Britta Hölzemann, Berlin

Gestaltung: Ellen Stockmar, Berlin

Dank an Dr.-Ing. Cornelia Vandahl, TU Ilmenau, für die Bearbeitung der lichttechnischen Formeln

Titelfoto: fotolia/corbis_fancy

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG)

Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

Telefon +49 30 / 26 36 95 24

Telefax +49 30 / 26 55 78 73

E-Mail info@litg.de

1. Auflage Juni 2016, ISBN 978-3-927787-53-7

Nachdruck, elektronische Vervielfältigung oder Weitergabe, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung der LiTG und mit Quellenangabe gestattet.

Inhalt

1 Übersicht	7
2 Ausgewählte Grundlagen	8
2.1 Sonne, Tageslicht und dessen Verfügbarkeit	8
2.2 Wirkung auf den Menschen	12
2.3 Potenziale	13
2.4 Wesentliche Bewertungsmodelle	14
2.4.1 Besonnungsdauer und Verschattungsstudien mittels Sonnenstandsdiagrammen	14
2.4.2 Leuchtdichteverteilungen des Himmels	15
2.4.3 Statisch raumbezogene Bewertung über den Tageslichtquotienten	16
2.4.4 Zeitliche Bewertung über die Nutzbelichtung	17
2.4.5 Zeitlich integrale Bewertung des Lichtmanagements über das Systempotenzial	18
2.4.6 Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke Q_L	19
2.4.7 Bewertung der Blendung mittels Daylight Glare Probability (DGP)	19
3 Komponenten und Systeme zur Tageslichtnutzung	21
3.1 Tageslichtöffnungen	21
3.1.1 Verglasungen	21
3.1.2 Sonnenschutz-/Blendschutz- und Tageslichtsysteme für vertikale Fassaden	25
3.1.2.1 Lamellensysteme	25
3.1.2.2 Textilien- und Foliensysteme	25
3.1.2.3 Fassadenmarkisen und Markisoletten	26
3.1.2.4 Sonstige Lösungen	26
3.1.3 Dachoberlichter	26
3.1.4 Architekturintegrierte Lösungen	30
3.1.5 Sonderlösungen: Hybride Fassaden zur Tages- und Kunstlichtversorgung	30
3.1.6 Neue Technologien	32
3.2 Lichtmanagement	32
4 Planung	34
4.1 Prinzipien	36
4.1.1 Baukörper	36
4.1.2 Rohbauöffnungen	37
4.1.3 Fassadentechnik	37
4.1.3.1 Verglasungen	38
4.1.3.2 Sonnen- und Blendschutz	38
4.1.3.3 Tageslichtlenkung	41
4.1.4 Raumeinflüsse	42
4.1.5 Lichtmanagement und Systemintegration	43
4.2 Workflows	44
4.3 Anforderungen und technische Regeln	46
4.4 Zertifizierungssysteme	48
4.5 Zusammenwirken mit dem Gesamtenergiehaushalt des Gebäudes	49

4.6	Planungswerkzeuge	49
4.7	Anmerkungen zum Gesamtplanungsprozess	50
5	Beispiel	51
6	Weiterführende Informationen	53
6.1	Anforderungen, Normen, weiterführende Schriften.....	53
6.2	Planungshilfsmittel.....	55
6.3	Forschungseinrichtungen.....	55
6.4	Messeinrichtungen.....	56
7	Quellen und Abbildungsnachweise	57

1 Übersicht

Tageslicht kommt hinsichtlich einer guten visuellen, gesamtenergetisch effizienten und biologisch wirksamen Lichtversorgung von Innenräumen eine maßgebliche Bedeutung zu. In der Regel ist Tageslicht die vom Menschen präferierte Lichtquelle. Ebenso ist das Bereitstellen der Sichtverbindung von innen nach außen psychologisch extrem wichtig. Auch stellt Tageslicht die maßgebliche regenerative Energiequelle zur Senkung der Energieverbräuche für Beleuchtung dar. Weltweit werden ca. 19 % des Gesamtstromverbrauchs für künstliche Beleuchtung aufgewendet. Neue Bewertungsverfahren und Regularien wie die DIN V 18599 und die Energieeinsparverordnung (EnEV) machen Tageslicht mittlerweile zu einer energetisch bezifferbaren und planbaren Lichtquelle, die direkt mit den energetischen Anforderungen für die elektrische Beleuchtung verrechnet werden kann. Das Tageslicht wirkt unmittelbar biologisch auf den Menschen ein, z. B. durch Steuerung des circadianen Rhythmus über Melatoninsuppression. Übliche künstliche Beleuchtungssysteme alleine können die erforderliche Dosis nicht oder nur unter sehr hohen primärenergetischen und monetären Aufwendungen beisteuern. Für hochwertige Arbeitsplätze im Dienstleistungs- und Fertigungssektor gehört die Beschäftigung mit Tageslicht heute zu den wesentlichen planerischen Aufgaben.

Erhebliche Forschungsanstrengungen in den letzten Jahrzehnten haben u. a. verbesserte planerische Herangehensweisen gefördert, neue Fassadentechniken und Lichtmanagementsysteme hervorgebracht und das Verständnis über die biologische Wirkung von Tageslicht erhöht. Teile dieser Arbeiten sind bereits in neue oder überarbeitete Normen und Verordnungen eingeflossen und haben damit Einzug in die tägliche Praxis gehalten. Allerdings liegt ein Großteil dieses Wissens noch immer in sehr verteilter Form vor. Eine zusammenfassende Übersicht fehlt.

Ziel dieser Schrift ist es daher, wesentliche Informationen zur guten und gezielten Tageslichtversorgung von Gebäuden zu sammeln und zu strukturieren. Dies erfolgt in Teilen in Anlehnung an klassische Formel- und Wertesammlungen. Kapitel 2 stellt neben grundlegenden Daten, z. B. zur Verfügbarkeit von Tageslicht, Modelle und Zusammenhänge wie die blendungstechnische und energetische Wirkung von

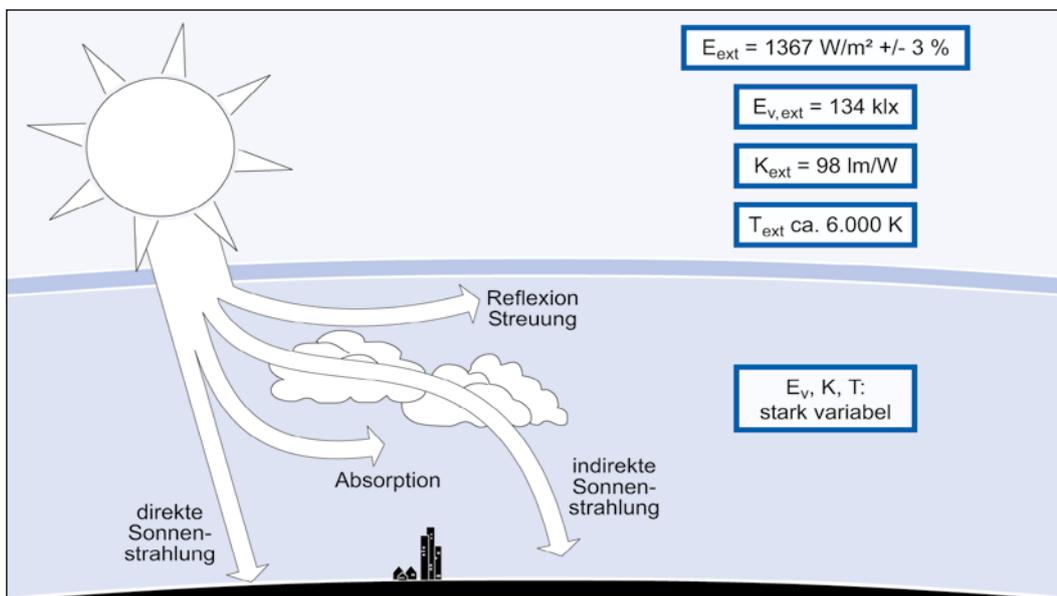


Abbildung 1: Atmosphäre als Filter in Abhängigkeit von Sonnenhöhe, Absorptions-, Reflexions- und Streuvorgängen. Zur Variabilität von E_v , K , T_v siehe Kapitel 2. Indizierung: v: visuell; ext: extraterrestrisch

Tageslicht vor. Kapitel 3 umfasst die Darstellung von Komponenten und Systemen zur Tageslichtnutzung, beispielsweise die Fassade und das Lichtmanagement, und erläutert ihre grundsätzlichen Wirkprinzipien. Kapitel 4 spricht planungspraktische Aspekte an. Dazu gehören die Zusammenstellung wesentlicher Planungsprinzipien, Workflows und Anforderungen sowie eine Übersicht über heute verfügbare Planungswerkzeuge. Kapitel 5 illustriert wesentliche Inhalte an einem konkreten Planungsbeispiel. Auf Detaildarstellungen verzichtet die Schrift weitestgehend. Verweise auf Standardliteratur, weitere Planungshilfsmittel und Forschungseinrichtungen inklusive Messeinrichtungen in Kapitel 6 ermöglichen den Zugang zu vertiefendem Wissen. Die Schrift richtet sich an unterschiedlichste Zielgruppen. Diese reichen von Auszubildenden und Studierenden bis hin zu Planern und Entscheidern.

2 Ausgewählte Grundlagen

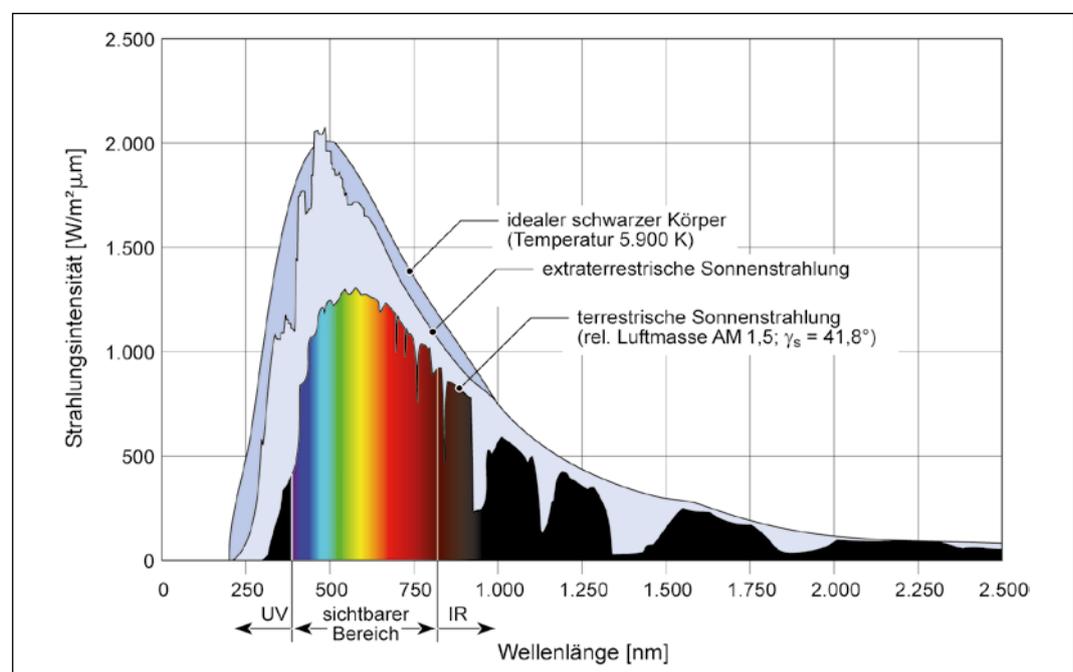
2.1 Sonne, Tageslicht und dessen Verfügbarkeit

Die extraterrestrischen Kennwerte des Sonnenspektrums sind nahezu konstant.

- Die Bestrahlungsstärke liegt bei 1.367 W/m^2 (Solarkonstante). Bei einer extraterrestrischen Beleuchtungsstärke von $133,7 \text{ klx}$ entspricht dies einem photometrischen Strahlungsäquivalent (Verhältnis Lichtstrom zu Strahlungsfluss) von $97,8 \text{ lm/W}$. Die extraterrestrische Leuchtdichte der Sonne liegt bei ca. $1,9 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$.
- Ca. 6,5 % der Energie befinden sich im UV-, 48 % im sichtbaren und 45,5 % im Infrarotbereich.

Erst durch die unterschiedlichen Wirkprozesse in der Erdatmosphäre (Abbildung 1), die Drehung der Erde und damit der Beobachtungspunkte relativ zur Sonne kommt

Abbildung 2: Ausgewählte Spektren: Idealer schwarzer Körper bei 5.900 K, extraterrestrische Sonnenstrahlung und ausgewähltes terrestrisches Spektrum des direkten Sonnenlichts.



es zu einer starken Variation der spektralen Zusammensetzung (Abbildung 2) und damit der Leuchtdichteverteilung am Himmel, der Farbtemperatur und der photometrischen Strahlungsäquivalente.

- Beleuchtungsstärken variieren in unseren Breiten exemplarisch mittags, beim Sonnenhöchststand, von unter 6 klx an bedeckten Wintertagen zu über 100 klx an klaren Sommertagen (Abbildung 3).
- Die terrestrisch wahrnehmbare Leuchtdichte der Sonne liegt bei bis zu etwa $1,6 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$. Himmelsleuchtdichten des wolkenfreien dunstigen Himmels liegen in Himmelsrichtung Süden lokal bei Werten von 30.000 cd/m^2 , teilweise darüber. In Nordrichtung können an von der Sonne bestrahlten Wolken durchaus Leuchtdichten von über 10.000 cd/m^2 auftreten. Helle bedeckte Himmel zeigen Leuchtdichten von üblicherweise bis zu 12.000 cd/m^2 , dunkle bedeckte Himmel von maximal etwa 3.000 cd/m^2 .
- Die planungspraktisch anzunehmenden photometrischen Strahlungsäquivalente liegen für bedeckte Himmel bei 115 lm/W , für klare Himmel bei 124 lm/W . Nordhimmel erreichen Spitzenwerte über 140 lm/W . Für direktes Sonnenlicht liegen sie in Abhängigkeit zur Sonnenhöhe bei 20 lm/W , wenn die Sonne gerade über dem Horizont erscheint, und erreichen bis 100 lm/W bei Sonnenhöhenwinkeln von etwa 50° . Die Strahlungsäquivalente hängen ab von der Zusammensetzung der Atmosphäre, die beispielsweise einen niedrigen oder hohen Wasserdampfgehalt aufweisen kann, und der Weglänge des Lichts durch die Atmosphäre in Abhängigkeit zur Sonnenhöhe. Das über ein Jahr gemittelte photometrische Strahlungsäquivalent auf einer horizontalen Fläche für einen mittleren Standort in Deutschland liegt bei etwa 90 lm/W .
- Die Farbtemperatur variiert für direktes Sonnenlicht zwischen ca. 4.000 K vorwiegend bei niedrigen Sonnenständen und ca. 6.000 K . Der bedeckte Himmel zeigt mit 4.000 bis 5.500 K Farbtemperaturen in einem ähnlichen Bereich. Außerhalb der Blickrichtung zur Sonne können klare Himmel hohe Farbtemperaturen bis über 10.000 K aufweisen (Abbildung 4).
- Das kontinuierliche Tageslichtspektrum dient als Referenz für Lichtquellen mit einer ähnlichsten Farbtemperatur $\geq 5.000 \text{ K}$. Hier ist dasjenige Spektrum des natürlichen Tageslichts D mit einer empfindungsgemäß nahegelegenen ähnlichsten Farbtemperatur als Bezugslichtquelle zu wählen (vgl. DIN 6169) [6]. Glaskennwerte

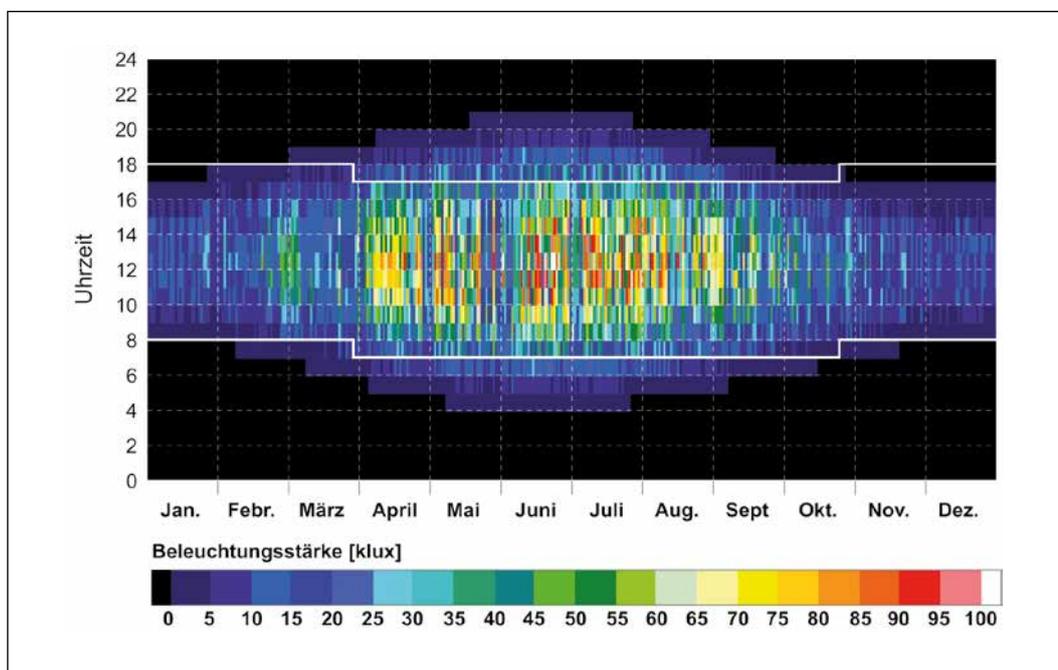


Abbildung 3: Beleuchtungsstärken über das Jahr. Die Daten wurden ermittelt auf der Grundlage von TRY, Standort Frankfurt. TRY steht für »Test Referenz Jahr«. Darin enthalten sind verschiedene repräsentative stündliche meteorologische Daten.

werden üblicherweise für ein Tageslichtspektrum von 6.500 K (Normlichtart D65) bestimmt (vgl. DIN EN 410) [11].

- Als Wirkungsfaktor für Melatoninsuppression $a_{ms, \nu}$ (Verhältnis des mit der Melatoninsuppression-Wirkungsfunktion gewichteten Spektrums zu dem mit $\nu(\lambda)$ gewichteten Spektrum) bei unterschiedlichen Himmelszuständen können 0,83 für direktes Sonnenlicht, 1,02 für blauen Himmel und 1,73 für bedeckten Himmel angenommen werden (vgl. DIN 5031-100 [12] sowie in Kapitel 3.1.1 Kenngrößen bei Verglasungssystemen).
- Jährliche mittlere Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten liegen in Deutschland unter 40 %, d. h. über 60 % der Zeit ist der Himmel bedeckt (Abbildungen 5 und 6). In den Sommermonaten liegen mittlere Werte zwischen 40 und 50 %, in den Wintermonaten in der Regel zwischen 10 und 20 %.

Abbildung 4: Variation der Farbtemperatur bei unterschiedlichen Himmelszuständen.

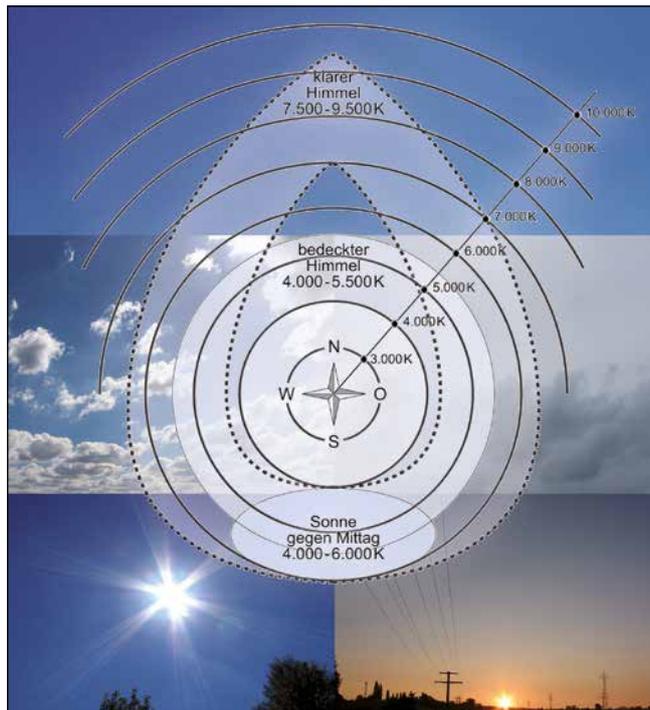
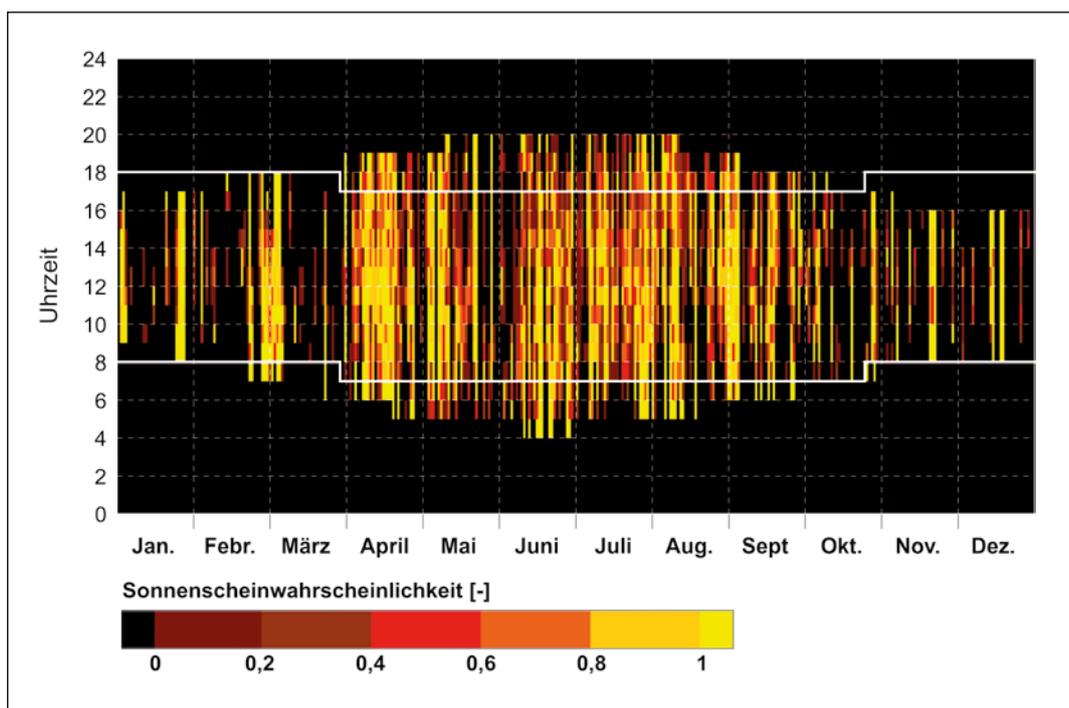


Abbildung 5: Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten über das Jahr (Daten: TRY, Standort Frankfurt).



- Die auf unterschiedlichen Fassaden verfügbaren jährlichen Belichtungen 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 (Abbildung 7) für den Betrachtungszeitraum 8 bis 18 Uhr.
- Entsprechend variieren die Zeiten direkter Besonnung – gegebenenfalls ist Sonnenschutz erforderlich! – zwischen 33 % bei Süd-, 20 % bei Ost-West- und genähert 0 % bei Nordorientierung.

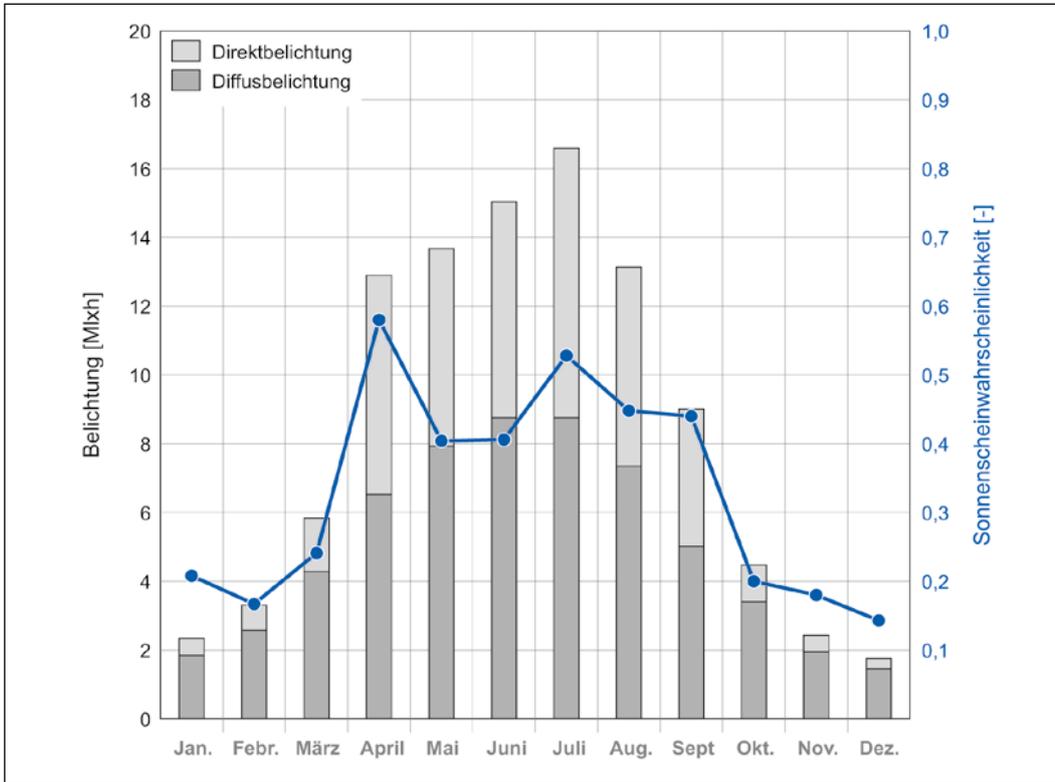


Abbildung 6: Monatliche Verteilung der Belichtung (Säulen) auf einer horizontalen Fläche außen und entsprechende monatliche Sonnenscheinwahrscheinlichkeit (Linie); Standort: Frankfurt am Main.

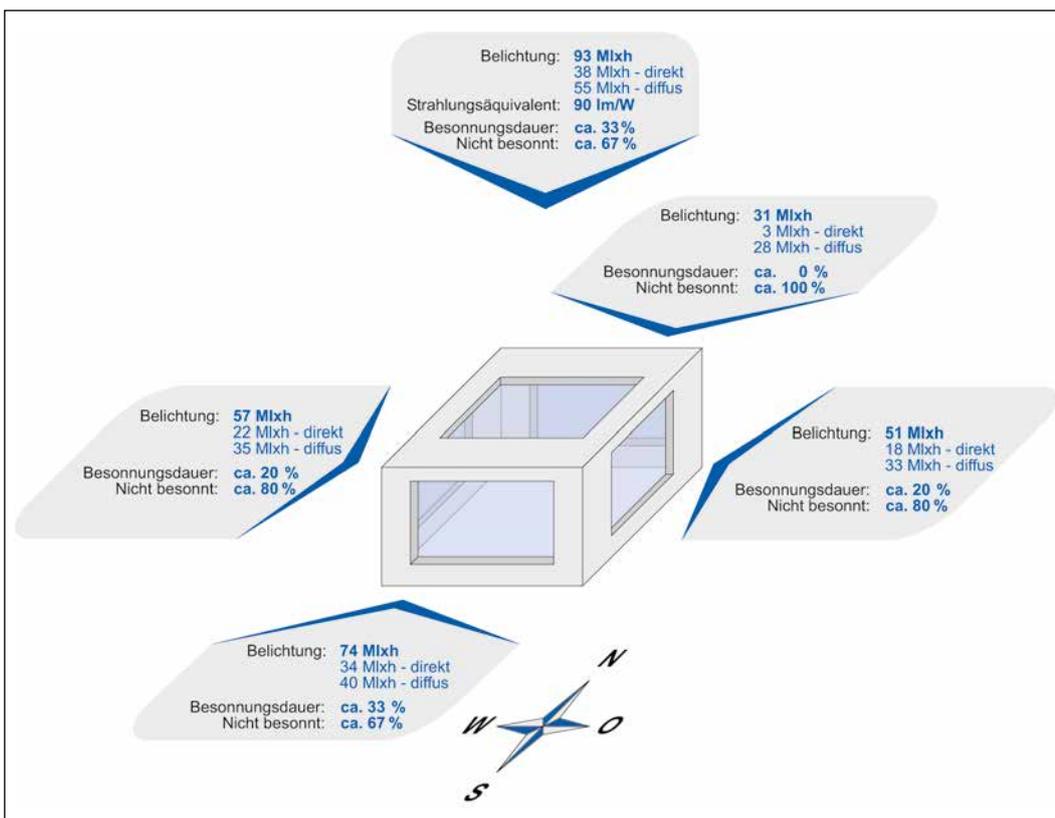


Abbildung 7: Auf unterschiedlichen Fassaden und Oberlichtern verfügbare vertikale und horizontale Belichtung und relative Besonnungsdauer; Standort: Frankfurt am Main, Arbeitszeiten 8 bis 18 Uhr.

2.2 Wirkung auf den Menschen

- Physiologisch hat sich das Auge gut auf das Sonnenspektrum angepasst. Ca. 48 % werden als Licht wahrgenommen. Hierbei liegt die maximale Empfindlichkeit (555 nm bei photopischem Sehen) nahe des Maximums des Sonnenspektrums.
- 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.
- Biologisch hat die natürliche Strahlung eine große Wirkung auf den Menschen. Der filternde Effekt der Tageslichtöffnungen in Gebäuden durch Herabsetzung der Intensität und Veränderung der spektralen Zusammensetzung ist zu berücksichtigen.
 - Circadianer Rhythmus: Der circadiane Rhythmus des Menschen wird maßgeblich durch das zeitliche Auftreten und die Intensität der in das Auge eindringenden Strahlung bestimmt. Die Ausschüttung des Schlafhormons – Produktion in der Nacht, Unterdrückung am Tag – wird hierdurch gesteuert. Der Aufenthalt in Gebäuden reduziert die auf den Menschen üblicherweise im Außenraum einwirkende Strahlungsdosis. Wie genau mindernde Einflüsse – wie ein langer Aufenthalt in fensterfernen Bereichen – bei gesunden Menschen wirken, ist Bestandteil laufender Forschungsvorhaben. Positionspapiere der LiTG und der CIE sowie die technische Spezifikationsschrift des DIN »DIN SPEC 67600« [12] geben erste Empfehlungen. 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.
 - Vitamin D: Der UVB-Anteil der natürlichen Strahlung ist verantwortlich für die Vitamin D-Bildung über die Haut. In der Regel filtert Fensterglas die UVB-Strahlung so gut wie vollständig aus, so dass im Innenraum die Vitamin D-Produktion über die Haut nicht angeregt wird.
 - SAD (seasonal affective disorder): Die saisonal affektive Störung, auch als Winterdepression bezeichnet, die vor allem in nördlichen Breiten auftritt, wird in den Zusammenhang mit der geringeren Tageslichtversorgung in den Wintermonaten gebracht.

2.3 Potenziale

- Übliche, nicht verbaute, seitlich belichtete fassadennahe Arbeitsplätze mit guter Fassadentechnik lassen sich bei üblichen Büronutzungszeiten in unseren Breiten übers Jahr zu maximal etwa 80 % mit Tageslicht belichten. Lösungen mit konventioneller Fassadentechnik liegen zwischen 50 bis 70 %. Bei Räumen mit Dachoberlichtern liegen die Potenziale der Tageslichtnutzung mit bis ca. 90 % Tageslichtanteil an der erforderlichen Belichtung noch etwas höher (vgl. Abbildung 8).
- In absoluten Zahlen ausgedrückt bedeutet dies, dass sich von der somit erforderlichen Belichtung von etwa 1,2 Mlx (Beleuchtung mit 500 lx über 9 Stunden am Tag bei 260 Betriebstagen) im Idealfall etwa 1 Mlxh über Tageslicht abdecken lassen. Bei gewöhnlicher Fassadentechnik sind es zwischen 0,6 bis 0,85 Mlxh. Der Rest der Belichtung ist über die künstliche Beleuchtung beizusteuern. Die Belichtung durch Tageslicht im Raum liegt bei einem Vielfachen der erforderlichen Belichtung – in der Mitte eines typischen Büroraums beispielsweise bei 8 Mlxh. Aufgrund der astronomischen und meteorologischen Zusammenhänge ist diese Belichtung jedoch nicht gleichförmig über die Betriebszeit verteilt und verfügbar.
- Ein im Dauerbetrieb ausschließlich mit Kunstlicht (10 W/m² installierte Leistung) – d. h. ohne Tageslicht – betriebenes typisches Büro würde etwa 30 kWh/m²a Beleuchtungsenergie benötigen. Dies entspricht realen Werten in fassadenfernen Bereichen von Großraumbüros. Entsprechende tageslichtversorgte Räume liegen heute bei Verbrauchswerten unter 10 kWh/m²a.
- Untersuchungen, die die durch künstliche und natürliche Lichtquellen bereitgestellten verfügbaren Lichtströme in Gebäuden vergleichen, weisen auf die gute Wirtschaftlichkeit herkömmlicher Tageslichtlösungen hin (vgl. Abbildung 9).
- Tageslicht kann über heute verfügbare energetische und wirtschaftliche Bewertungsmodelle als regenerative Energiequelle aufgefasst werden.
- Die Nutzung von Tageslicht bietet neben den direkten wirtschaftlichen Potenzialen durch Reduktion der Energiekosten indirekt hohe Potenziale durch Steigerung

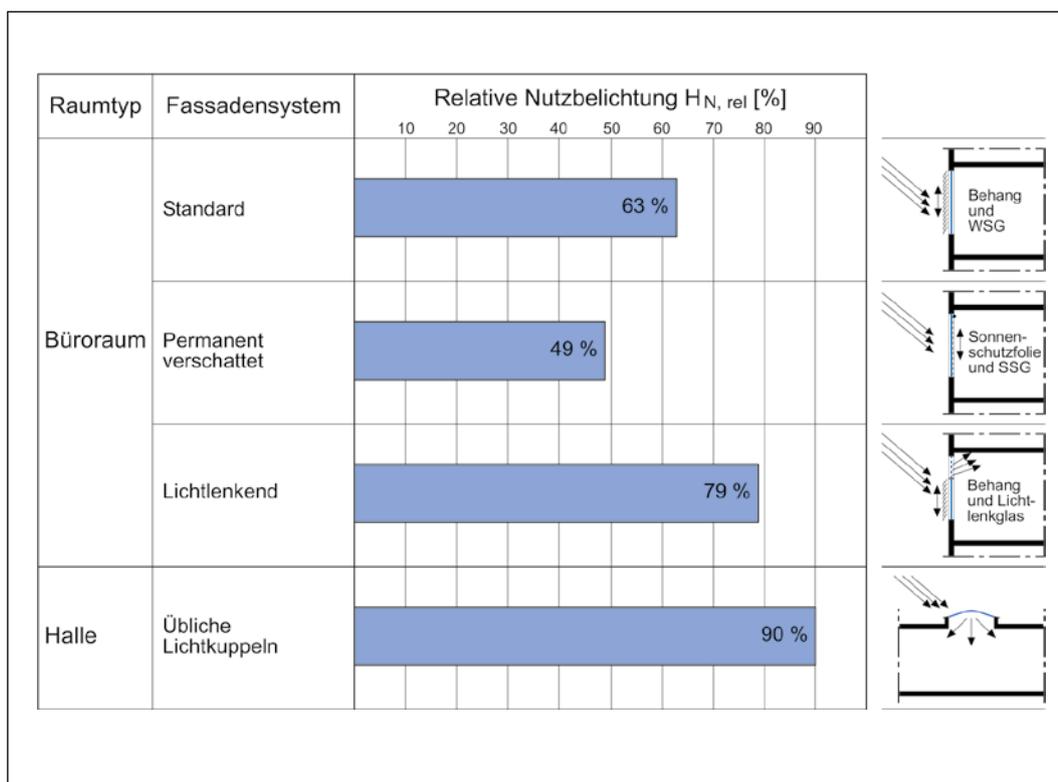
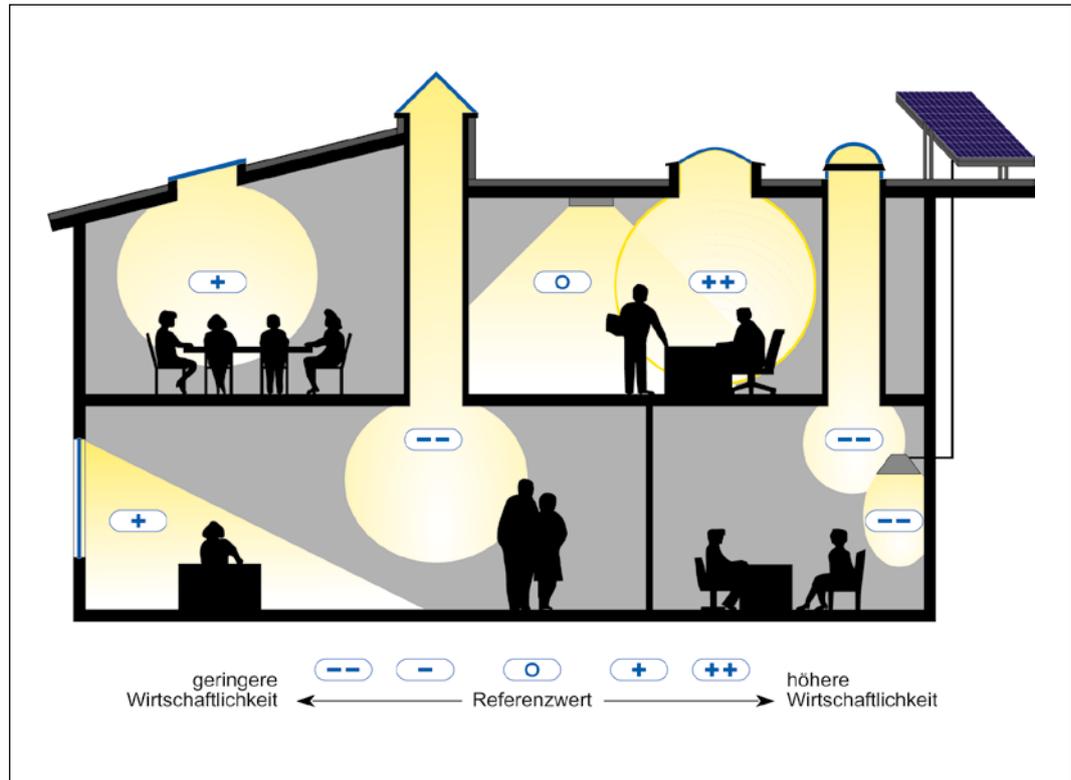


Abbildung 8: Relative Nutzbelichtung für übliche Arbeitszeiten eines gewöhnlichen Büroraumes und einer Halle in Abhängigkeit der Fassadentechnik (Anteil Tageslicht an der erforderlichen Belichtung, vgl. Kapitel 2.4); ermittelt basierend auf Ansätzen der DIN V 18599 [14].

Abbildung 9: Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Arten der Tageslichtversorgung gegenüber einer Referenzlösung auf Basis von Leuchtstofflampen in Anlehnung an eine integrale Kosten-Berechnung gemäß Fontoynt [16]. Basis ist eine Bewertung der durch die unterschiedlichen Techniken auf der Arbeitsebene bereitgestellten Lichtmengen.



von Leistung und Wohlbefinden der Arbeitnehmer. Über die Lebenszeit eines Gebäudes anfallende Gehaltskosten der Nutzer übersteigen die eigentlichen Lebenszykluskosten eines Gebäudes (Errichtung, Betrieb) um ein Vielfaches.

- Exemplarisch angenommenen Vollkosten eines Büroarbeitsplatzes von 60.000 €/a stehen Energiekosten zwischen 30 €/a bei 10 kWh/m²a Beleuchtungsenergiebedarf und 90 €/a bei 30 kWh/m²a Beleuchtungsenergiebedarf gegenüber. Diese Annahmen gehen von einer 12 m² großen Bürofläche und Energiekosten von 0,25 €/kWh aus. Es ergeben sich, vereinfacht abgeschätzt, Kostenverhältnisse zwischen Energie und Personal von 1 : 666 bis 1 : 2.000. Vor diesem Hintergrund kann sich ein Beitrag, z. B. die Investition in eine profunde Tageslichtplanung zur Steigerung der Nutzerzufriedenheit, als sehr attraktiv herausstellen.

2.4 Wesentliche Bewertungsmodelle

Im Folgenden werden einige zentrale Bewertungskonzepte der Tageslichtversorgung von Gebäuden vorgestellt. Zugehörige Workflows bietet Kapitel 4.2. Kapitel 5 zeigt ein auf die Ansätze zurückgreifendes Beispiel.

2.4.1 Besonnungsdauer und Verschattungsstudien mittels Sonnenstandsdiagrammen

Mit standortspezifischen Sonnenstandsdiagrammen lassen sich Sonnenstände für verschiedene Zeiten im Jahr bestimmen (vgl. Abbildung 10). In der Praxis werden sie darüber hinaus zur Bestimmung von Besonnungszeiten von Fassaden genutzt. Hierbei können Verschattungen durch Verbauungen und durch baulichen Sonnenschutz wie Überhänge, Balkone, statische Lamellen, berücksichtigt und Grundannahmen über die Auslegung des Sonnen- und Blendschutzes getroffen werden.

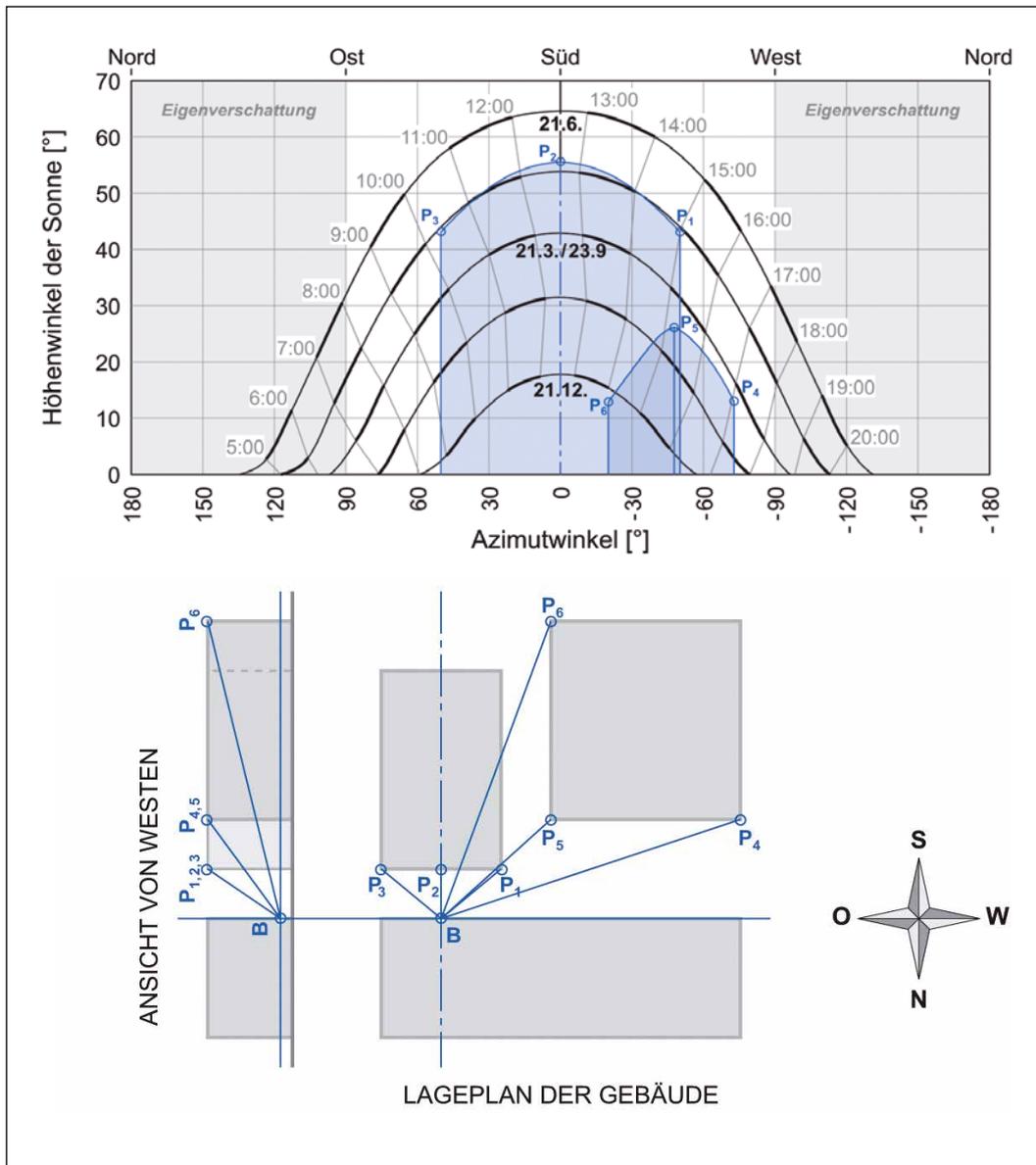


Abbildung 10: Sonnenstandsdiagramm einer Verbauungssituation am Beispiel einer Südfassade am Standort Stuttgart.

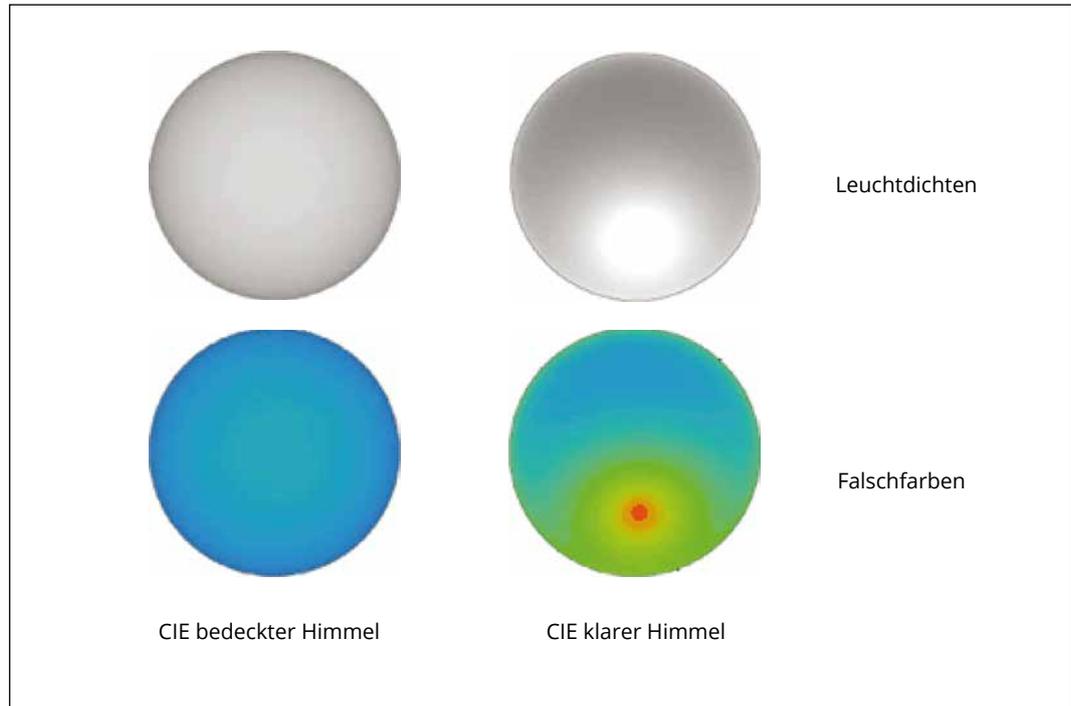
2.4.2 Leuchtdichteverteilungen des Himmels

Zur Bestimmung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse in Innenräumen muss zunächst die räumliche Außenleuchtdichte zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt am Tag im Jahr bekannt sein – im Folgenden auch als »statisch« bezeichnet. Sollen darüber hinaus langfristige Aussagen beispielsweise zum tageslichtabhängigen Betrieb von künstlichen Beleuchtungssystemen getroffen werden, ist auch die zeitliche Verteilung des Tageslichtangebotes zu berücksichtigen – im Folgenden auch als »dynamisch« bezeichnet. Für eine Vergleichbarkeit von Planungen in der Praxis ist auf standardisierte Modelle zurückzugreifen.

Das Technical Committee 3-15 »Sky Luminance Models« der CIE [19] definiert mittlerweile 16 unterschiedliche statische Leuchtdichteverteilungen. Bis dato liegen jedoch keine Spezifikationen vor, wie diese Himmel planungstechnisch zu berücksichtigen sind. In der Praxis wird daher nach wie vor auf die seit langem eingeführten Standardhimmel zurückgegriffen (vergleiche auch DIN 5034) [5].

- **CIE bedeckter Himmel:** Dieser ist gekennzeichnet durch eine im Zenit dreimal höhere Leuchtdichte als in horizontaler Blickrichtung. Die Verteilung ist rotationssymmetrisch. Der Absolutwert der Leuchtdichte hängt vom Sonnenhöhenwinkel ab.

Abbildung 11:
Beispielhafte
Leuchtdichte-
verteilungen des
»CIE bedeckten
Himmels« und
des »CIE klaren
Himmels« für
eine beispielhafte
Sonnenposition



- CIE klarer Himmel: Diese Himmelsleuchtdichteverteilung wird durch eine sogenannte Indikatrixfunktion beschrieben, die die relative Leuchtdichte eines Punktes auf der Hemisphäre ins Verhältnis zum Winkelabstand zur Sonne in Beziehung setzt. Die Verteilung ist symmetrisch bezüglich einer senkrechten Ebene, aufgespannt durch die Position der Sonne und dem Beobachtungspunkt. Der Absolutwert hängt ebenfalls vom Sonnenhöhenwinkel ab.

Abbildung 11 illustriert die Verteilungen. Über die Zeit variierende »dynamische« Außenleuchtdichteverteilungen werden allgemein auf Basis der oben genannten statischen Himmelsleuchtdichteverteilungen in Abhängigkeit von lokalen Wetterdatensätzen modelliert. Dazu zählen z. B. Test-Referenzjahrdaten (TRY) mit stündlicher Zeitauflösung, die auch für die generelle thermisch-energetische Gebäudeplanung genutzt werden.

2.4.3 Statisch raumbezogene Bewertung über den Tageslichtquotienten

Zur Bewertung der Verfügbarkeit von Tageslicht in Innenräumen wird häufig der Tageslichtquotient D genutzt. Er ist definiert als das Verhältnis der Innenbeleuchtungsstärke E_{Innen} in einem Punkt einer gegebenen Ebene zur Horizontalbeleuchtungsstärke E_{Aussen} im Freien unter unverbaute Hemisphäre beim standardisierten CIE bedeckten Himmel. Die Verteilung ist rotationssymmetrisch. Die horizontale Leuchtdichte beträgt ein Drittel der Zenitleuchtdichte:

Gleichung 1

$$D = \frac{E_{\text{Innen}}}{E_{\text{Aussen}}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

D Tageslichtquotient [%]

E_{Innen} Beleuchtungsstärke im Innenraum [lx]

E_{Aussen} Beleuchtungsstärke Außen, horizontal, unverbaut, bedeckter Himmel [lx]

Bei bekanntem E_{Aussen} für einen ausgewählten Zeitpunkt bei bedecktem Himmel kann somit unmittelbar die Beleuchtungsstärke E_{Innen} bestimmt werden. Aufgrund

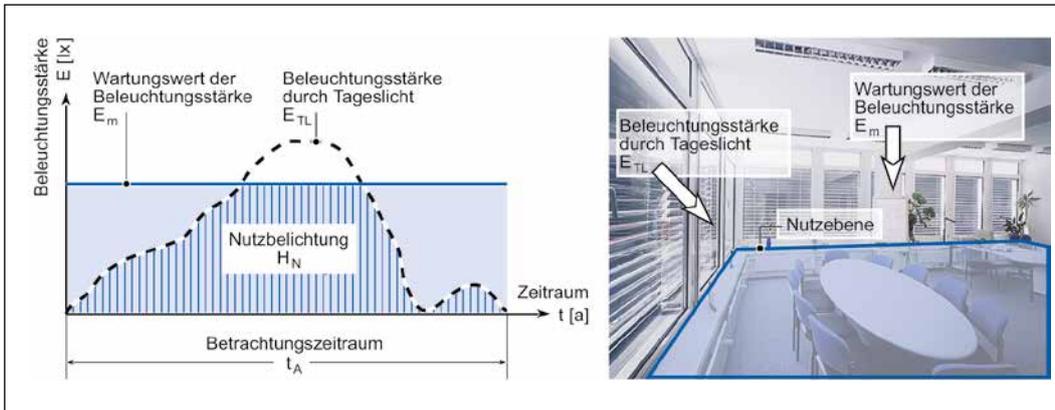


Abbildung 12:
Darstellung der
relativen Nutzbe-
leuchtung.

der überwiegend bewölkten Himmelszustände in unseren Breitengraden und der relativ einfachen Bestimmbarkeit ist der Tageslichtquotient in der Planungspraxis weit verbreitet. Er stellt eine Worst-Case-Abschätzung dar, da bedeckte Himmel überwiegend dunkler als andere Himmel sind. Der Tageslichtquotient kann gut dazu genutzt werden, die bauliche Ausbildung von Gebäuden und Gebäudeöffnungen zu steuern, beispielsweise die Sturzhöhe oder die Positionierung von Dachoberlichtern. Zur Bewertung heute üblicher Sonnen- und Blendschutzlösungen in Fassade und Dachoberlichtern, klimatischer Einflüsse und der energetischen Bewertung des Tageslichteinflusses ist er allerdings nicht geeignet. Zu den üblichen Aktivierungszeiten dieser Systeme wirken auf die Fassade zumeist völlig andere Außenleuchtdichte-verhältnisse als die des CIE bedeckten Himmels. Es ist zu beachten, dass der Tageslichtquotient je nach Zusammenhang, z. B. unterschiedliche normative Kontexte, entweder auf die Rohbauöffnung oder auf das ganze Fassadensystem – Verglasung inklusive Rahmen – bezogen wird.

2.4.4 Zeitliche Bewertung über die Nutzbelichtung

Der Einfluss der natürlichen Beleuchtung auf den Einsatz der künstlichen Beleuchtung über die Zeit kann durch die Größe der relativen Nutzbelichtung beschrieben werden:

$$H_{N,rel} = \frac{H_N}{E_m t_A} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Gleichung 2

$H_{N,rel}$ Relative Nutzbelichtung [%]

H_N Nutzbelichtung [lxh]

E_m Wartungswert der Beleuchtungsstärke [lx]

Hierbei ist die Nutzbelichtung nach

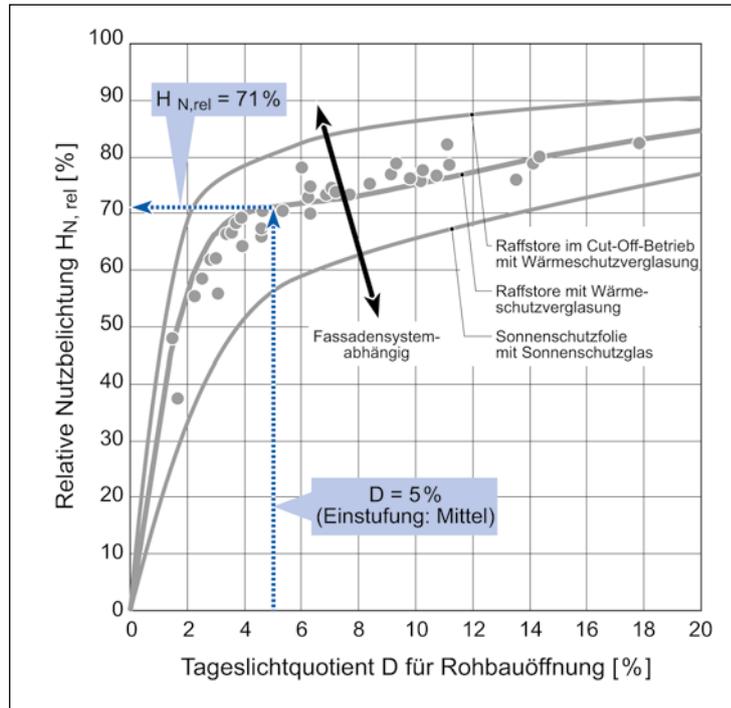
$$H_N = \int_{t=0}^{t=t_A} E_{TL} \cdot dt \text{ [lxh]} \quad \text{wobei} \quad E_{TL} = \begin{cases} E_{TL} & \text{für } E_{TL} < E_m \\ E_m & \text{sonst} \end{cases}$$

Gleichung 3

E_{TL} Beleuchtungsstärke durch Tageslicht [lx]

in einem gegebenen Punkt durch Integration der Beleuchtungsstärke E_{TL} aufgrund des Tageslichts über den Betrachtungszeitraum t_A zu ermitteln. Die Größe ist schematisch in Abbildung 12 dargestellt. Die Nutzbelichtung gibt somit den Belichtungsanteil an, der von einem dimmbaren künstlichen Beleuchtungssystem zum Erreichen der für die Erfüllung der Sehaufgabe erforderlichen Belichtung ($E_m \cdot t_A$) nicht

Abbildung 13: Prinzipielle Darstellung zur Ermittlung der relativen Nutzbelichtung aus dem Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des Fassadensystems.



beigesteuert werden muss. Die erforderliche Belichtung ist abhängig vom Wartungswert der Beleuchtungsstärke. Die Nutzbelichtung ist eine Bewertungsgröße für das im Idealfall zu erreichende Einsparpotenzial elektrischer Beleuchtungsenergie. In angewandten energetischen Bewertungsverfahren wird sie im Allgemeinen für eine jährliche Periode angegeben. Die Nutzbelichtung wird dabei gesplittet in Anteile für die Zeit, in der die Fassade bei aktiviertem Sonnenschutz besonnt ist und in eine Zeit, in der die Fassade bei nicht aktivem Sonnenschutz nicht besonnt wird. Statt des Begriffs »relative Nutzbelichtung« wird in der Praxis auch der Begriff »Tageslichtautonomie« genutzt. Abbildung 13 illustriert exemplarisch die Abhängigkeit der jährlichen relativen Nutzbelichtung vom Wartungswert der Beleuchtungsstärke, der Fassadentechnik und des Tageslichtquotienten. Die Zusammenhänge wurden mittels Datenregressionen auf Grundlage einer simulationsbasierten Parametervariation ermittelt.

2.4.5 Zeitlich integrale Bewertung des Lichtmanagements über das Systempotenzial

Die Nutzbelichtung ist eine Bewertungsgröße für das im Idealfall zu erreichende Einsparpotenzial elektrischer Beleuchtungsenergie. Bei realen Beleuchtungssystemen sind allerdings Verluste durch nicht ideales Regelverhalten zu berücksichtigen. Das Systempotenzial SP – in der Praxis auch als »Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Kontrollsystems« nach DIN V 18599-4 [14] bezeichnet – stellt einen energetischen Wirkungsgrad zur Beschreibung der Ergänzung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse durch das künstliche Beleuchtungssystem zum geforderten Wartungswert der Beleuchtungsstärke zur Betriebszeit t_A der Beleuchtungsanlage dar.

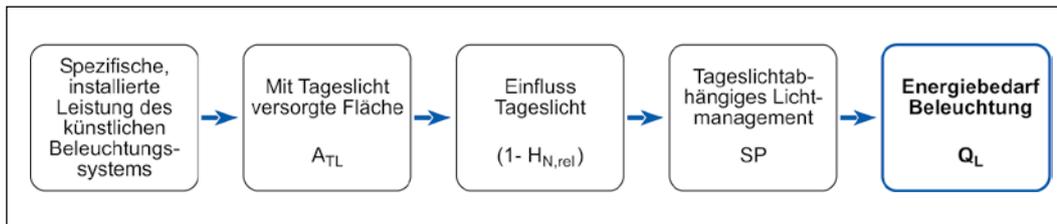


Abbildung 14: Ablaufdiagramm zur Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Beleuchtung für einen Berechnungsbereich.

2.4.6 Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke Q_L

Der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung mit der spezifischen installierten Leistung p_{inst} in Abhängigkeit der Tageslichtversorgung $H_{N,rel}$ und der Effizienz der Beleuchtungskontrolle SP für den Betrachtungszeitraum t_A ergibt sich vereinfacht zu (vgl. Abbildung 14):

$$Q_L = (1 - H_{N,rel} * SP) * p_{inst} * A_{TL} * t_A \text{ [kWh]}$$

Gleichung 4

Q_L Energiebedarf Kunstlicht [kWh]

SP Systempotenzial des Beleuchtungskontrollsystems [-]

p_{inst} Spezifische, installierte Leistung des künstlichen Beleuchtungssystems [W/m^2]

A_{TL} mit Tageslicht versorgte Fläche [m^2]

t_A Betrachtungszeitraum [h]

Die wesentlichen Bewertungs- und Nachweisverfahren für den Energiebedarf für die Beleuchtung wie DIN V 18599, EN 15193-1 und ISO 10916 greifen auf diesen Zusammenhang zurück.

2.4.7 Bewertung der Blendung mittels Daylight Glare Probability (DGP)

Die negative Auswirkung hoher Leuchtdichten oder großer Leuchtdichteunterschiede im Sichtfeld auf die visuelle Leistungsfähigkeit bzw. auf das Wohlbefinden wird Blendung genannt. Generell werden zwei Formen von Blendung unterschieden: Physiologische Blendung und psychologische Blendung.

Die Internationale Beleuchtungskommission CIE beschreibt den Unterschied zwischen psychologischer und physiologischer Blendung wie folgt: Die physiologische Blendung ist die Blendung, die die Sichtbarkeit von Objekten beeinflusst, ohne dabei gezwungenermaßen Unwohlsein hervorzurufen. Die psychologische Blendung verursacht Unwohlsein, ohne dabei gezwungenermaßen die Sichtbarkeit von Objekten zu beeinflussen.

Bei der physiologischen Blendung reduzieren Lichtreflexe die Lesbarkeit. Dies kann durch Streulicht im Auge aufgrund hoher Leuchtdichten im Sichtfeld entstehen und daher verhindern, dass die Sehaufgabe wahrgenommen werden kann. Es kann aber auch ein Reflex auf z. B. einem Arbeitsmedium, wie Bildschirm, Papier, Tablet oder Wandprojektion, dazu führen, dass der Kontrast auf dem Arbeitsmedium reduziert wird und daher die Sehaufgabe nicht ausgeführt werden kann.

Verursacht wird psychologische Blendung von großen Leuchtdichteunterschieden im Sichtfeld. Nutzeruntersuchungen zeigen, dass die Toleranz gegenüber hohen Leuchtdichten von Tageslicht im Vergleich zu künstlicher Beleuchtung größer ist. Zur Bewertung der psychologischen Blendung durch Tageslicht kann auf die DGP

(Daylight Glare Probability) zurückgegriffen werden. Die DGP wurde empirisch aus Studien zur Akzeptanz der Nutzer entwickelt. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass sich eine Person durch Tageslicht geblendet fühlt. Die empirische Formel basiert auf der vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge sowie auf einem Term, der die einzelnen Blendquellen berücksichtigt.

Gleichung 5

$$DGP = 5.87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9.18 \cdot 10^{-2} \cdot \log\left(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} \cdot P_i^2}\right) + 0.16$$

- E_v vertikale Beleuchtungsstärke am Auge [lx]
- L_s Leuchtdichte der Blendquelle [cd/m²]
- ω_s Raumwinkel der Blendquelle [sr]
- P Positionsindex [-]

Abbildung 15: Iso-Linien des Positionsindex. Der Bildmittelpunkt stellt die Blickrichtung mit Positionsindex 1 dar. Der maximale Wert beträgt 16.

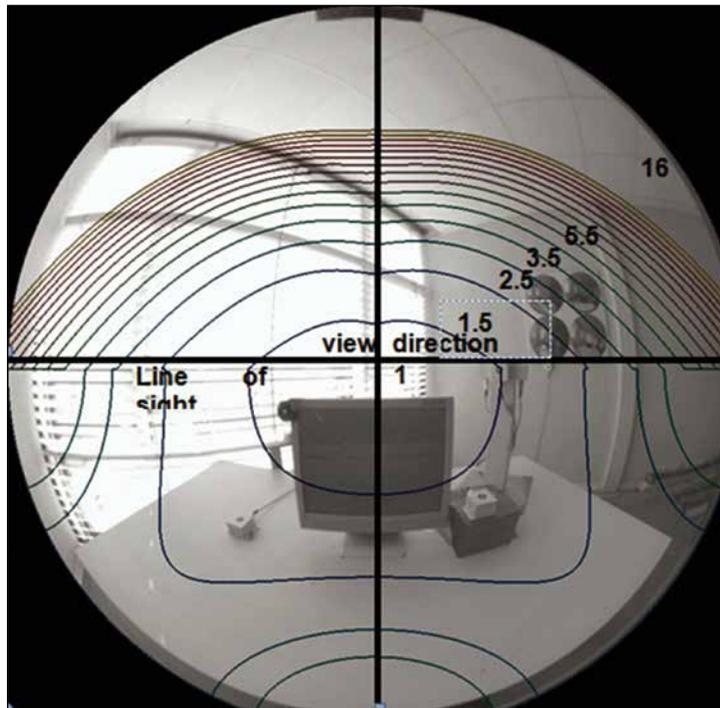
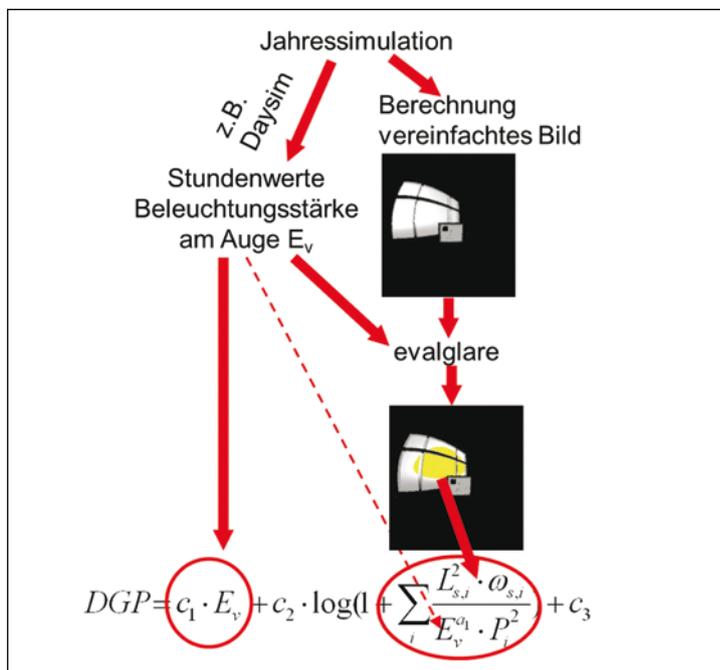


Abbildung 16: Simulationsbasierte Bestimmung des Blendungseinflusses durch die Fassade mittels DGP. »Daysim« und »evalglare« sind frei verfügbare, auf der Lichtberechnungssoftware »Radiance« basierende Programme.



Der Gültigkeitsbereich der DGP-Formel liegt im Bereich von 0,2 bis 0,8. Die Bestimmung des Positionsindex ist in Abbildung 15 dargestellt.

Der DGP-Wert wird im Allgemeinen simulationsbasiert bestimmt (vgl. Abbildung 16). Für eine Jahressimulation wird im ersten Schritt die Beleuchtungsstärke am Auge berechnet. Anschließend werden für jeden Zeitschritt ein vereinfachtes Bild ohne Raumreflexionen berechnet und potenzielle Blendquellen detektiert. Aus beiden Informationen wird die DGP berechnet. Parallel läßt sich die DGP auch meßtechnisch direkt vor Ort mit Hilfe einer bildgebenden Leuchtdichtekamera und anschließender Evaluation des Bildes bestimmen.

3 Komponenten und Systeme zur Tageslichtnutzung

Komponenten und Systeme zur Tageslichtnutzung finden sich in den Gewerken Fassade und Gebäudesystemtechnik, dem das Lichtmanagement zuzuordnen ist.

3.1 Tageslichtöffnungen

Historisch haben sich Fenster von Öffnungen, die der Lüftung und Entrauchung der Gebäude dienen, über »Sichtbarkeit bietende« Flächen zu multifunktionalen Fassadensystemen entwickelt. Diese übernehmen heute neben akustischen, raumklimatischen und energetischen Funktionen die gezielte natürliche Beleuchtung der Gebäude. Beleuchtungstechnisch ist bei der Fassadenauslegung einerseits die nutzungsgerechte Bereitstellung eines visuellen Umfeldes in den Aufenthaltsbereichen, andererseits eine energetisch günstige Wirkung des durch die Fassade eintretenden Tageslichtes in der Gesamtgebäudeenergiebilanz anzustreben. Die visuellen Anforderungen können Blendschutzeinrichtungen verlangen, die die Außenleuchtdichten auf das für die jeweilige Raumnutzung erforderliche Niveau, z. B. Bildschirmarbeitsplätze, herabsetzen.

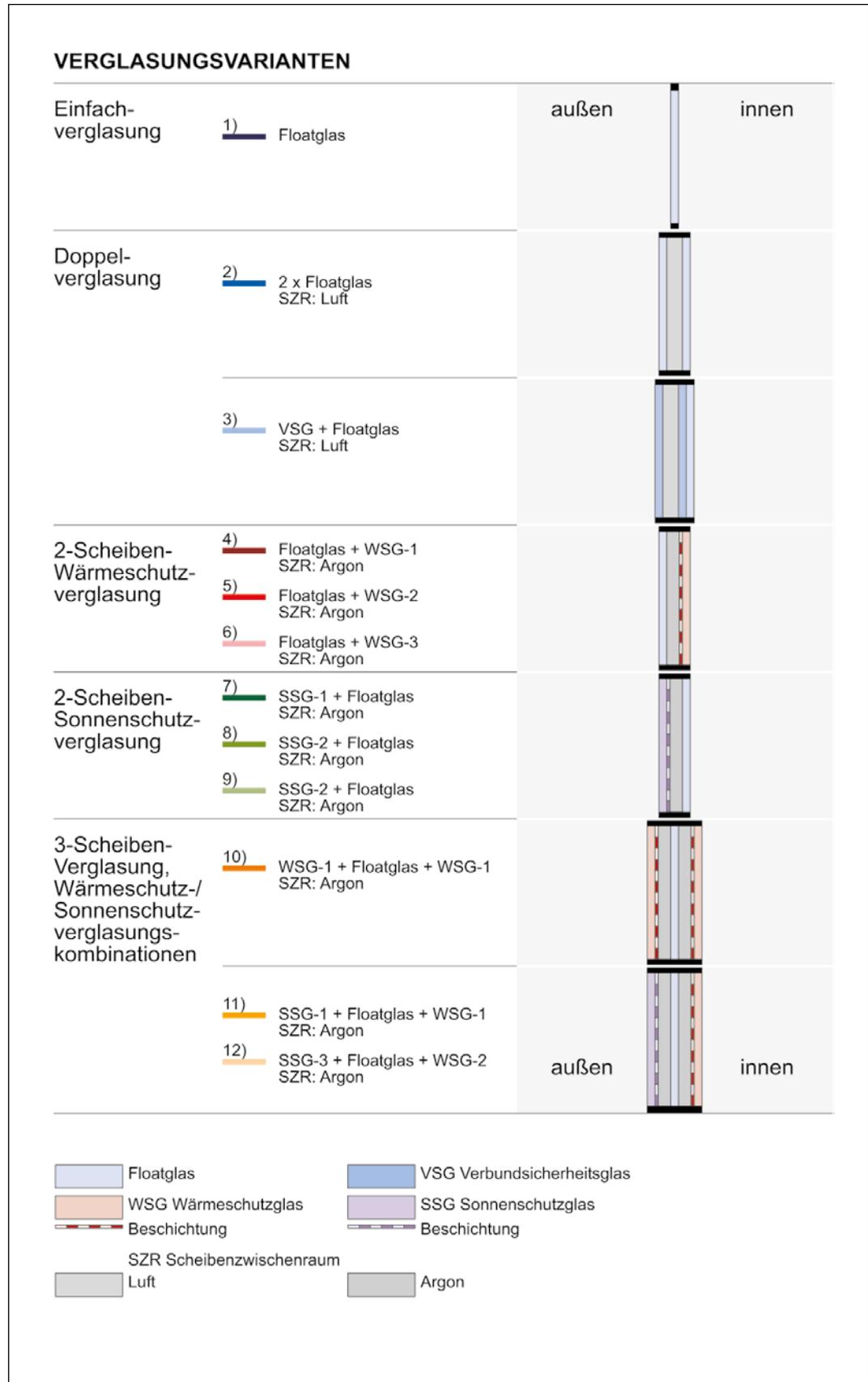
Das Kapitel beschäftigt sich mit heute gebräuchlichen Verglasungssystemen, Lösungen für Sonnen- und Blendschutz, Tageslichtlenkung und Dachoberlichtern und auch mit Sonderlösungen wie architekturintegrierte Tageslichtöffnungen sowie hybride Tages- und Kunstlichtsysteme.

3.1.1 Verglasungen

Planern steht ein großes Portfolio an Verglasungen für unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich Wärme- und Sonnenschutz zur Verfügung. Tabelle 1 und Abbildung 17 enthalten eine Zusammenstellung repräsentativer Produkte. Vor allem wärmetechnisch wirksame Beschichtungen und weitere Glasebenen, wie Dreifachverglasungen, bewirken hierbei eine Verringerung der Lichttransmission gegenüber älteren Verglasungssystemen. Spezielle selektive Beschichtungen ermöglichen eine

starke Herabsetzung des g-Wertes (Gesamtenergiedurchlassgrad) bei gleichzeitig noch relativ hoher Lichttransmission. Die Selektivität ist das Verhältnis der Lichttransmission zum g-Wert. Selektivitäten von etwa 2 liegen an der Grenze des physikalisch Machbaren. Die Farbwiedergabe kann im Allgemeinen als gut angenommen werden. Sonderfälle, z. B. im Museumsbereich, wo der Einsatz besonders

Abbildung 17:
Zusammenstellung praxisüblicher Verglasungen mit Darstellung der Aufbauweise.



farbneutraler eisenarmer Verglasungen üblich ist, sind allerdings zu beachten. Mit dem Wirkungsfaktor für Melatoninsuppression $a_{ms,v}$ für Verglasungssysteme zieht eine weitere, ebenfalls von den spektralen Eigenschaften der Verglasungen abhängige Kenngröße in die tageslichttechnischen Überlegungen mit ein.

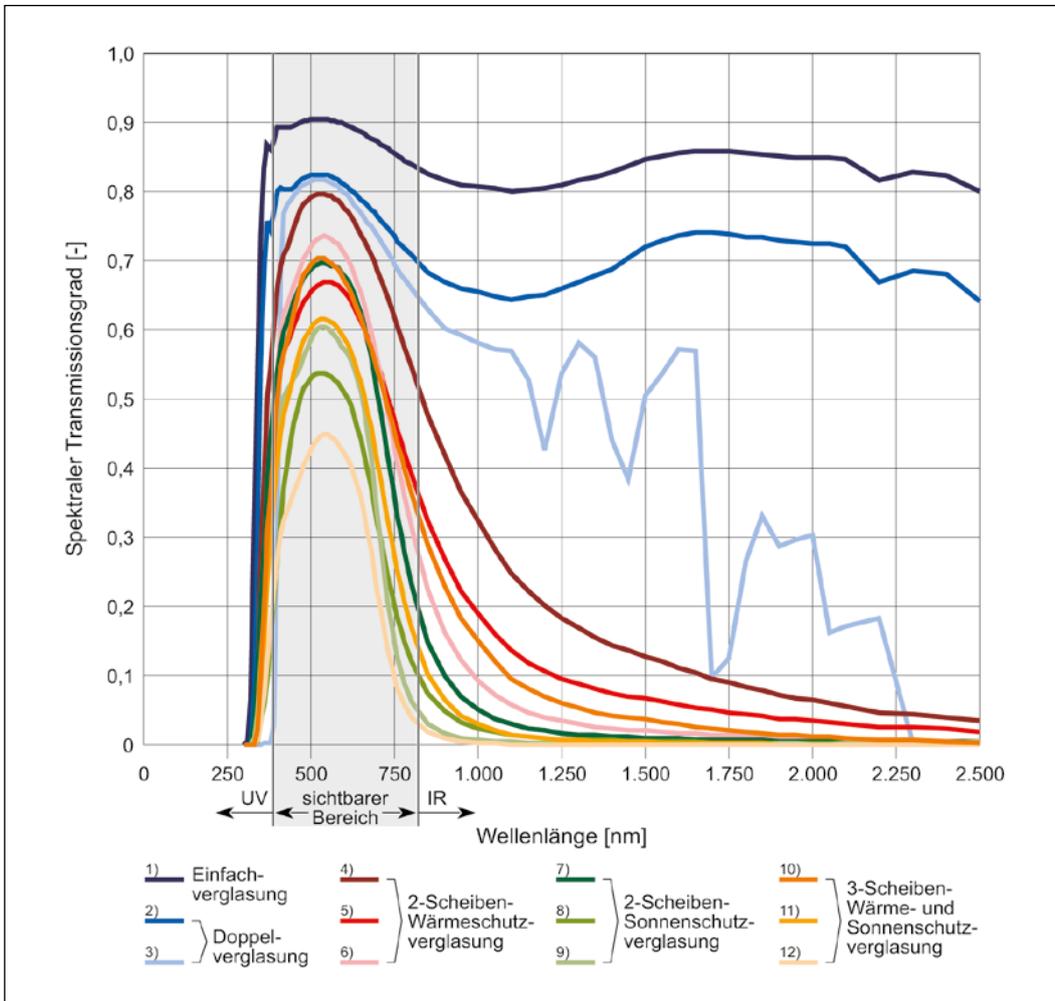


Abbildung 18: Spektrale Transmissionsgrade der in Tabelle 1 enthaltenen Verglasungen bei senkrechter Bestrahlung.

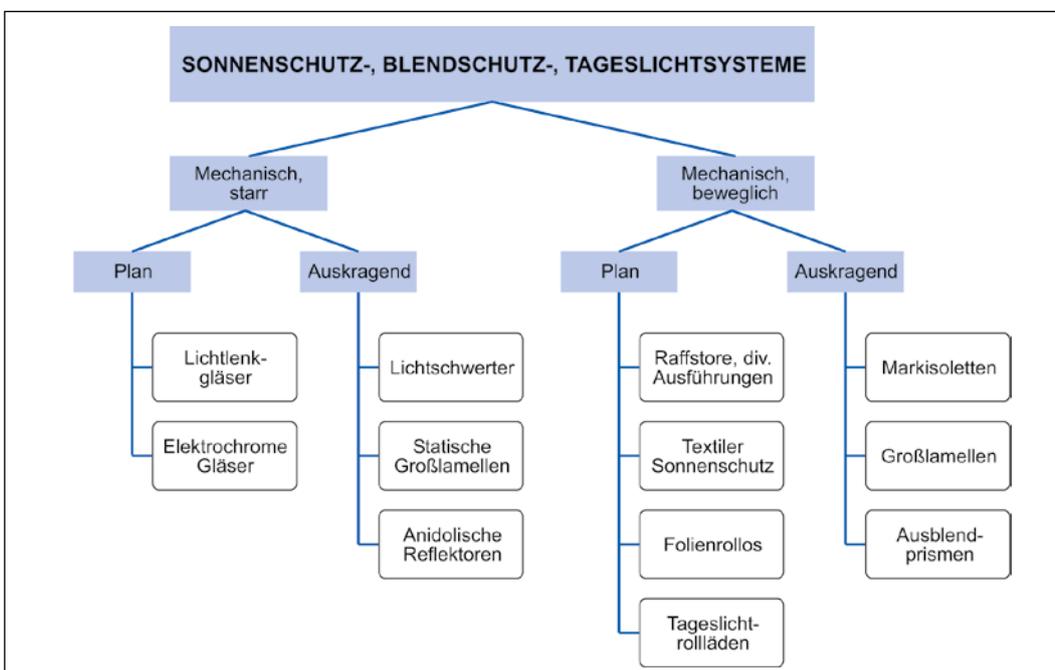


Abbildung 19: Klassifizierung gebräuchlicher Sonnenschutz-, Blendschutz- und Tageslichtlösungen für vertikale Fassaden.

Glastyp	Transmission		g-Wert	Selektivität $S=T_{D65}/g$	U-Wert		Circadianer Wirrfaktor		Farbtem- peratur des transmit- tierten Lichts T_{tp}	Farbwiedergabe des transmittierten Lichts			Photometrisches Strahlungsäquivalent des transmittierten Lichts	
	Licht T_{D65}	Energie T_e			in	W/m ² K	$a_{ins,v}$	$a_{insv,eff}^{**}$		Allgemein R_a	Rot R_g	K_{klar}	$K_{bedeckt}$	
	[-]	[-]	[-]	[-]		[-]	[-]	[K]	[%]	[%]	[lm/W]	[lm/W]		
0 Ideales Glas (bei Lichtart D65)*	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,94	0,94	6.500	100	100	125	115		
1 Einfachverglasung	0,90	0,85	0,87	1,04	5,9	0,94	0,85	6.510	99	96	132	122		
2 Doppel-ISV	0,82	0,74	0,78	1,05	2,8	0,94	0,77	6.520	98	93	139	128		
3 Doppel-ISV	0,81	0,62	0,74	1,09	2,8	0,93	0,75	6.460	97	89	162	149		
4 2-Scheiben-WMMSV	0,79	0,53	0,63	1,24	1,1	0,92	0,72	6.370	96	85	184	169		
5 2-Scheiben-WMMSV0	0,66	0,41	0,50	1,32	1,1	0,89	0,59	6.210	96	81	199	183		
6 2-Scheiben-WMMSV	0,72	0,40	0,56	1,28	1,1	0,90	0,65	6.270	96	77	224	206		
7 2-Scheiben-SSV	0,69	0,37	0,40	1,73	1,0	0,90	0,62	6.310	93	79	231	213		
8 2-Scheiben-SSV	0,52	0,25	0,28	1,89	1,0	0,87	0,46	6.170	94	63	260	239		
9 2-Scheiben-SSV	0,59	0,28	0,30	1,96	1,0	0,89	0,52	6.270	94	69	264	243		
10 3-Scheiben-WMMSV	0,69	0,40	0,49	1,40	0,65	0,89	0,61	6.260	99	74	213	196		
11 3-Scheiben-SSV	0,60	0,30	0,36	1,67	0,67	0,88	0,53	6.200	90	68	248	228		
12 3-Scheiben-SSV	0,42	0,18	0,25	1,68	0,67	0,84	0,35	6.030	92	45	286	263		

ISV: Isolierverglasung; WMMSV: Wärmeschutzverglasung; SSV: Sonnenschutzverglasung

* Entspricht Öffnung ohne Glas; ** Für die circadian wirksame Dosis ist auch die Abminderung über T_{D65} zu berücksichtigen. Diese wird durch $a_{insv,eff}$ ausgedrückt.

Tabelle 1: Thermische, energetische und lichttechnische Kennwerte von Verglasungen. Die Selektivität gibt das Verhältnis des Lichttransmissionsgrades zum g-Wert an.

3.1.2 Sonnenschutz-/Blendschutz- und Tageslichtsysteme für vertikale Fassaden

Zum Sonnen- und Blendschutz und auch zur Tageslichtumlenkung in raumtiefe Bereiche steht eine große Auswahl an Systemen zur Verfügung. Abbildung 19 klassifiziert Lösungen für vertikale Fassaden, Abbildung 20 illustriert ausgewählte Systeme.

3.1.2.1 Lamellensysteme

Lamellensysteme in starrer und beweglicher Ausführung werden zum Sonnen- und Blendschutz und zur Tageslichtumlenkung genutzt. Der Anteil der Jalousie am Gesamtaufkommen an Sonnen- und Blendschutzsystemen in Deutschland liegt bei etwa 40 %. Bei Bildschirmarbeitsplätzen mit nach Süden oder Westen orientierten Fassaden beträgt der Anteil über 60 %. Die Systeme unterscheiden sich hinsichtlich Material und Geometrie der Lamellen, Einbauort und Steuerung. Der Großteil der Lamellensysteme kann an bedeckten Tagen die Fassade freigeben, so dass das intensitätsschwache Diffuslicht ungehindert in den Raum eindringen kann. Getrennt steuerbare Behangteile ermöglichen es, den unteren, blendungskritischen Fassadenbereich zu schließen und den oberen Behangbereich durch Horizontalstellung der Lamellen zur Lichteinkopplung in den Raum zu öffnen. In einer weiteren Betriebsart, dem sogenannten »Cut-Off«-Betrieb, werden die Lamellen sonnenstandsabhängig so ausgerichtet, dass direkter Sonnenlichteintrag durch die Fassade gerade vermieden wird. Dies erhöht einerseits den Eintrag von Diffuslicht in den Raum und ermöglicht andererseits für den Nutzer die Durchsicht durch die Fassade bei den meisten Sonnenständen. Speziallösungen sind für höhere Windlasten ausgelegt, so dass auch in größeren Geschosshöhen effektiver außenliegender Sonnenschutz möglich wird.

3.1.2.2 Textilien- und Foliensysteme

Im Außenbereich sind Rollos auf Basis von Textilien windanfälliger als Raffstore. Im Innenbereich sind sie einfach zu montieren, bieten jedoch nicht den hohen Sonnenschutz. Stoffe sind in der Regel blickdicht gewebt. Einige Screen-Stoffe haben kleine Löcher, die einerseits einen Ausblick gewähren, andererseits im Raum aber Blendung bei direkter Besonnung verursachen können. Foliensollos bestehen aus metallbedampften Folien, die eine gute Blickverbindung nach außen bieten, aber direktes Sonnenlicht eintreten lassen und somit je nach Raumnutzung Blendung verursachen können. Ergänzend kann es zu Veränderung der Lichtfarbe der Innen wahrgenommenen Außenwelt kommen. Textil- oder Foliensysteme werden in der Regel von oben nach unten verfahren. Obwohl die Leuchtdichte aus ergonomischer Sicht eher im unteren Bereich der Fassade reduziert werden muss, resultiert aus dieser Anordnung eine starke Reduktion des Tageslichteintrags im oberen Bereich der Fassade und damit in aller Regel keine nennenswerte Tageslichtnutzung im Raum. Um dies zu vermeiden, gibt es einige wenige Systeme, die das Prinzip umkehren, den Behang unten montieren und von dort nach oben bewegen.

3.1.2.3 Fassadenmarkisen und Markisoletten

Ebenfalls aus textilen Geweben hergestellt sind Fassadenmarkisen und Markisoletten. Beide sind vor der Fassade ausstellbar. Sie ermöglichen eine Raumaufhellung durch von unten einfallendes Diffuslicht und bieten eine gewisse Sichtverbindung nach außen. Sie sind allerdings windanfälliger als Lamellensysteme und bieten keine Möglichkeit zur gezielten Tageslichtlenkung.

3.1.2.4 Sonstige Lösungen

Spezielle Lösungen stellen Lichtlenkgläser dar, die mechanisch starr direktes Sonnenlicht über die Decke in die Raumtiefe lenken. Das in Abbildung 20 dargestellte Glas nutzt das Prinzip der internen Totalreflexion an im Scheibenzwischenraum eingestapelten Acrylglaslamellen.

Mittlerweile marktgängig sind sogenannte Tageslichtrollläden, bei denen die Verbindungselemente zwischen den Profilen im Vergleich zu gewöhnlichen Rollläden vollständig lichtdurchlässig ausgebildet sind. Neben dem vollständig geschlossenen Zustand können sie hiermit in einem zweiten Zustand Sonnenschutz bei gleichzeitiger Tageslichtversorgung bieten.

Elektrisch schaltbare Schichten in elektrochromen Gläsern ermöglichen das kontrollierte Wechseln einer Fassade zwischen hoher Transparenz und effektivem Sonnenschutz. Schalthübe der Systeme liegen mittlerweile für die Lichttransmission zwischen 1 und 60 % und für den g-Wert bei 0,09 bis 0,41. Sie bieten allerdings keinen ausreichenden Blendschutz und verändern die Farbe des Tageslichts im Sonnenschutzbetrieb ins Bläuliche.

Sondertechniken, z. B. auf Basis von Hologrammen oder auch verspiegelte Lamellensysteme, haben sich aufgrund zu hoher Kosten und zum Teil funktionaler Defizite, z. B. der Spektralzerlegung bei Hologrammen, nicht am Markt etabliert.

3.1.3 Dachoberlichter

Unter den landläufigen Begriffen »Oberlichter« oder »Dachoberlichter« werden nach VDI 6011 Blatt 2 [20] und auch nach DIN 5034-6 [5] u. a. Lichtkuppeln in unterschiedlichen Formen, verschiedenartige Dachlichtbänder und auch Shed-Dächer verstanden. Auch die sogenannten »Flachdachfenster« – vom Aufbau vergleichbar mit Lichtkuppeln – fallen in die Kategorie der Dachoberlichter. Den Dachoberlichtern kommt gegenüber einer seitlichen Befensterung insbesondere in Räumen mit großer Bautiefe – das sind z. B. großflächige Hallenbauten o. ä. – eine besondere Bedeutung zu, da sie eine wirtschaftliche Lösung der Tageslichtnutzung ermöglichen. Öffnungen auf Dachflächen haben den Vorteil, dass hier die volle Zenitleuchtdichte wirksam wird – bei Fenster am Horizont ist es lediglich ein Drittel – und weiterhin meist keine Minderung durch eine umliegende Verbauung zu berücksichtigen ist.

Dabei geht man stets von einer gleichmäßigen Verteilung der Dachoberlichter auf der Dachfläche aus. Von einer gleichmäßigen Anordnung spricht man, wenn der Verhältniswert f des Achsabstandes e der Dachoberlichter untereinander zur Raumhöhe h nicht größer als $1 : 1,7$ ist, wie es Tabelle 2 darstellt.

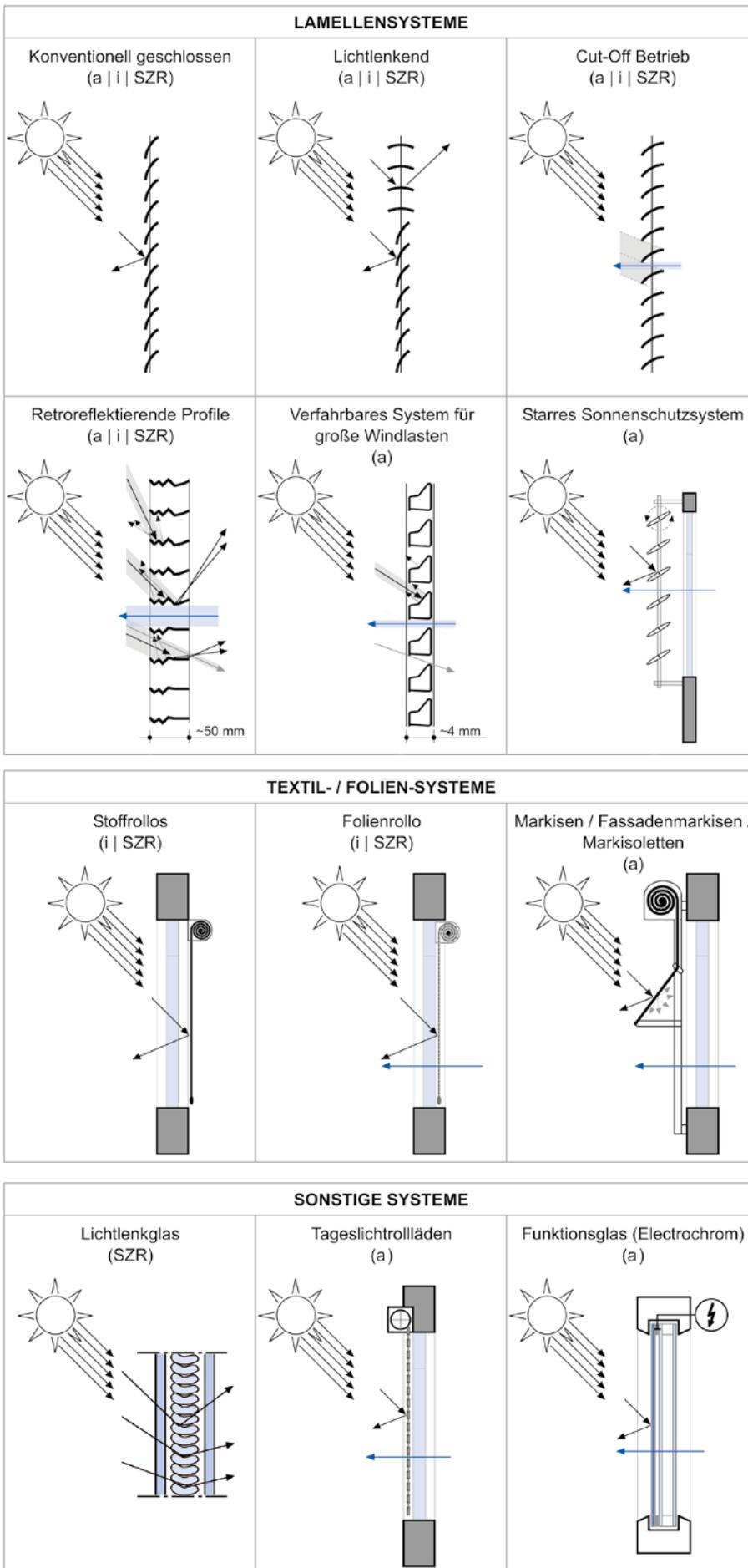


Abbildung 20: Ausführungen von Sonnen-, Blendschutz- und Tageslichtsystemen und deren Betriebsweise.

a: außenliegend
i: innenliegend
SZR: Scheibenzwischenraum

Tabelle 2:

Verhältniswert $f=e/h$ zwischen dem Achsabstand e und der Raumhöhe h nach [6]. Einer Schachtneigung von 90° entspricht ein senkrechter Aufsetzkranz.

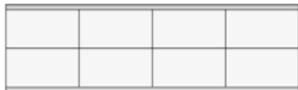
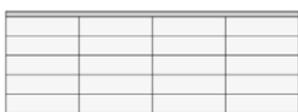
Gleichmäßigkeit g_2 ($D_{min} : D_{max}$)	Verhältniswert f			Empfehlung
	Schachtneigung			
	90°	60°	45°	
$\sim 1 : 1$	< 1 ... 1,1			anzustreben
$1 : 1,5$	1,2	1,3	1,4	
$1 : 2$	1,4	1,5	1,7	tolerabel
$1 : 2,5$	1,6	1,8	2	kritisch
$1 : 3$	1,7	2	2,2	vermeiden

Daraus lässt sich ableiten, dass niedrige Räume kleine und eng beieinander liegende Öffnungen benötigen, hohe Räume dagegen große Öffnungen in großen Abständen vertragen. Für Dachlichtbänder gilt die Empfehlung, die Breite der Dachoberlichter nicht größer als die halbe Raumhöhe zu wählen [4]. Tabelle 3, Abbildung 21 und Abbildung 22 geben eine Übersicht über thermische, energetische und lichttechnische Anhaltswerte für Bauteile, die häufig in Dachoberlichtern verwendet werden. Weitere Kennwerte sind z. B. den Auflistungen in DIN V 18599-4 [14] zu entnehmen.

Dachoberlichter werden heute zumeist als rein statische Systeme ohne variablen Sonnenschutz als Lichtkuppeln oder Lichtbänder ausgeführt (vgl. Abbildung 23). Mittlerweile sind vermehrt Lösungen mit zusätzlichen Verschattungssystemen im

Abbildung 21:

Zusammenstellung praxisüblicher Bauteile in Dachoberlichtern mit Darstellung der Aufbauweise (Querschnitte).

POLYCARBONAT-PLATTEN			
Typ 1 16 mm	1)	durchsichtig	
	2)	streuend	
	3)	durchsichtig, eingefärbt	
Typ 2 16 mm	4)	durchsichtig	
	5)	streuend	
	6)	durchsichtig, eingefärbt	
Typ 3 25 mm	7)	durchsichtig	
	8)	streuend	
	9)	durchsichtig, eingefärbt	
Typ 4 20 mm	10)	durchsichtig	
	11)	streuend	

	τ_{D65}	τ_e	g	S	U W/Km ²	$a_{ms\ v}$	$a_{ms\ v,eff}$	T_{CP} K	R_a	R_g	K_{klar} lm/W	$K_{bedeckt}$ lm/W
1	0,74	0,67	0,69	1,06	2,3	0,93	0,68	6.400	100	99	137	126
2	0,62	0,56	0,61	1,01	2,3	0,94	0,58	6.530	99	97	138	127
3	0,30	0,33	0,48	0,62	2,3	0,80	0,24	5.330	99	99	113	104
4	0,64	0,58	0,61	1,05	2,0	0,92	0,58	6.340	99	99	138	127
5	0,55	0,50	0,54	1,02	2,0	0,95	0,52	6.580	99	97	138	127
6	0,27	0,31	0,45	0,60	2,0	0,77	0,21	5.130	99	100	109	100
7	0,49	0,45	0,48	1,02	1,4	0,93	0,45	6.370	99	98	136	125
8	0,40	0,37	0,42	0,95	1,4	0,94	0,38	6.500	99	93	135	124
9	0,13	0,16	0,32	0,41	1,4	0,76	0,10	5.050	99	98	102	93
10	0,59	0,52	0,57	1,04	1,7	0,92	0,54	6.310	100	99	142	130
11	0,47	0,43	0,47	1,00	1,7	0,95	0,44	6.570	99	95	137	126

Tabelle 3: Thermische, energetische und lichttechnische Kennwerte von Bauteilen, die in Dachoberlichtern verwendet werden. Die Selektivität gibt das Verhältnis des Lichttransmissionsgrades zum g-Wert an.

Einsatz, die je nach Besonnungszustand der Dachflächen aktiviert werden. Konventionelle technische Lösungen wie textile Verschattungen sind seit längerem am Markt verfügbar; innovativere integrierte Systeme, wie speziell in die Zwischenräume von Stegmehrfachplatten eingebrachte Lamellensysteme oder in Tonnenlichtbändern verfahrbare Textilrollen, gehören zu den jüngeren Entwicklungen.

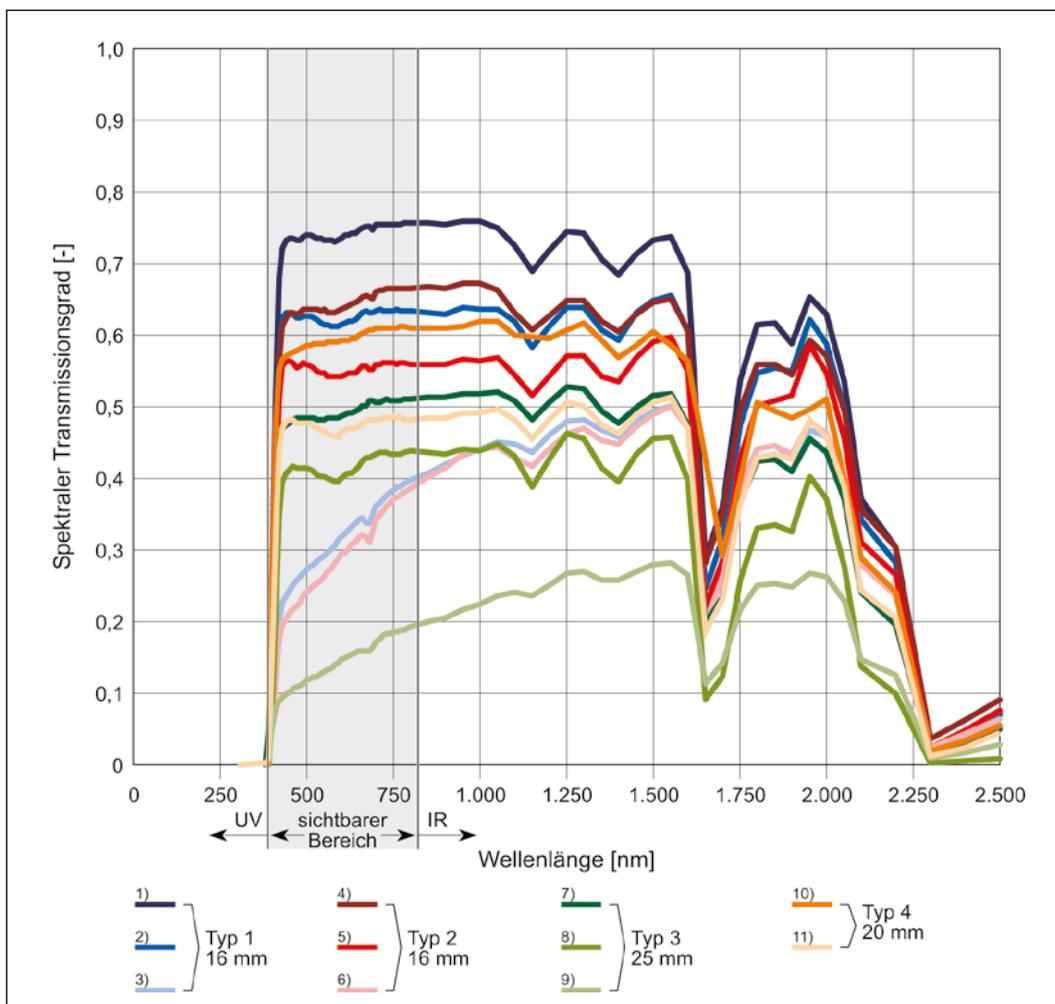
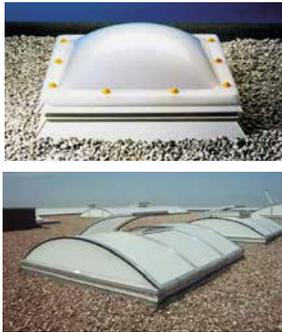
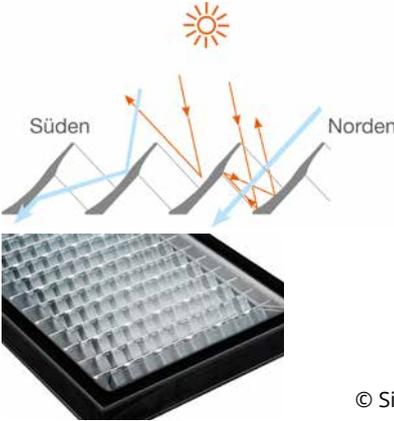
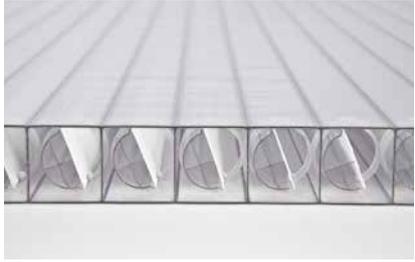
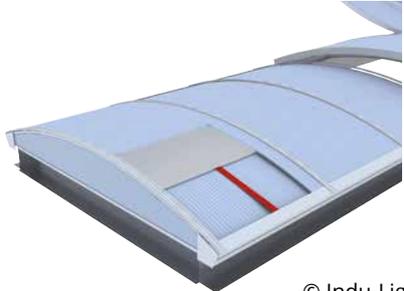


Abbildung 22: Spektrale Transmissionsgrade der in Tabelle 3 enthaltenen Bauteile, die häufig in Dachoberlichtern verwendet werden, bei senkrechter Bestrahlung. Die Platten 3), 6) und 9) haben eine leichte Bronzefarbe; die übrigen sind neutral-farbig.

Abbildung 23:
Ausführungen von
Dachoberlicht-
systemen klassifi-
ziert nach »in sich
verstellbar« und
»verfahrbar«.

		In sich verstellbar	
		Nein	Ja
Verfahrbar	Nein	<p>Lichtkuppeln, Lichtbänder</p>  <p>© FVLR</p> <p>Miniaturisiertes Sonnenschutzraster</p>  <p>© Siteco</p>	<p>Drehbare Lamellen in Stegmehrfachplatten</p>  <p>© Everlite</p> <p>In Lichtband verfahrbare Textilrollos</p>  <p>© Indu-Light</p>
	Ja	<p>Verfahrbarer innenliegender textiler Sonnenschutz</p>  <p>© Warema</p>	<p>Konventionelle Lamellensysteme</p>  <p>© FVLR</p>

Im Unterschied zu vertikalen Fassadenlösungen kommen im Bereich der Dachoberlichter zumeist Komplettsysteme – Lösungen aus einer Hand – zur Anwendung. In den Scheibenzwischenraum zu integrierende Raster bilden in miniaturisierter Form die Funktion von Shed-Oberlichtern nach. Sie lassen das diffuse Nordlicht eintreten und reflektieren intensitätsstarkes direktes Sonnenlicht zurück.

3.1.4 Architekturintegrierte Lösungen

Neben den dargestellten Lösungen, die zumeist in vertikale oder horizontale Gebäudeöffnungen als vorgefertigte Komponenten eingebracht werden, werden Tageslichtöffnungen häufig auch stärker architekturintegriert ausgeführt (vgl. Abbildung 24). Hierunter fallen früher oft, heute seltener ausgeführte Shed-Dachoberlichter. Zu nennen sind auch Lichtdecken, häufig im Museumsbau, oder unterschiedlich ausgebildete »Tageslichtvouten«.

Sheds	Individueller Sonnenschutz	Tageslichtvouten I/II
 <p data-bbox="165 508 429 535">© Schauwerk Sindelfingen</p>	 <p data-bbox="521 477 815 535">bkk, Villingen-Schwenningen, © Transsolar</p>	 <p data-bbox="873 508 1070 535">© Saurabh Sachdev</p>
Tageslichtvouten II/II		
 <p data-bbox="165 936 1027 963">Fluglotsen-Center, Deutsche Fluglotsen GmbH (DFS) München, © Mathias Wambganß</p>		

Abbildung 24:
Beispiele
architektur-
integrierter
Lösungen.

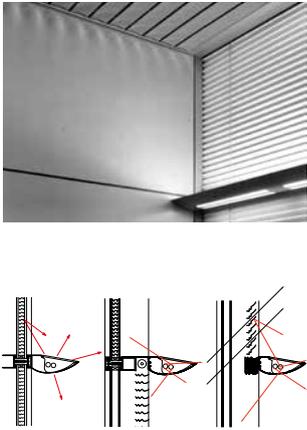
Integrierte vertikale Fassade	Lichtdecke zur natürlichen und künstlichen Beleuchtung	Integriertes Dachoberlicht
 <p data-bbox="165 1664 389 1691">© Lichtplanung Köster</p>	 <p data-bbox="521 1637 735 1691">Neue Galerie Kassel, © Roman A. Jakobiak</p>	 <p data-bbox="873 1664 975 1691">© Lamilux</p>

Abbildung 25:
Integrierte Kunst-
licht- und Tages-
lichtfassaden.

3.1.5 Sonderlösungen: Hybride Fassaden zur Tages- und Kunstlichtversorgung

Integrierte Kunst- und Tageslichtfassaden liefern sämtliches Licht aus einer Richtung – Raumseite oder Decke – in den jeweils angrenzenden Raum. Sie erlauben höhere Vorfertigungsgrade, wodurch sich der Installationsaufwand vor Ort reduzieren lässt. Abbildung 25 zeigt beispielhafte Lösungen für vertikale Fassaden und Dachoberlichter.

3.1.6 Neue Technologien

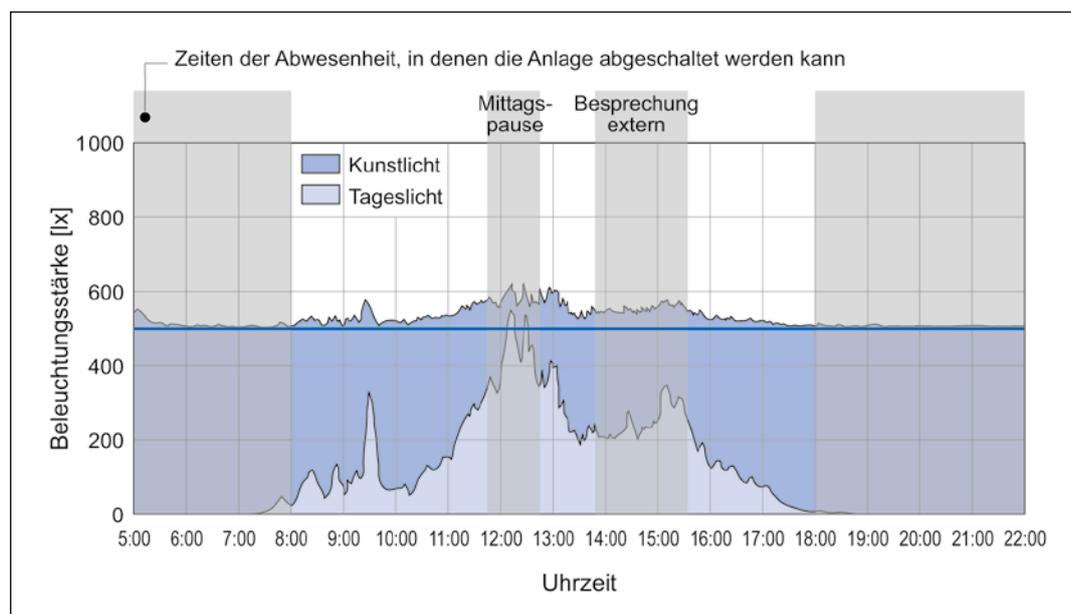
Neue Impulse für die Fassadentechnik kommen vor allem aus der Micro-Optik. Miniaturisierte Spiegelsysteme bringen wesentliche Merkmale von Lamellensystemen direkt auf Glassubstrate. Mikro-optische Strukturen – ebenfalls direkt auf Gläser aufgebracht – ermöglichen die gezielte Tageslichtumlenkung. Speziell flächig auskoppelnde Optiken gestatten die Beaufschlagung der Tageslicht transmittierenden Fenster mit Kunstlicht über die Kanteneinkopplung von LED-Licht. Dies kann tagsüber als Ergänzungsbeleuchtung dienen und abends und nachts die vollständige Beleuchtung der Räume von der gleichen Seite übernehmen. Ausgehend von bereits vorliegenden Labormustern wird zurzeit an der Umsetzung auf größere Formate und den zugehörigen Produktionsprozessen gearbeitet. Den Lösungen ist gemein, dass sie ressourcenschonend einen erheblich geringeren Materialeinsatz erfordern und große Kostenvorteile gegenüber bisherigen Lösungen versprechen.

3.2 Lichtmanagement

Durch Tageslichtnutzung in Kombination mit einem Lichtmanagementsystem lässt sich elektrische Energie für die künstliche Beleuchtung einsparen. Durch die große Variabilität der Einflussparameter divergieren real gemessene Einsparpotenziale erheblich. Dokumentierte Untersuchungen nennen 20 bis 70 %. Eine Metaanalyse belegt ein Potenzial von im Mittel 30 %. Abbildung 26 zeigt exemplarisch die Ergänzung des verfügbaren Tageslichts mit Kunstlicht durch ein reales Lichtmanagementsystem bis zur Mindesteinhaltung eines geforderten Wertes von 500 lx.

Tageslichtabhängige Kontrolle kann durch Steuer- und Regelsysteme erreicht werden. Eine tageslichtabhängige Steuerung misst das vorhandene Tageslicht und dimmt die künstliche Beleuchtung anhand vorprogrammierter Werte (Kennlinien). Es gibt keine Rückkopplung bezüglich des realisierten Beleuchtungsniveaus auf der Fläche mit der Sehaufgabe, die durch das Tageslicht und die künstliche Beleuchtung realisiert wird. Sensoren können auf dem Dach, auf der Fassade oder im Raum angebracht sein (vgl. Abbildung 29), sollten jedoch keine künstliche Beleuchtung detektieren.

Abbildung 26: Wirkweise von tageslichtabhängigem Lichtmanagement im Winter (realer Verlauf). Mögliche weitere Einsparungen durch aufgeschaltete Präsenzerfassung sind dargestellt.



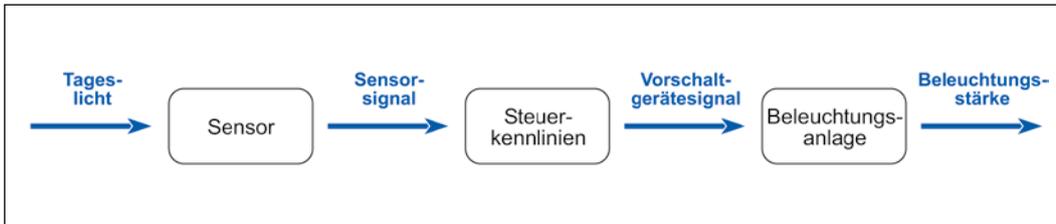


Abbildung 27:
Prinzip
Lichtsteuerung.

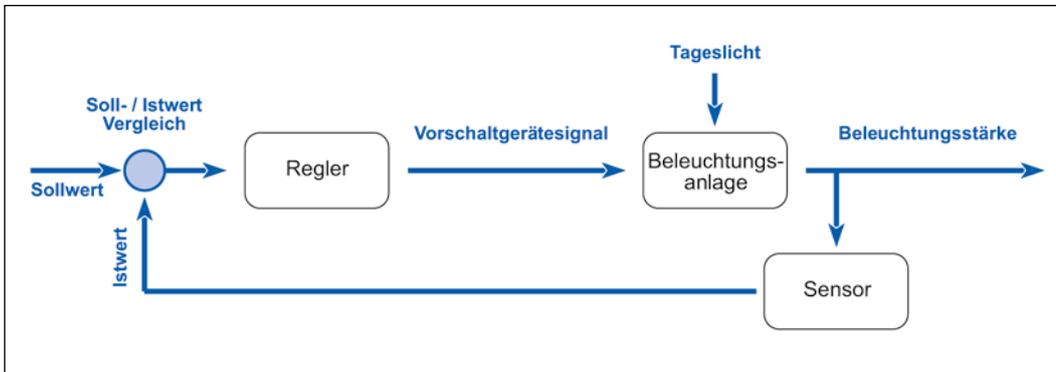


Abbildung 28:
Prinzip
Lichtregelung.

Eine tageslichtabhängige Regelung misst das reflektierte Licht einer Referenzfläche. Der Sensor wird typischerweise in der Leuchte oder in der Decke des Raumes angebracht. Es gibt eine dauerhafte Rückkopplung bezüglich des realisierten Beleuchtungsniveaus auf der Referenzfläche. Der Sensor sollte keinen direkten Beitrag vom Tageslicht oder der künstlichen Beleuchtung erfassen. Er sollte daher nicht direkt auf die Fassade ausgerichtet sein oder in eine Leuchte schauen.

Es gibt unterschiedliche Strategien, auf das Tageslichtangebot zu reagieren. Die meisten tageslichtabhängigen Lichtmanagementsysteme dimmen automatisch hoch und runter, damit die Anforderungen an das Beleuchtungsniveau zu jeder Zeit

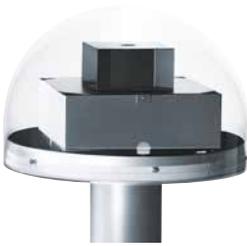
	Tageslichtmesskopf außen	Raumseitiger Sensor auf die Fassade gerichtet	
Lichtsteuerung	 © Zumtobel	 © Zumtobel	
Lichtregelung	Integrierter Tageslichtsensor und Bewegungsmelder	Aufsteck-Sensor	Leuchtenintegrierte Sensorik
	 © Philips	 © Osram	 © Nimbus

Abbildung 29:
Komponenten zur Lichtsteuerung und zur Lichtregelung.

gewährleistet sind. Eine andere Dimmstrategie schaltet bei der Unterschreitung des festgelegten Beleuchtungsniveaus nicht automatisch die künstliche Beleuchtung an. Die Nutzer müssen diese selbst wieder aktivieren. Diese Lösung bietet ein größeres Einsparpotenzial. Einzelne tageslichtabhängige Systeme schalten die Beleuchtungsanlage bei ausreichender Tageslichtbeleuchtung aus und wieder an, wenn die Beleuchtungsniveaus unter die von den Normen oder Nutzern gewünschten und festgelegten Werte sinken. Diese Lösungen sind typischerweise etwas preiswerter und die künstliche Beleuchtung kann ohne dimmbare EVGs ausgestattet sein. Es kommt in der Anwendung jedoch zu sprunghaften Änderungen in der Beleuchtung, was vom Nutzer häufig nicht akzeptiert wird. Typische Werte für das Systempotenzial (Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Kontrollsystems – vgl. Kapitel 2.4) sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

4 Planung

Im Entwurf definieren Gebäudekubatur und Grundrissgestaltung maßgeblich die Tageslichtverhältnisse vor. Die technische und gestalterische Ausführung der Fassade als Schnittstelle zwischen innen und außen moduliert den natürlichen Lichteintrag ins Gebäude; in der Planung sind hierbei lokale Gegebenheiten aus Fassadenorientierung, Verbauungssituation und Klima zu berücksichtigen. Sodann ist das Tageslicht im Raum möglichst effizient zu nutzen, beispielsweise durch helle Raumgestaltung und eine gute Raumaufteilung. Über das Lichtmanagement sollte die elektrische Beleuchtung effizient mit eingebunden werden. Die Tageslichtplanung sollte nicht losgelöst vom integralen Gebäudeverhalten betrachtet werden. Eine zeitgemäße, nachhaltige Herangehensweise erfordert die Abstimmung mit anderen technischen Gewerken wie Heizung und Klimatisierung. Das Kapitel stellt Planungsaspekte anhand wesentlicher Planungsprinzipien, Planungsworkflows, Anforderungen und Zertifizierungssysteme, des Zusammenwirkens mit anderen Gewerken, Planungswerkzeugen und einigen allgemeinen Hinweisen zur Rolle des Tageslichts im Gesamtplanungsprozess dar.

Tabelle 4: Systempotenzial (SP) zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Kontrollsystems in Anlehnung an DIN V 18599-4.

Kontrollart		SP (vgl. Formel 4) als Funktion der Tageslichtversorgung *								
		Gering			Mittel			Gut		
		Wartungswert der Beleuchtungsstärke E_m								
		300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx	300 lx	500 lx	750 lx
Manuell		0,50	0,47	0,44	0,55	0,52	0,49	0,60	0,57	0,54
Gedimmt	Nicht ausschaltend	0,65	0,70	0,73	0,70	0,73	0,75	0,73	0,75	0,76
	Ausschaltend	0,71	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,81	0,81	0,81

* Einstufung der Tageslichtversorgung gemäß DIN V 18599-4:

$D_{RB} \geq 6\%$: gut; $6\% > D_{RB} > 4\%$: mittel; $4\% > D_{RB} \geq 2\%$: gering; $2\% > D_{RB}$: keine.

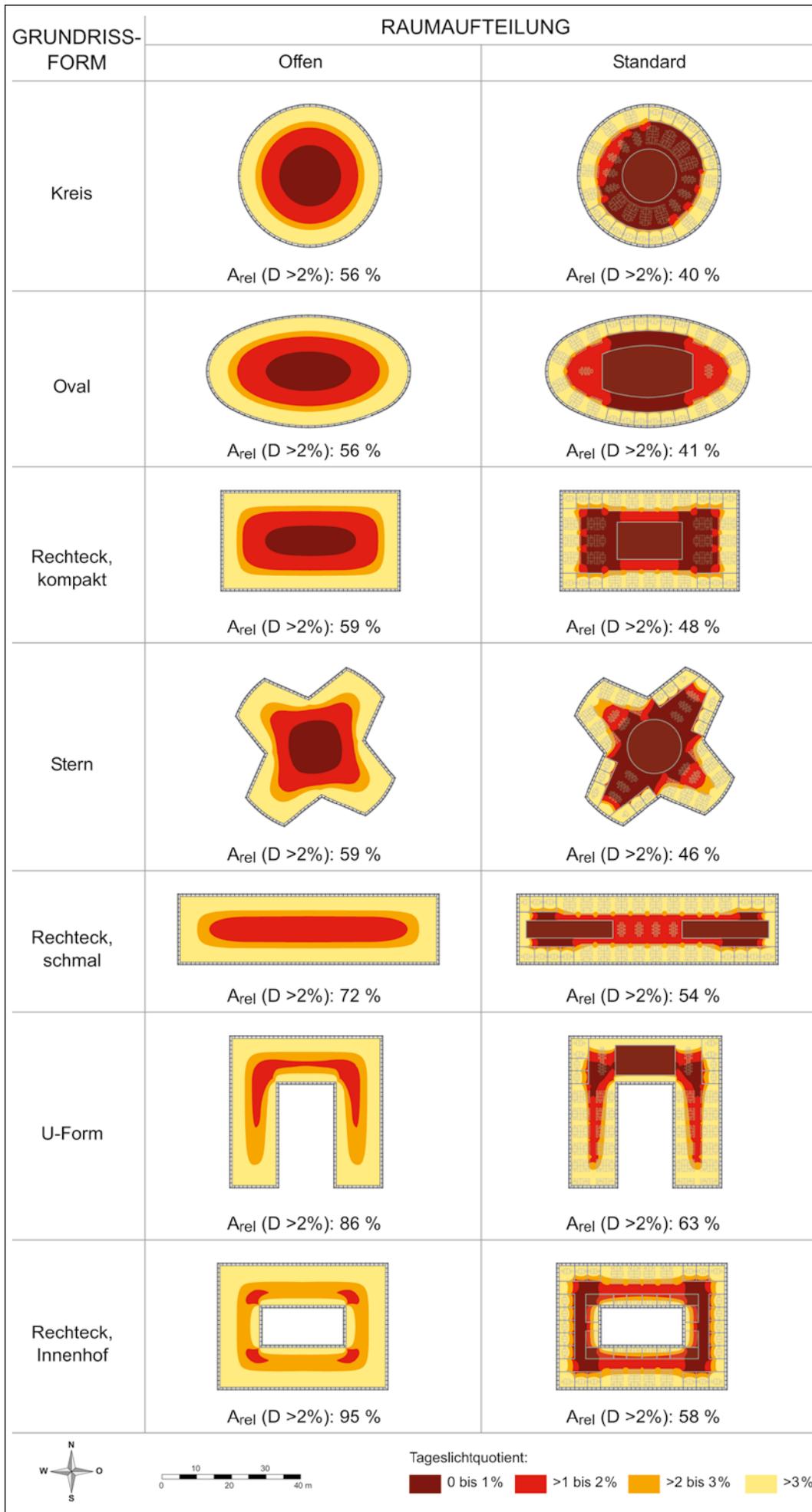


Abbildung 30: Auswirkungen unterschiedlicher Grundrissformen auf die Tageslichtversorgung bei etwa gleich großen Nutzflächen. Die dargestellten Geschosse bilden jeweils das 5. OG von sieben-geschossigen Gebäudekörpern ab. $A_{rel}(D > 2\%)$ gibt jeweils den prozentualen Anteil der Nutzfläche mit einem Tageslichtquotienten größer 2 % an.

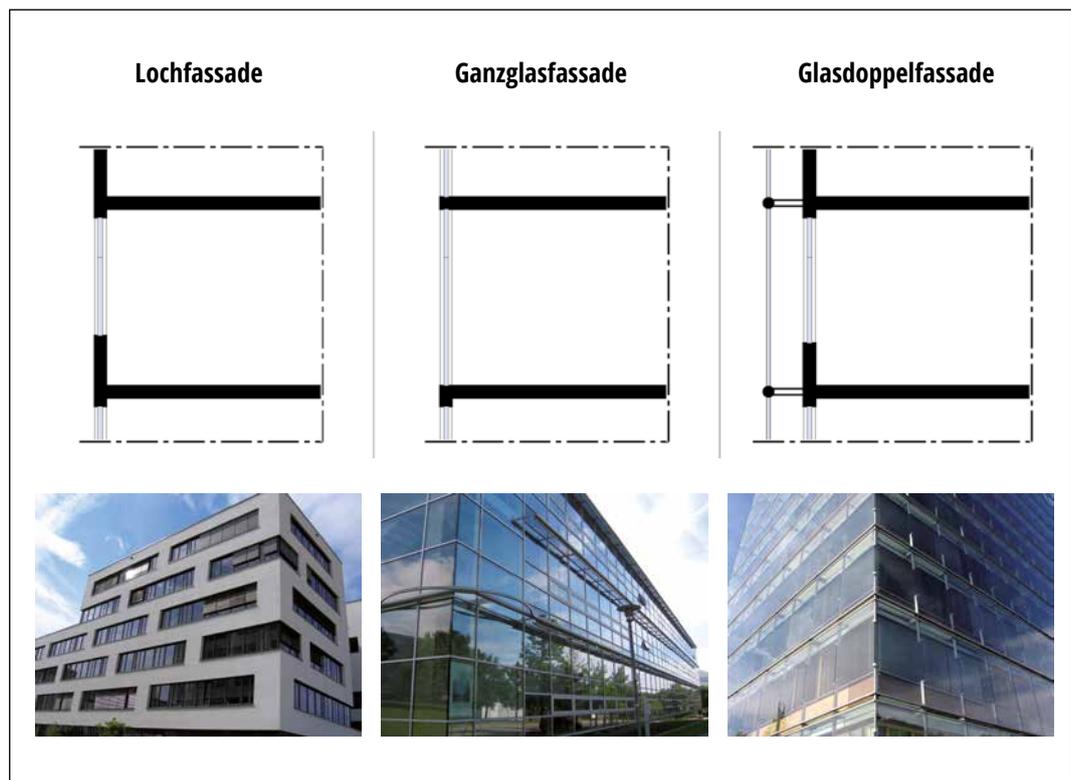
4.1 Prinzipien

Im Folgenden werden wesentliche Planungsprinzipien für die Aspekte Baukörper und Rohbauöffnung, Fassadentechnik, Raumgestaltung sowie Lichtmanagement und Systemintegration angeführt.

4.1.1 Baukörper

- Die Ausbildung der Gebäudekubatur gibt, wie exemplarisch in Abbildung 30 dargestellt, die mögliche Tageslichtversorgung der Innenbereiche und auch die mögliche Sichtverbindung nach außen vor.
- Bei der exemplarisch in Abbildung 30 dargestellten etwa gleichen Grundfläche variiert der Anteil gut/ausreichend mit Tageslicht (TQ >2 %) versorgter Bereiche zwischen 56 und 95 %, bei einer Standardraumaufteilung und Möblierung noch zwischen 40 und 63 %.
- Zugänge wie Aufzüge, Verkehrswege und wenig genutzte Räume wie Lager und Bereiche mit geringen Sehanforderungen sollten idealerweise in die dunkleren Grundrissbereiche gelegt werden.
- Gebäude über Dachoberlichter zu belichten, ist lichttechnisch, energetisch und wirtschaftlich die effizienteste Art der Tageslichtnutzung. Dachoberlichter weisen flächenbezogen eine ca. 50 % höhere Belichtung auf als vertikale Fassaden. Sie sind wesentlich blendungsunkritischer und ermöglichen eine gleichmäßige Verteilung des Lichts im Raum.

Abbildung 31:
Grundtypen
vertikaler
Fassaden.



4.1.2 Rohbauöffnungen

- Die drei wesentlichen baulichen Grundtypen von Rohbauöffnungen sind Lochfassaden, vollständig geöffnete Fassaden (Ganzglasfassaden) und zweischalige Fassaden (Glasdoppelfassaden) (vgl. Abbildung 32).
- Lichttechnisch adäquat, um Räume über das Jahr ausreichend zu belichten, sind z. B. bei üblichen Einzelbüros mit Raumtiefen von bis ca. 5 m Lochfassaden mit je nach Verglasungstyp ca. 40 bis 60 % Fensterflächenanteil.
- Lichtdurchlässige Brüstungsbereiche vor Ganzglasfassaden lassen im Allgemeinen das Licht – für die Beleuchtungsaufgabe unbrauchbar – im Sinne des Wortes unter den Tisch fallen. Vielmehr erhöhen diese Bereiche die solaren Wärmegevinne, was in strahlungsreichen Monaten zur Überwärmung der Räume führen kann. In hohen Gebäuden können durchsichtige Brüstungen (Ganzglasfassaden) teilweise zu Schwindelgefühlen führen.
- Glasdoppelfassaden vermindern den Lichteinfall durch die weitere Verglasungsebene, Versprossungen und Schotte erheblich – ohne Weiteres um mehr als 30 %.
- Permanente Verschattungen baulicher Art, wie Auskragungen vor Fenstern oder stationäre Sonnenschutzlamellen, sollten aufgrund der in Mitteleuropa überwiegend intensitätsärmeren diffusen Himmel vermieden werden.
- Auch sollten Fensterstürze möglichst gering ausgebildet werden, da dieser Fassadenbereich aufgrund der zumeist im Zenitbereich höheren Himmelsleuchtdichten einen flächenmäßig überproportionalen Beitrag zur Raumbelichtung leistet.
- Konventionelle Fassaden mit einer Sturzhöhe ca. 2,8 m und einer Nutzebenhöhe von ca. 0,8 m können die dahinter liegenden Räume bis zu einer Tiefe von ca. 5 m ausreichend mit Tageslicht versorgen.
- Bei der sich immer häufiger stellenden Frage der Sanierung von Fassaden kann eine zu große Verminderung der Tageslichtversorgung aufgrund starker Laibungen durch die aufzubringende Dämmung z. B. durch Abschrägung der Laibungen vermieden werden (vgl. dazu Abbildung 32).

4.1.3 Fassadentechnik

Die in die Rohbauöffnungen einzubringenden Fassadensysteme übernehmen eine Schutz- und eine Versorgungsfunktion (vgl. Abbildung 33). Wo erforderlich, z. B. am Bildschirmarbeitsplatz (BAP), ist adäquater Blendschutz bereitzustellen. Dabei sollten die Räume zugleich mit ausreichend Tageslicht versorgt werden.

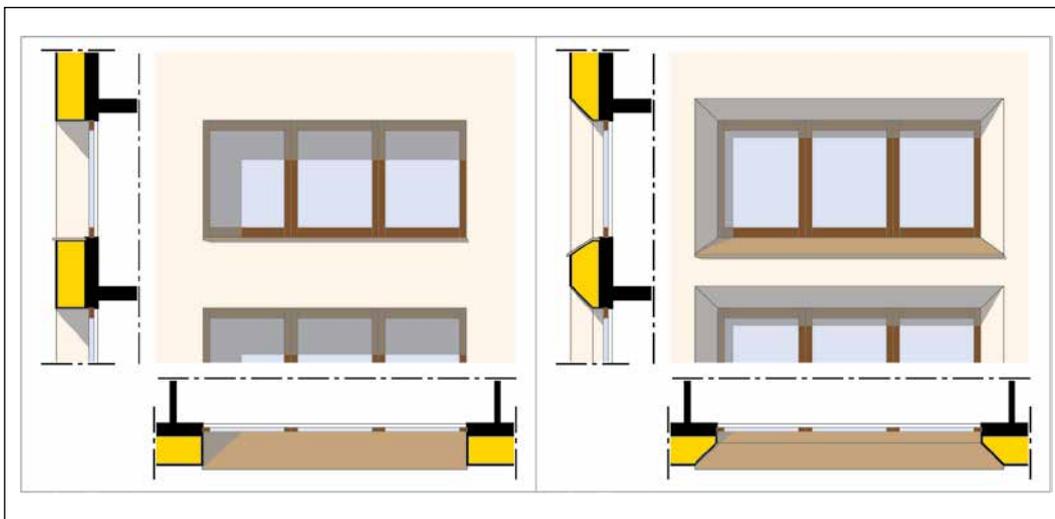
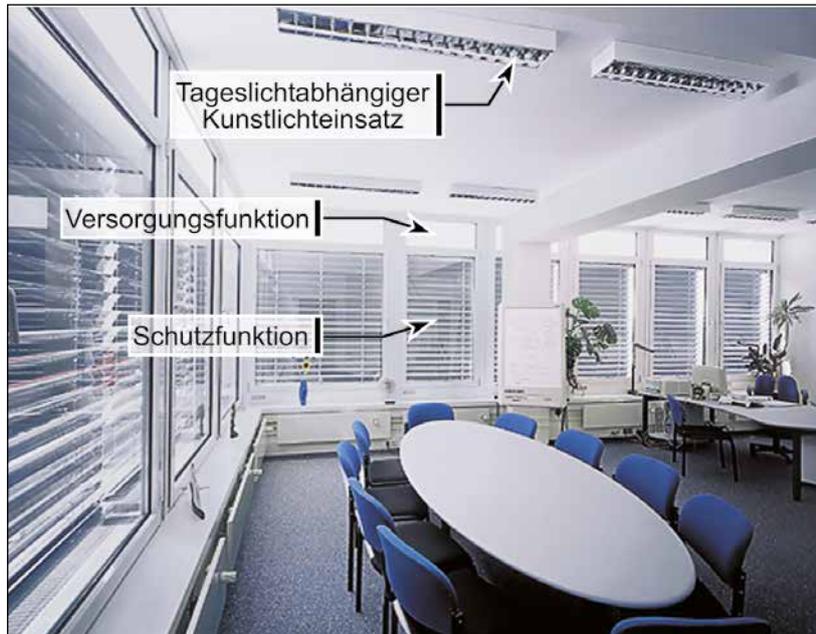


Bild 32: Sanierung von Rohbauöffnungen. Sich nach außen öffnende Fensterlaibungen ermöglichen trotz aufgebrachter Dämmungen eine gute Tageslichtversorgung.

Abbildung 33:
Schutz- und
Versorgungsfunktionen
von Fassaden-
systemen.



4.1.3.1 Verglasungen

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

a. Zielsetzung bei Gebäuden mit einer eher geringen Gesamthöhe, die aufgrund moderater Windlasten beweglichen, außenliegenden Sonnenschutz ermöglicht, sollte sein: Hoher Wärmeschutz, hohe Lichttransmission, hoher g-Wert. Exemplarische Werte einer Dreifachwärmeschutzverglasung sind:

$$U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}; g = 0,60; \tau_{D65} = 0,74.$$

b. Zielsetzung bei hohen Gebäuden, bei denen aufgrund höherer Windlasten nur innenliegender Blendschutz möglich ist, sollte sein: Hoher Wärmeschutz, geringer g-Wert bei zugleich noch hohem Lichttransmissionsgrad (hohe Selektivität der Gläser!). Exemplarische Werte einer Dreifachsonnenschutzverglasung sind:

$$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}; g = 0,34; \tau_{D65} = 0,63.$$

- Es ist zu beachten, dass Sonnenschutzgläser allein keinen ausreichenden Blendschutz bereitstellen.
- Da Gläser heute maßgeblich das äußere Erscheinungsbild von Gebäuden prägen und aufgrund ihrer Beschichtung bei teilweise identischen Kennwerten (U_g ; g ; τ_{D65}) ein spektral unterschiedliches Reflexionsverhalten aufweisen, sind Bemusterungen oft hilfreich (vgl. Abbildung 34).

4.1.3.2 Sonnen- und Blendschutz

- Die Nutzer sind durch den Blendschutz vor der direkten Wirkung der hohen Leuchtdichten der Fassaden bei Besonnung und hohen Außenleuchtdichten des Himmels sowie ungünstiger Leuchtdichteverteilungen im Raum zu schützen.
- Es wird empfohlen, den Sichtkontakt in Sonnenrichtung komplett zu unterbrechen, insbesondere zur Vermeidung der Blendeinflüsse für ältere Personen.



Abbildung 34:
Spektral unterschiedliches Verhalten verschiedener Gläser mit ähnlicher Lichttransmission, U- und g-Wert.

- Transparente Sonnenschutzbehänge wie lose gewebte textile Gewebe- oder Folienrollos bieten je nach Arbeitsplatzausrichtung keinen ausreichenden Blendschutz. Eine Gesamtlichttransmission der Fassade von beispielsweise nur 1 % setzt die Leuchtdichte der Sonne lediglich auf einen Wert von noch immer ca. $1,5 \cdot 10^7 \text{ cd/m}^2$ herab.
- Diese Leuchtdichte kann nach wie vor im Gesichtsfeld zur Direktblendung oder auf Monitoren zu Reflexblendung führen. In blendungsunkritischeren Bereichen, wie z. B. Foyers, können derartige Systeme aber einen effektiven Sonnenschutz bieten. Diese Systeme können durch die insgesamt geringere Lichttransmission den Diffuslichteinfall in Teilen so stark herabsetzen, dass die Räume trotz direkter Besonnung dunkel erscheinen und dann verstärkt Kunstlicht eingeschaltet werden muss (vgl. auch Abbildung 35).
- Generell sollte für die Gewährleistung eines Mindestmaßes an Blendschutz der DGP (vgl. Kapitel 2.4) einen Wert von 0,45 in nicht mehr als 5 % der Arbeitszeit überschreiten. Ein guter Blendschutz minimiert den DGP auf 0,35 oder weniger in mehr als 95 % der Arbeitszeit.
- Zu Vermeidung der Reflexblendung an matt entspiegelten Bildschirmen sollte die Beleuchtungsstärke in Bildschirmenebene (E_{Monitor}) 2.000 lux in 95 % der Nutzungszeit nicht überschreiten.
- Nicht-perforierte Jalousiesysteme halten diese Werte im Allgemeinen im geschlossenen Zustand ein, sofern sie sich komplett schließen lassen. In diesem Fall ist keine detaillierte Berechnung notwendig.
- Für Stoffe, z. B. für Rollos und Markisen, können die Werte eingehalten werden, wenn die in Tabelle 5 angegebenen Transmissionswerte nicht überschritten werden. In diesem Fall ist ebenfalls keine detaillierte Berechnung notwendig. Die Werte halten die Grenzwerte von $DGP < 0.45$ und $E_{\text{Monitor}} < 2.000 \text{ lx}$ für südorientierte Bürotypen in Deutschland ein. Sie wurden für den Standort Frankfurt/Main berechnet.
- Auch bei aktiviertem Sonnenschutz ist eine Sichtverbindung nach außen wünschenswert. Dies kann z. B. bei den am Markt am stärksten verbreiteten Lamellenraffstores über weite Teile des Jahres mit Hilfe einer sogenannten Cut-off-Steuerung oder auch durch den Einsatz speziell profilierter nicht drehbarer Lamellen sichergestellt werden (vgl. Kapitel 3.1.2). Bei konventionellen Lamellenraffstores im Cut-off-Betrieb kann eine stärker – über den Punkt der Abschattung des direkten Sonnenlichts – hinausgehende Drehung der Lamellen von z. B. $+10^\circ$ das Blendverhalten weiter verbessern. Dies reduziert die Tageslichtversorgung der Räume gegenüber einer genauen Cut-off-Steuerung nur geringfügig.
- Unterschiedliche Fassadenorientierungen können lichttechnisch differenzierte Fassadenplanungen erfordern (effektive Besonnung einer Südfassade ca. 33 %, Nordfassade 0 % während üblicher Büroarbeitszeiten).
- Außenliegender Sonnen- und Blendschutz ist innenliegendem aus thermisch-energetischen Gründen vorzuziehen.

Abbildung 35: Zur lichttechnischen Wirkung von Fassadenelementen: Falschfarbendarstellungen der Leuchtdichten mit transparenten Innenansichten einer besonnten Fassade.

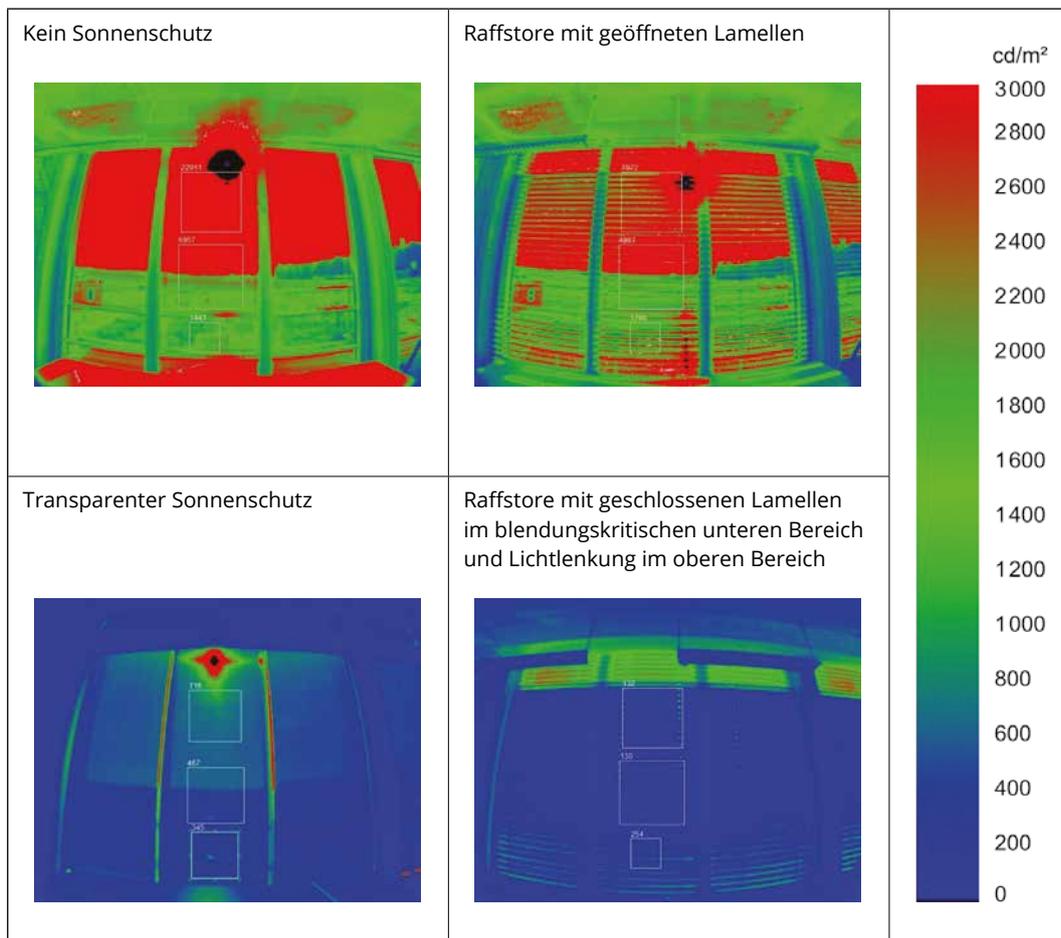
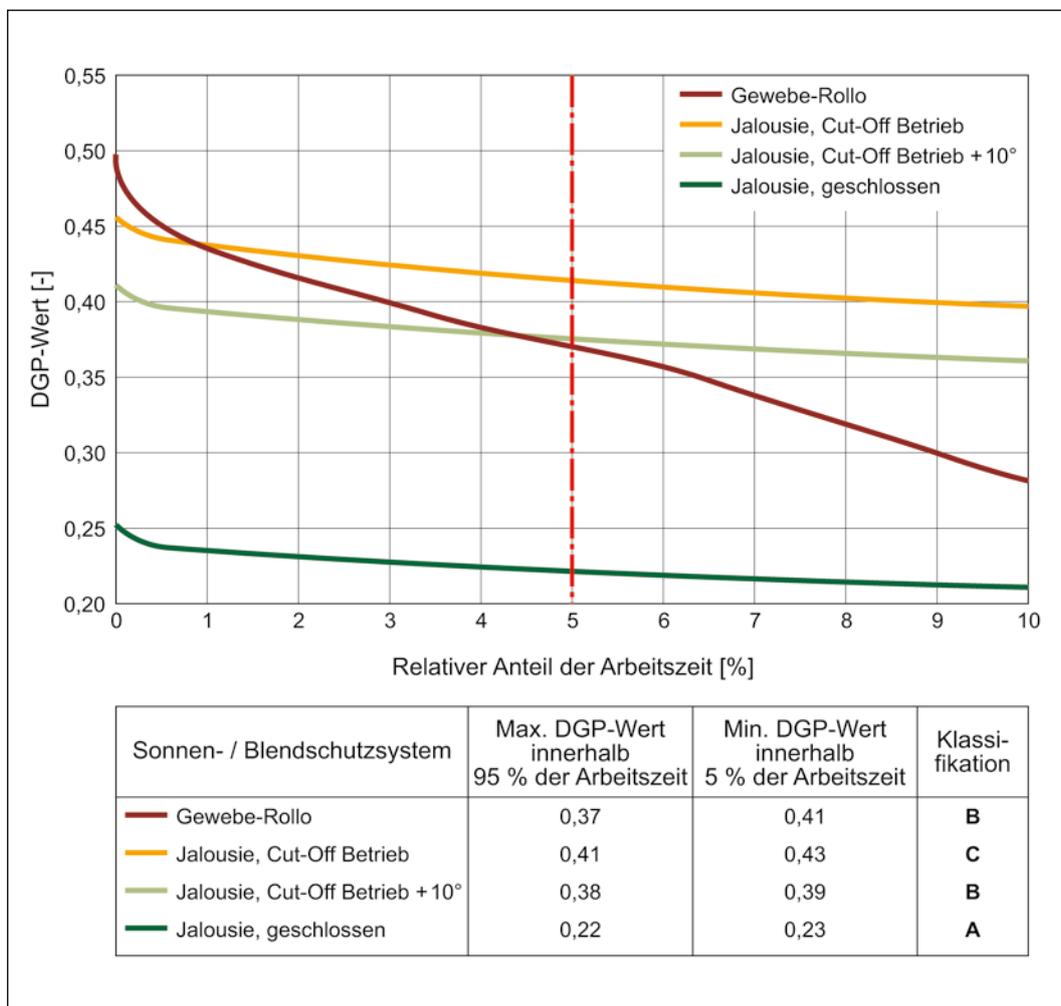


Abbildung 36: Beispielergebnisse einer jährlichen Blendenschutzberechnung von Sonnen- und Blendenschutzsystemen mittels der Daylight Glare Probability (DGP) und Klassifikation am Standort Brüssel. Der berechnete Rollostoff hat eine Gesamtlichttransmission von 0.04 und eine gerichtete Lichttransmission von 0.01. Er wurde im stets geschlossenen Zustand berechnet.



		Lichttransmission τ_{D65} von textilem Blendschutz für unterschiedliche Bürosituationen und gerichtete Lichttransmissionsgrade τ_{Dir}							
Abstand zur Fassade	Glasanteil	Großraumbüro, Büro mit zweiseitiger Belichtung				Einzelbüro			
		$\tau_{Dir} = 0$		$\tau_{Dir} = 0,01$		$\tau_{Dir} = 0$		$\tau_{Dir} = 0,01$	
[m]	[%]	Empfohlen	Ausreichend	Empfohlen	Ausreichend	Empfohlen	Ausreichend	Empfohlen	Ausreichend
1	100	0,05	0,06	-	0,05	0,06	0,08	-	0,06
1	50	0,08	0,12	-	0,08	0,10	0,14	-	0,10
2	100	0,06	0,10	-	0,06	0,10	0,14	-	0,08
2	50	0,12	0,18	-	0,12	0,18	0,20	-	0,16
3	100	0,08	0,12	-	0,08	0,16	0,16	-	0,12
3	50	0,16	0,20	-	0,18	0,20	0,20	-	0,20

Tabelle 5: Vereinfachte Bestimmung der Stofftransmission (τ_{D65}) zur Einhaltung der Blendeschutzkriterien bei textilem Sonnenschutz.

Für die gerichtete Transmission $\tau_{dir} > 0,02$ können für den Standort Frankfurt/Main und die Südausrichtung die Grenzwerte nicht eingehalten werden. Werte in Rot stellen die maximal zulässigen Transmissionswerte dar für die Einhaltung des $DGB = 0,45 / E_{Monitor} = 2.000 \text{ lx}$ Limits. Die grünen Werte sind empfohlene Werte, um einen guten Blendschutz zu erhalten. Diese halten einen DGP-Wert von 0,35 und $E_{Monitor} = 1.500 \text{ lx}$ ein. Die Einhaltung der grünen Werte führt zu gutem jährlichen Blendeschutzverhalten, die roten Werte sollten nicht überschritten werden. Die Berechnungen wurden in Kombination mit einer Wärmeschutzverglasung mit 78 % Lichttransmission berechnet. Wird eine Verglasung mit davon abweichendem Transmissionsgrad eingesetzt, kann der zulässige Transmissionsgrad für den Stoff entsprechend skaliert werden.

4.1.3.3 Tageslichtlenkung

- Generell sollte der Sonnen- und/oder Blendschutz gleichzeitig eine Versorgung des Raumes mit natürlichem Licht ermöglichen. Zur Vermeidung zu hoher thermi-

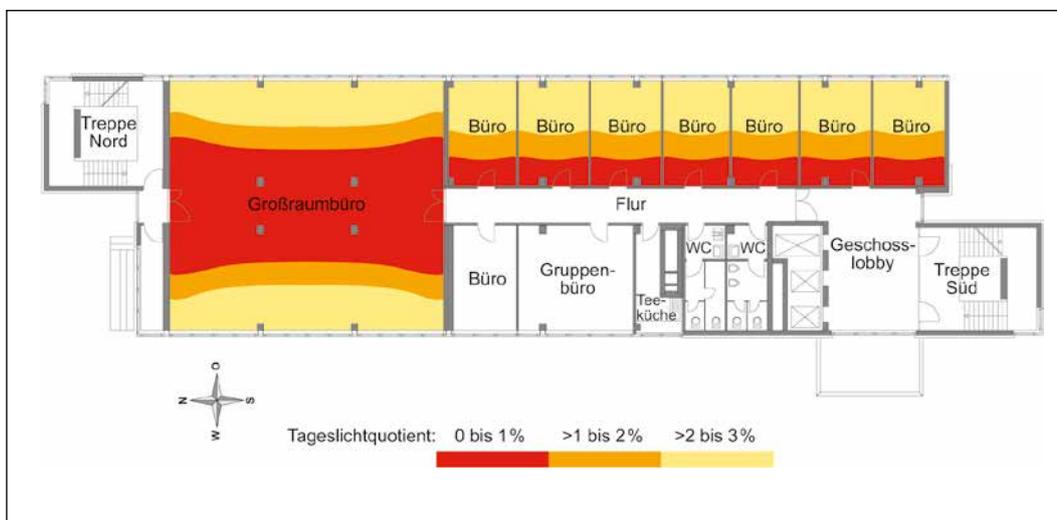


Abbildung 37: Einfluss der Raumaufteilung auf die natürlichen Beleuchtungsverhältnisse.

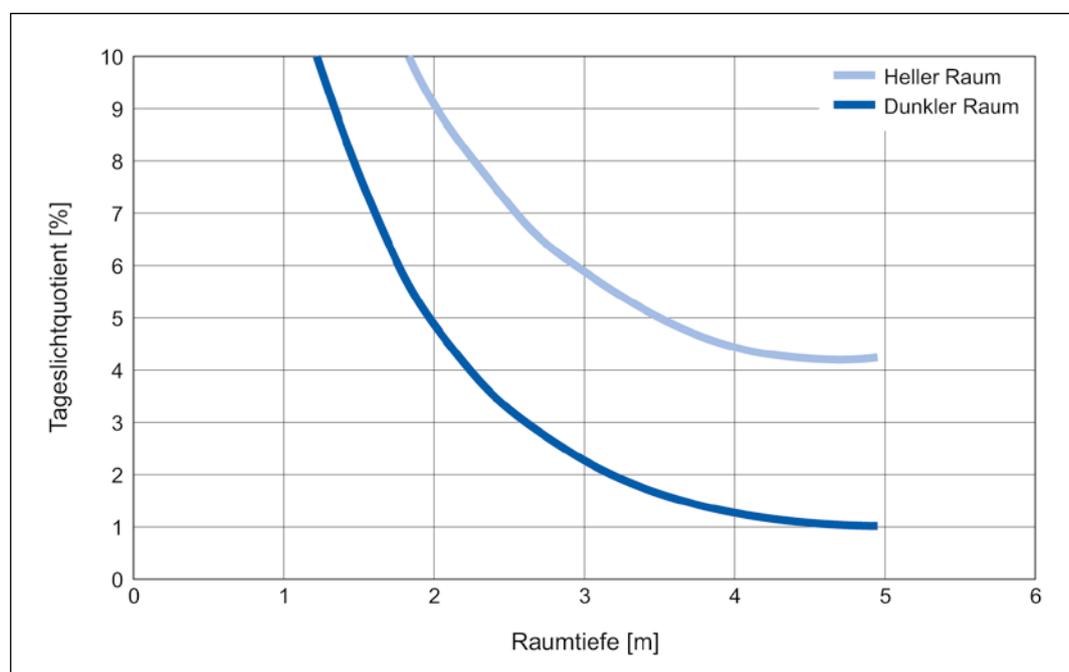
scher Belastungen sollte dies abgestimmt erfolgen, indem beispielsweise das obere Viertel des Sonnenschutzes oberhalb Augenhöhe direktes Sonnenlicht über die Decke – blendungsunkritisch – in tiefere Raumbereiche lenkt.

- Maßnahmen zur Diffuslichtlenkung in der Fassade sind im Allgemeinen aufgrund der geringen Strahldichten und Intensitäten wirkungslos.
- Lichtlenkung bringt bei üblichen Anwendungen nur bei ost- über süd- bis westorientierten Fassaden eine merkliche Verbesserung.
- Gegenüber einer konventionellen, unverbauten Südfassade kann durch Lichtlenkung die jährliche relative Nutzbelichtung von ca. 50 bis 70 % auf etwa 80 % angehoben werden (vgl. auch Abbildung 9).

4.1.4 Raumeinflüsse

- Abbildung 37 zeigt exemplarisch, dass bei schlanken Grundrissen (Einzelbüros) die dort arbeitenden Mitarbeiter von einer guten natürlichen Belichtung und Sichtverbindung nach außen profitieren können. Bei kompakten Grundrissen (Großraumbüros) sind es erheblich weniger Personen. Während in dem dargestellten Beispiel im Großraumbüro 48 % der Fläche einen Tageslichtquotienten kleiner 1 % aufweisen, sind es im den Einzelbüro lediglich 20 %.
- Helle Raumbooberflächen verbessern vor allem in fassadenferneren Bereichen die relativen Beleuchtungsverhältnisse (Tageslichtquotienten) erheblich: Die Grafik in Bild 38 weist dazu den Faktor 2 für den hinteren Raumbereich zwischen hellen und dunklen Raumumschließungsflächen aus.
- Bei der Orientierung der Arbeitsplätze zur Fassade sollte beachtet werden, dass Rechtshänder den Tageslichteintrag von links, Linkshänder von rechts erhalten. Bildschirme sollten so positioniert sein, dass die Blickachse auf den Schirm parallel zum Fenster liegt.
- Die Fassadengestaltung hat darüber hinaus einen erheblichen Einfluss auf die Raumwahrnehmung. Exemplarisch zeigt Abbildung 39 für Verkaufsräume die in Akzeptanzstudien [21] ermittelten Präferenzen von vertikalen Fassaden und Dachoberlichtausführungen hinsichtlich der Frage »In welchem Raum würden Sie sich am liebsten aufhalten, um einzukaufen und Waren anzuschauen?«

Abbildung 38:
Einfluss der Raumreflexionsgrade auf den Tageslichtquotienten.



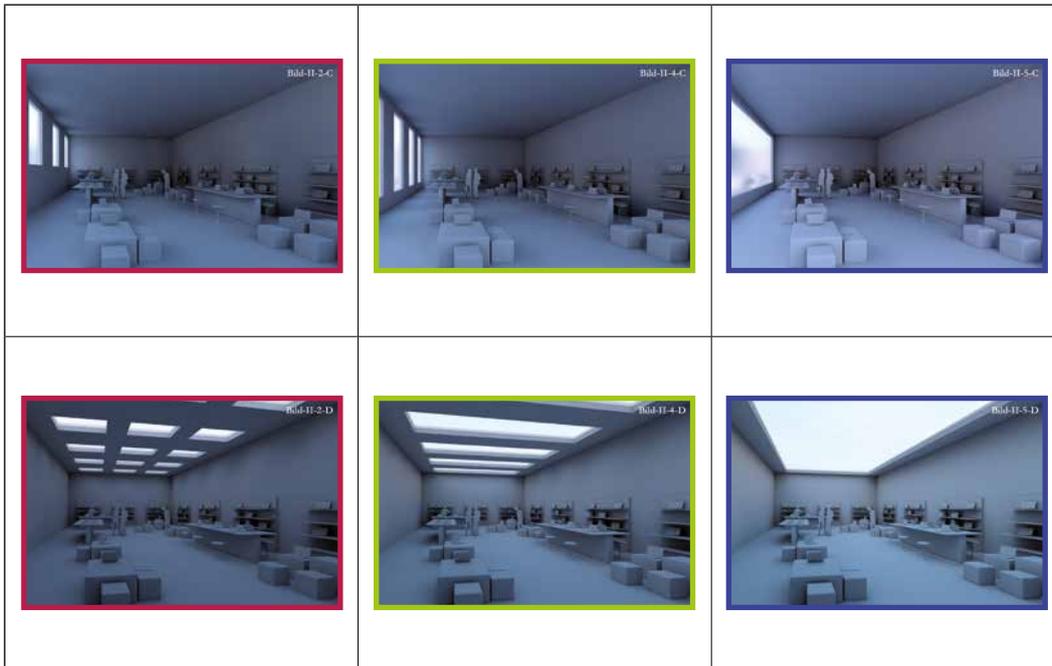


Abbildung 39: Wirkung unterschiedlicher Fassadenausbildungen in Verkaufsräumen auf die Frage: »In welchem Raum würden Sie sich am liebsten aufhalten, um einzukaufen und Waren anzuschauen?«
 Grüner Rahmen: höchste Präferenz;
 roter Rahmen: geringste Präferenz;
 blauer Rahmen: mittlere Präferenz.

4.1.5 Lichtmanagement und Systemintegration

Ziel des Lichtmanagements ist es, den Tageslichteinfall durch die Fassade und die elektrische Beleuchtung zu guten Sehbedingungen, Gesundheit und Wohlbefinden für den Nutzer abzustimmen. Dies sollte bei einem möglichst ressourcenschonenden Betrieb der Anlage erfolgen.

- Vollautomatische, tageslichtabhängige Lichtmanagementsysteme haben eine hohe Akzeptanz, wenn die Nutzer das Lichtmanagement überstimmen können. Studien haben gezeigt, dass Nutzer Lichtmanagementsystemen, die automatisch das Licht dimmen und/oder dann gegebenenfalls abschalten, positiver gegenüberstehen, wenn die Systeme z. B. mit Hilfe eines Tasters oder einer Fernbedienung manuell übersteuert werden können. Eine intuitive Bedienung ist anzustreben. Die Nutzer stellen meist niedrigere Niveaus ein. Die individuelle Kontrolle kann somit zu einer zusätzlichen Energieeinsparung führen. Die persönliche Kontrolle über die Beleuchtung hat zudem eine positive Auswirkung auf die Zufriedenheit, den Komfort und die Leistung. Zustandsänderungen an der Fassade wie geräuscharme Motoren und Schalthysteresen zur Reduktion der Schaltvorgänge oder im Kunstlichtangebot sollten nach Möglichkeit nicht oder nur wenig bemerkbar sein.
- Eine gute Umsetzung tageslichtabhängiger Lichtmanagementsysteme bedarf einer sorgfältigen Planung und Inbetriebnahme. Für das einwandfreie Funktionieren eines Lichtmanagementsystems müssen eine Vielzahl von Parametern während der Planung einbezogen werden.
- Um eine möglichst hohe Nutzerzufriedenheit zu gewährleisten, sind insbesondere die Einhaltung der geforderten Lichtbedingungen und die Nachvollziehbarkeit des Regelverhaltens zu berücksichtigen. Dafür ist der Erfassungsbereich des Sensors wichtig. Veränderungen im Innenraum wie ein neuer Teppich, das Streichen von Raumbegrenzungsflächen, das Verschieben von Möbeln, die Anwendung von Tageslichtlenksystemen oder im Außenraum wie saisonbedingte Veränderungen, beispielsweise Blattverlust im Herbst oder Schnee im Winter, können einen Einfluss auf das Funktionieren eines tageslichtabhängigen Lichtmanagementsystems haben.

Schalthysteresen sind zeitlich verzögerte Schaltvorgänge.

- Eine gut funktionierende tageslichtabhängige Steuerung oder Regelung bemerkt der Nutzer nicht. Die Dimmggeschwindigkeit der künstlichen Beleuchtung sollte dementsprechend voreingestellt sein. Die künstliche Beleuchtung sollte bei vorhandenem Tageslicht verzögert heruntergedimmt oder ausgeschaltet werden.
- Sonnenschutzsysteme wie Behänge können heute differenziert angesteuert werden. So lässt sich z. B. ein konventioneller Behang im »Cut-off-Modus« betreiben, indem ein Sonnenstandsrechner für Betriebszeit, Gebäudelage und Fassadenorientierung jeweils die ideale Lamellenneigung ermittelt. Bei vorhandener Gebäudeleittechnik-Infrastruktur sollten Fassaden, die in jedem Fall mit einem zentralen Windwächter und Frostschutzfunktionen ausgestattet sein sollten, bei Nichtbelegung der Räume – dies setzt Präsenzdetektoren voraus – nach dem thermisch optimalen Zustand betrieben werden.
- Im Winter sollten passive Solargewinne durch Deaktivierung des Sonnenschutzes möglich sein.
- Im Sommer sollte das Überwärmungsrisiko durch bestmögliche Aktivierung des Sonnenschutzes minimiert werden. Bei Rückkehr des/der Nutzer in den Raum sollte die Beleuchtungskontrolle idealerweise über die Anwesenheitserfassung die letzte und damit präferierte Lichtszene wieder einstellen.
- Eine kontinuierlich dimmbare tageslichtabhängige und belegungsabhängige Kontrolle der Beleuchtung in Büros setzt Leuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten und einen entsprechenden Lichtregelkreis oder eine Steuerstrecke voraus. Funktional können die Lösungen als Bestandteil einer Gebäudeleittechnik (GLT) oder als autonome Lösung umgesetzt werden. Autonome Lösungen (vgl. Abbildung 29) lassen sich bereits relativ preisgünstig realisieren, bieten allerdings nicht die zuvor angesprochene logische Verknüpfung mit der Fassadensteuerung.
- Da elektrisches Licht und Fassade unterschiedlichen Gewerken zugeordnet sind, ist auf eine rechtzeitige und sorgfältige Abstimmung in der Planung zu achten. Oft werden für Fassade und Ansteuerung der elektrischen Beleuchtung in den Räumen unterschiedliche Bussysteme eingesetzt, so dass häufig erst eine Systemintegration eine zufriedenstellende integrale Lösung bietet.
- In der DIN V 18599-11 werden verschiedene GLT-Funktionen – hierunter auch das Lichtmanagement – zu Güteklassen zusammengefasst. Die CIE erarbeitet in dem Komitee TC 3-49 Entscheidungskriterien für den Einsatz von Lichtsteuerungen und erstellt in dem Zuge eine systematische Übersicht von Lichtsteuerungskonzepten. Diese sind voraussichtlich 2016 verfügbar.
- Der Standby-Verbrauch der Betriebsgeräte und des Bussystems ist zu beachten. Eine Standbyleistung von 1 W entspricht aufs Jahr betrachtet bereits einem zusätzlichen Energiebedarf von fast 9 kWh.

4.2 Workflows

Ein Teil der Aufgaben in der Tageslichtplanung liegt in der Lösung und Bewertung besonderer baulicher und architektonischer Konzepte. Hier ist oft spezielle planerische Erfahrung erforderlich. Für einige Standardaufgaben haben sich jedoch schematisch übertragbare Herangehensweisen herausgebildet. Dies betrifft Verbauungs- und Besonnungsanalysen, Ermittlung des Tageslichtquotienten, Bestimmung der relativen Nutzbelichtung und Bewertung des visuellen Komforts insbesondere hinsichtlich der Blendung durch Fassaden. Die Abbildungen 40 bis 43 stellen verschiedene Workflows dar.

VORGEHENSWEISE		BEARBEITUNGSSCHRITTE		ERGEBNIS / NUTZEN
Grafisch		Erfassung der Geometrie	Übertrag in Sonnenstands- oder Profiwinkeldiagramm	<ul style="list-style-type: none"> - Besonnungszeiten - Fremd- und Eigenverschattung - Festlegung baulicher Sonnenschutz
Modell		Modellbau	Einbau, künstliche Sonne, Parametrierung, Versuchsfahrt	
CAD		Erstellung geometrisches Modell	Visualisierung	
In-situ Bewertung		Objektbegehung	Einsatz von Horizontoskop, Smartphone-App	

Abbildung 40: Verbauungs- und Besonnungsanalysen: grafische, modellbasierte, CAD-basierte und Vorort-Erfassung.

VORGEHENSWEISE		BEARBEITUNGSSCHRITTE		ERGEBNIS / NUTZEN
Grafisch, Handrechenverfahren		Bestimmung Direktanteil: z. B. Waldram Diagramm, Daylight Protactor, DIN 5034	Bestimmung Indirektanteil: z. B. DIN 5034	<ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtquotient - Bauliche Auslegung Gebäude (-öffnungen) - Überprüfung Mindestanforderungen - Weiternutzung für energetische Analysen
		Vereinfachtes Handrechenverfahren, wie DIN V 18599-4		
Modell		Modellbau	Einbau, künstlicher Himmel, Parametrierung, Versuchsfahrt	
CAD		Erstellung geometrisches Modell	Auswahl Himmelsmodell (CIE bedeckt), Berechnung	
In-situ Bewertung		Auswahl eines vollständig bedeckten Tages	Parallele Messung E im Raum und Außen (unverbaut)	

Abbildung 41: Tageslichtquotienten: grafische, modellbasierte, CAD-basierte und Vorort-Ermittlung.

VORGEHENSWEISE		BEARBEITUNGSSCHRITTE		ERGEBNIS / NUTZEN
Tabellenverfahren		Verfahren: DIN V 18599-4 / EN 15193-1 / ISO 10916		<ul style="list-style-type: none"> - Relative Nutzbelichtung - Analyse und Optimierung Fassadenplanung mit / ohne Sonnenschutz - Weiternutzung für energetische Optimierungen
Simulation		Erstellung numerisches Modell inkl. Fassadenmodell und Kontrollschema (z. B. Radiance)	Stündliche Simulation	

Abbildung 42: Relative Nutzbelichtung: tabellen- und simulationsbasierte Ermittlung.

VORGEHENSWEISE		BEARBEITUNGSSCHRITTE		ERGEBNIS / NUTZEN
Tabellenverfahren		E_v am Auge		<ul style="list-style-type: none"> - Daylight Glare Probability (DGP) - Analyse und Optimierung Sonnen- und Blendschutz
Simulation		Bildgenerierung mittels Lichtsimulation (z. B. Radiance) über Betrachtungszeitraum	Blendungsbewertung der einzelnen Bilder, Statistische Analyse	
Messung		Leuchtdichtebild mit Leuchtdichtekamera (HDR Format)	Blendungsbewertung der einzelnen Bilder, Statistische Analyse	

Abbildung 43: Blendungsbewertung (DGP): tabellen-, simulationsbasierte und messtechnische Ermittlung.

4.3. Anforderungen und technische Regeln

Die Anforderungen zur Tageslichtplanung beschreiben zahlreiche Fachnormen, Regeln und Zertifizierungssysteme (vgl. Kap. 4.4). Abbildung 44 enthält eine Übersicht. Die genauen Referenzen finden sich in Kapitel 6.1.

Mindestanforderungen für die Größe der Fenster in Aufenthaltsräumen sind in den Landesbauordnungen vorgegeben. Demnach beträgt der Anteil der Rohbauöffnung zwischen einem Zehntel und einem Achtel bezogen auf die Netto-Raumgrundfläche. Die Arbeitsstättenrichtlinie (ASR) fordert ein entsprechendes Verhältnis, nämlich ein Zehntel der lichtdurchlässigen Fläche, was ca. ein Achtel der Rohbauöffnung entspricht. Alternativ hierzu soll am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung des Fensters ein Tageslichtquotient von 2 % erreicht werden. Ergänzend enthält auf normativer Ebene die DIN 5034 die Spezifikation, dass die Oberkante der Fensterbrüstung bei sitzender Tätigkeit höchstens 0,95 m über dem Fußboden liegen soll. Die Oberkante der durchsichtigen Verglasung des Fensters sollte mindestens 2,2 m über dem Fußboden liegen. Die Breite der transparenten Verglasung des Fensters sollte 55 % der Breite des Arbeitsraumes nicht unterschreiten.

Abbildung 44: Zusammenstellung relevanter Anforderungen, Fachnormen, Regularien und Zertifizierungssysteme. Ergänzend sind zurzeit noch offene Themenfelder angegeben.

	TAGESLICHT	TAGES- UND KUNSTLICHT	TAGESLICHT UND ENERGIE
ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME	DGNB, BNB Steckbriefe „Visueller Komfort“		DGNB, BNB Steckbriefe „Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar“
ANFORDERUNGEN, FACHNORMEN UND REGULARIEN	Bildschirmarbeitsverordnung <i>BildscharbV</i>	Arbeitsstättenverordnung <i>ArbStättV</i>	Energieeinsparverordnung <i>EnEV 2014</i>
	Tageslicht <i>DIN 5034</i>	Technische Regeln für Arbeitsstätten - Beleuchtung <i>ASR A3.4</i>	Energetische Bewertung - Beleuchtung <i>DIN V 18599-4, DIN EN 15193-1, ISO 10916</i>
	Sonnenschutz - Kennwerte <i>DIN EN 13363</i>	Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung <i>VDI 6011</i>	
	Sonnenschutz - Visueller Komfort <i>DIN EN 14500, DIN EN 14501</i>		
	Farbwiedergabe Gläser <i>DIN EN 410</i>	Beleuchtung von Arbeitsstätten <i>DIN EN 12464-1</i>	
	Photobiologisch wirksame Strahlung <i>DIN 5031-100</i>	Biologisch wirksame Beleuchtung <i>DIN SPEC 67600</i>	
OFFENE THEMENFELDER	Farbwiedergabe Gläser und Sonnenschutz	Lichtmanagement	Inbetriebnahme, Betrieb
	Sehen im Alter		

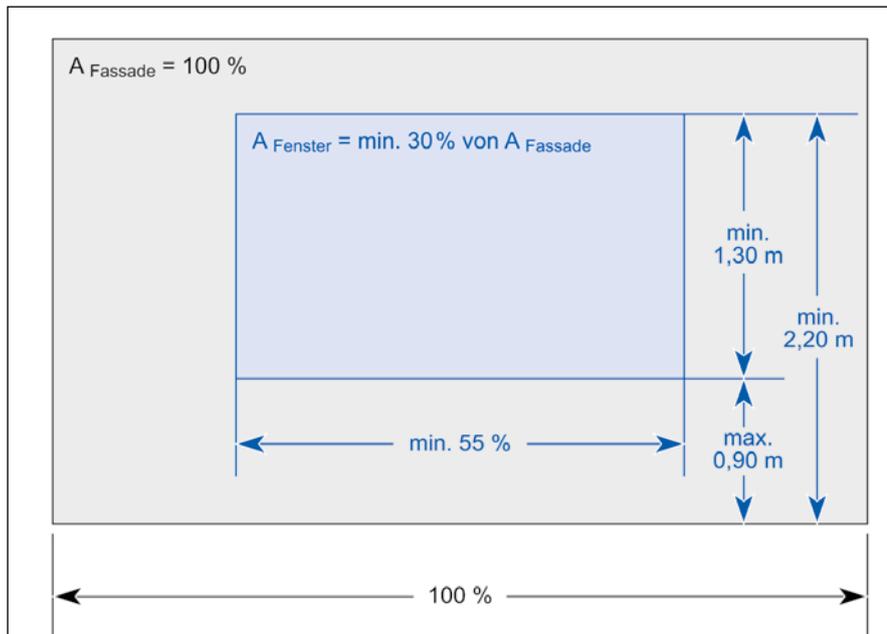


Abbildung 45:
Illustration der Mindestfenstergrößen für Wohnbau oder für Büros bis maximal 60 m^2 .

Abgesehen vom Alternativkriterium des Tageslichtquotienten der ASR wird die Außenverbaumungssituation bei den genannten Anforderungen an die Raumgeometrie bisher nicht berücksichtigt. Die Klassifikation der Qualität des Ausblicks ist zurzeit Bestandteil über die genannten Forderungen hinausgehender Diskussionen in europäischen Normungskreisen.

Zur Bewertung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse werden heute üblicherweise der Tageslichtquotient als »Worst Case-Abschätzung« für bedeckte Tage und die relative Nutzbelichtung, auch als Tageslichtautonomie bezeichnet, herangezogen. Minimalanforderungen des Tageslichtquotienten unter Berücksichtigung des Fensters von $0,9\%$ in halber Raumtiefe sind in DIN 5034 gefasst [5]. Gut belichtete Räume sollten auf 2 bis 3% Tageslichtquotient in der Raummitte ausgelegt werden. Bei Räumen mit Dachoberlichtern wird ein mittlerer Tageslichtquotient von 4 bis 10% empfohlen. 10% sollten aufgrund der möglichen Überwärmungsgefahr nicht überschritten werden. Mit der Verfügbarkeit dynamischer Verschattungssysteme für Dachoberlichter (vgl. Abbildung 23) kann die Überwärmung mittlerweile aber auch bei großen Dachflächen vermieden werden.

Da bis dato nur recht aufwendig zu bestimmen, ziehen Empfehlungen für die relative Nutzbelichtung bzw. Tageslichtautonomie erst langsam in Anforderungssysteme ein. Einige Zertifizierungssysteme machen hier bereits Vorgaben (vgl. Kapitel 4.4).

Zur Blendungsbewertung von Sonnen- und Blendschutzsystemen sind Hinweise in der DIN EN 14501 [10] zu finden. Blendschutzsysteme werden dort in einer vierstufigen Klassifizierung danach differenziert, ob und wieviel direktes Sonnenlicht durchtritt. Weitere dort enthaltene Klassifizierungskriterien sind »Sichtkontakt nach außen«, »Tageslichtnutzung« und »Farbwiedergabeindex«. Die Bildschirmarbeitsverordnung fordert für Bildschirmarbeitsplätze die Ausstattung der Fenster mit geeigneten, verstellbaren Lichtschutzvorrichtungen. Hierbei sollten der Sonnen- und/oder Blendschutz allerdings eine Versorgung des Raumes mit natürlichem Licht ermöglichen.

Eine dem UGR-Verfahren (Unified Glare Rating – vereinheitlichte Blendungsbewertung) aus dem Bereich der künstlichen Beleuchtung entsprechende objektbezogene

Bewertung wird mit dem zuvor in Kapitel 2.4 angesprochenen DGP-Bewertungsverfahren (Daylight Glare Probability) ermöglicht. Dies ist jedoch bisher nicht in einfache Anforderungssysteme eingeflossen und muss zurzeit noch mit Hilfe lichttechnischer Simulationsverfahren objektbezogen ermittelt werden. Intensive Forschungsanstrengungen zu Fragen der biologischen Wirkung von Licht können zukünftig in neue Anforderungen an Beleuchtungssysteme münden. Die DIN SPEC 67600 »Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen« [13] listet in Abhängigkeit der Nutzungsart analog zur DIN EN 12464 [7] Vorschläge zur biologisch wirksamen Beleuchtung auf. Diese Empfehlungen beziehen sich jedoch nur auf das künstliche Licht und setzen sich nicht hinreichend mit dem Tageslichteinfluss auseinander. Beispielsweise kann auf dem Weg ins Büro oder in die Schule oder bei Pausen im Freien eine Lichtdosis aufgenommen worden sein, die zeitlich verzögert bei der jeweiligen Innenraumtätigkeit wirkt. Die Wirkung durch elektrisches Licht ist zukünftig in diesen Zusammenhang zu stellen.

Das Referenzgebäudeverfahren der EnEV stellt keine direkten lichttechnischen Anforderungen an die Fassade, definiert aber tageslichtabhängiges Lichtmanagement in ausgewählten Nutzungen als Referenztechnik. Zu den verschiedenen Nutzungen zählen u. a. Einzel-, Gruppen-, Großraumbüro, Besprechungsraum, Klassenzimmer, Kantine, Bibliothek, Turnhalle, Labor.

4.4 Zertifizierungssysteme

Auf Basis des momentanen Wissensstandes fragen die Steckbriefe »visueller Komfort« der Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme DGNB (Deutsches Gütesiegel für nachhaltiges Bauen) und BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude) im Rahmen der Zertifizierung von Gebäuden einen Katalog an Kriterien ab. BNB verlangt z. B. die Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit im Gesamtgebäude und an ständigen Arbeitsplätzen auf Basis des Tageslichtquotienten und der relativen Nutzbelichtung, den Nachweis der Sichtverbindung nach außen, die Blendfreiheit des Tageslichts, die Blendfreiheit des Kunstlicht, Lichtverteilung und Farbwiedergabe bei Kunstlicht und Sonnenschutz.

Die Systeme nehmen für die Bewertung der Kriterien Bezug auf ausgewählte, im Wesentlichen unter 4.2 diskutierte Fachnormen und Anforderungen. Die Bewertungen gehen allgemein von den zu berücksichtigenden Mindestanforderungen als Standard aus. Ein besseres Abschneiden wird extra honoriert. Hierbei können bereits in der Gebäudeplanung durchgeführte Arbeiten, z. B. aus dem Bereich der EnEV/DIN V 18599, genutzt werden. Der visuelle Komfort trägt dann mit vorgegebenem Schlüssel zur Gesamtbewertung des Gebäudes bei. Dies sind beim Verfahren nach BNB z. B. 2,41 %. Zugehörige Leitfäden geben Hinweise zu Berechnungsgängen und Anwendungsbeispielen.

Generell wächst die Bedeutung dieser Systeme. Mit Erlass des BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) von 2012 müssen z. B. alle großen Neubau-, Umbau-, Erweiterungsbauvorhaben des Bundes nach BNB zertifiziert werden und das zweithöchste Klassifizierungsniveau »Silber« erreichen.

Diese abgeforderten Punkte können von den zuständigen Architekten, Haustechnikern oder Elektroplanern zumeist problemlos geliefert werden. Die Beauftragung

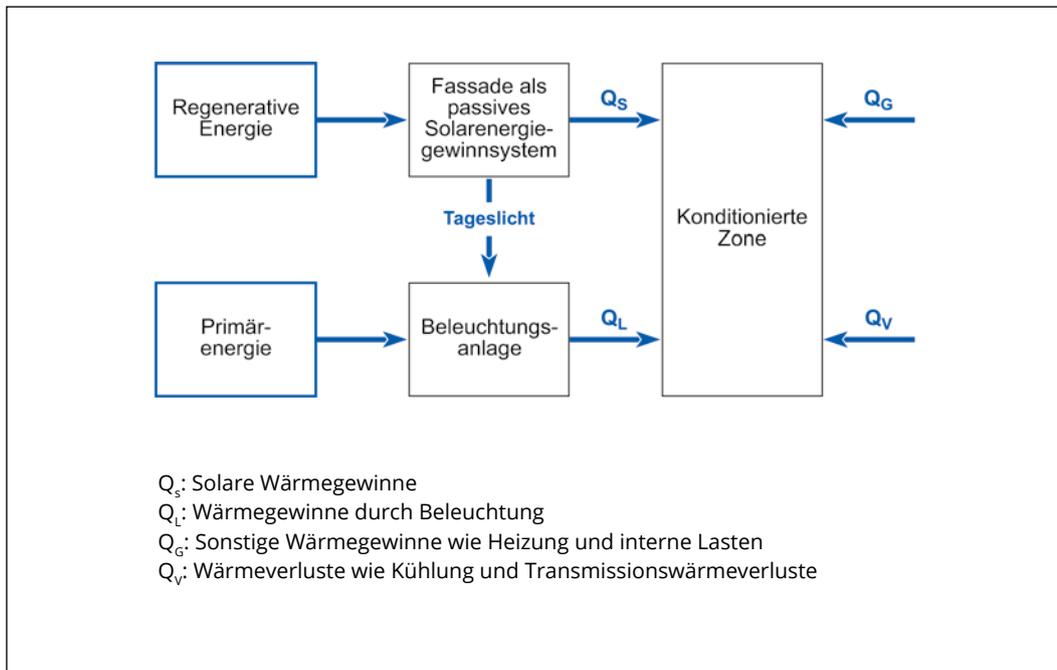


Abbildung 46: Fassade als passives Solarenergiegewinnsystem im Bilanzraum-Gebäude.

sollte allerdings vorab mit den Vorgaben des Steckbriefes abgestimmt werden. Eine entsprechende Dokumentationspflicht ist im Vorfeld zu vereinbaren.

4.5 Zusammenwirken mit dem Gesamtenergiehaushalt des Gebäudes

Die Fassade als passives Solarenergiegewinnsystem im Bilanzraum eines Gebäudes ist in Abbildung 46 veranschaulicht. Mit der Solarstrahlung tritt zugleich Tageslicht, das zur Substitution von Kunstlicht genutzt werden kann, in das Gebäude ein. Zwar tragen die internen Wärmegewinne durch das Beleuchtungssystem im Winter zur Herabsetzung des Heizwärmebedarfs bei, jedoch ist diese primärenergetisch ungünstig gegenüber normaler Heizwärmebereitstellung zu bewerten. Im Sommer steigert sie die Überwärmungsgefahr und erhöht unter Umständen den Kühlenergiebedarf; eine lichttechnisch schlechte Fassadenplanung und eine damit einhergehende mangelnde natürliche Raumausleuchtung können sich somit gesamtenergetisch zweifach negativ auswirken.

4.6 Planungswerkzeuge

Für wissenschaftliche Untersuchungen und die spezialisierte Fachplanung steht das Radiance-Programmsystem inklusive hierauf basierender Erweiterungen zur Verfügung. Einfache tageslichttechnische Fragestellungen lassen sich mittlerweile auch mit eigentlichen Kunstlichtplanungsprogrammen wie DIALux, Relux, AGI32 bearbeiten, deren Funktionserweiterung in den Bereich Tageslicht und Energie forciert wird. Tabelle 6 bietet eine Kurzcharakterisierung von Lichtplanungsprogrammen. Neben diesen Werkzeugen sind in zahlreichen Programmen zur gesamtenergetischen Gebäudebewertung mittlerweile einfache Tageslichtbewertungen integriert.

Tabelle 6:
Kurzcharakterisierung verschiedener Programme zur Tageslichtplanung.

Planungswelten/ Umgebungen		Kriterium											
		Hauptanwendung			Sonnenstand/ Verschattungsstudien	Komplexe Geometrien	Komplexe Fassaden	CIE/DIN Himmelsmodelle, Tageslichtquotientenberechnung	Relative Nutzbelichtung (Klimabasierte Bewertung)	18599-4/EnEV	Blendungsbewertung	Handhabungs-/Einarbeitungsaufwand	Kostenpflichtig
		Lehre/Ausbildung	Standardplanung	Fachplanung/Wissenschaft									
Radiance	Original			X		X	X	X			X	Hoch	N
	In Ecotect			X	X	X		X				Mittel	J
	In Diva			X	X	X		X	X		X	Mittel	J
	In Relux			X	X	X	X	X				Mittel	N
DIALux Evo			X			X	X	X		X		Einfach	N
Relux oder Radiance			X		X	X		X		X		Einfach	N
DIAL Europe		X										Einfach	J
AGI32			X		X	X		X				Einfach	J

4.7 Anmerkungen zum Gesamtplanungsprozess

Wirtschaftlich ist das Thema Tageslicht heterogen zwischen Fassaden- und Sonnenschutzherstellern, der Beleuchtungsindustrie und Unternehmen aus dem Bereich des Gebäudemanagements aufgeteilt. Ein einheitliches Gewerk »Tageslicht« fehlt. Nur selten werden gesamtheitlich Tages- und Kunstlichtfragen vertretende Lichtplaner in Projekte eingebunden. Investorensseitig sollte ein Planungsbudget für Tageslicht vorgesehen werden. Hierbei sind Tageslichtsimulation und Planung vergaberrechtliche Besonderheiten und müssen gemäß HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) separat beauftragt werden.

5 Beispiel

Das dargestellte Beispiel legt ein übliches Einzelraumbüro mit einer Breite von 3,6 m, einer Tiefe von 4,8 m und einer Höhe von 3 m zugrunde. Gezeigt wird die Auswirkung der Variation der Verbauung, der Rohbauöffnung, der Fassadentechnik, der installierten Leistung des Beleuchtungssystems und des Lichtmanagements auf Blendung (basierend auf der Daylight Glare Probability) und Energiebedarf (basierend auf dem Verfahren nach DIN V 18599-4). Hierbei illustriert Abbildung 47 einen Ausschnitt der in Tabelle 7 gezeigten Parametervariation.

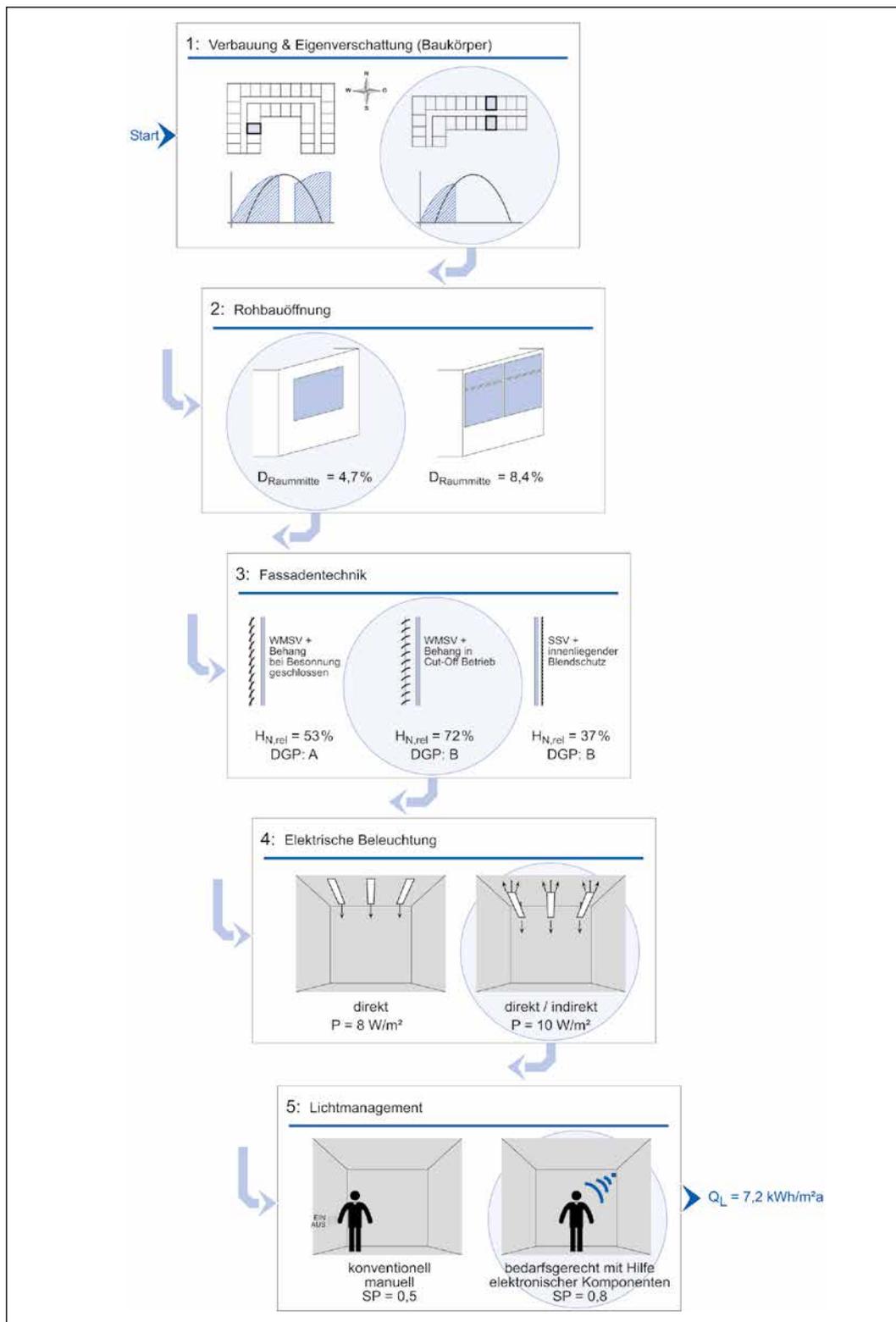


Abbildung 47: Beispielhafte Bewertung einer Büroraumsituation.

Tabelle 7:
Variantenübersicht: Die in
Abbildung
47 dargestellte
Parametrierung ist
hervorgehoben.

Nr. (Variante)	Bauliche Situation			Fassadentechnik				Licht- manage- ment	Energie- bedarf			
	Verbau- ung	Fenster- flächen- anteil	D _{RB}	Ausführung	H _{N,rel}	DGP		SP	Q _L			
	[-]	%	%	[-]	[%]	Max, 95% [-]	Klasse	[-]	[kWh/ m ² a]			
1	schwach	40	4,7	WMSV + Behang geschlossen	53	0,22	A	0,52	11,9			
2								0,78	9,6			
3				WMSV + Behang Cut-Off	72	0,53	B	0,52	10,2			
4								0,78	7,2			
5				SSV + innenliegen- der Blendschutz	37	0,41	B	0,52	13,2			
6								0,78	11,7			
7				100	8,4		WMSV + Behang geschlossen	62	0,22	A	0,57	10,6
8											0,81	8,2
9	WMSV + Behang Cut-Off	83	0,53				B	0,57	8,6			
10								0,81	5,4			
11	SSV + innenliegen- der Blendschutz	48	0,41				B	0,57	11,9			
12								0,81	10,0			
13	stark	40	2,5	WMSV + Behang geschlossen	40	0,22	A	0,47	13,3			
14								0,74	11,5			
15				WMSV + Behang Cut-Off	52	0,53	B	0,47	12,4			
16								0,74	10,1			
17				SSV + innenliegen- der Blendschutz	28	0,41	B	0,47	14,2			
18								0,74	13,0			
19		100	5,4		WMSV + Behang geschlossen	55	0,22	A	0,57	11,2		
20									0,81	9,1		
21					WMSV + Behang Cut-Off	76	0,53	B	0,57	9,3		
22									0,81	6,3		
23	SSV + innenliegen- der Blendschutz				39	0,41	B	0,57	12,7			
24								0,81	11,2			

6 Weiterführende Informationen

6.1 Anforderungen, Normen, weiterführende Schriften

Die vollständigen Referenzen der in Abbildung 44 angegebenen Anforderungen und Normen und ausgewählter weiterführender Schriften sind:

- [1] BildscharbV: Bildschirmarbeitsverordnung: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten. Bundesgesetzblatt, Teil 1 (1996), S. 1841.
- [2] BNB, Zertifizierungssystem, Steckbrief »visueller Komfort«. Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- [3] DIN EN 15193: Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung, Beuth Verlag, Berlin (2007).
- [4] DGNB, Zertifizierungssystem, Steckbrief »visueller Komfort«. Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Stuttgart.
- [5] DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen, Berechnung. Beuth Verlag, Berlin (2011).
- [6] DIN 6169-2: Farbwiedergabe; Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik. Beuth Verlag, Berlin (1976).
- [7] DIN EN 12464-1: Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth Verlag, Berlin (2003).
- [8] DIN EN 13363: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [9] DIN EN 14500: Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Prüf- und Berechnungsverfahren. Beuth Verlag, Berlin (2008).
- [10] DIN EN 14501: Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung. Beuth Verlag, Berlin (2006).
- [11] DIN EN 410: Glas im Bauwesen – Bestimmung des Lichttransmissionsgrades, direkter Sonnenenergietransmissionsgrad, Gesamtenergiedurchlassgrad, UV-Transmissionsgrad und damit zusammenhängende Glasdaten. Beuth Verlag, Berlin (1991).
- [12] 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, (2011).
- [13] DIN SPEC 67600: Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen. Beuth Verlag, Berlin (2013).

- [14] 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).
- [15] EnEV 2014: Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV), (2014).
- [16] Fontoynt, M. R.: Long Term Assessment of Costs Associated with Lighting and Daylighting Techniques. Light & Engineering, Vol. 16, Number 1 , pp.19-32, (2008).
- [17] ISO 10916: Calculation of the Impact of Daylight Utilization on the Net and Final Energy Demand for Lighting. British Standards Institution, London (2014).
- [18] Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4. Beleuchtung. Ausgabe: April 2011.
- [19] Spatial Distribution of Daylight – CIE Standard General Sky, Joint ISO/CIE Standard, CIE TC 3-15, CIE Central Bureau, Vienna (2003).
- [20] VDI 6011: Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung. VDI, Düsseldorf (2011).
- [21] Sachdev, S.: Shifting Daylight Patterns: Tageslicht im Verkaufsraum, BioWi, 2. Praxisforum Biologische Lichtwirkungen, Weimar (2014).

6.2 Planungshilfsmittel

Sonnenstände/Verschattungen

- <http://www.jaloxa.eu/resources/daylighting/sunpath.shtml>
- http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_sonnenstand

Fassadenauslegung, vereinfacht

- <http://www.d-lite.org/>
- <http://dalec.zumtobel.com/>
- <http://www.fassadentool.eu/fassadenauslegung/index.html>

Tageslichtberechnung

- <http://radsite.lbl.gov/radiance/>
- <http://diva4rhino.com/>
- <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=15073595>
- <http://www.dial.de>
- <http://www.relux.biz/>
- <http://www.agi32.com/>
- <http://www.estia.ch/index.php?id=98>
- <http://lightsolve.epfl.ch/>

Tageslicht Design Guides

- <http://patternguide.advancedbuildings.net/patterns>
- <http://www.d-lite.org/>

6.3 Forschungseinrichtungen

Fachgebiet Lichttechnik der TU Berlin

- <http://www.li.tu-berlin.de>

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

- <http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/waermetechnik/lichttechnik.html>

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

- <http://www.ise.fraunhofer.de/>

6.4 Messeinrichtungen

Einrichtung	Künstlicher Himmel	Künstliche Sonne	Tageslichttestzellen (1:1)	Gonio-photometer Fassaden	Weitere Glas- und Verschattungssystemparameter (Spektraldaten, g-Werte, ...)
Bartenbach Lichtlabor	X	X			X
Fraunhofer-Insitut für Bauphysik (FhG-IBP)	X	X	X	X	X
Fraunhofer-Insitut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE)			X	X	X
TU Berlin	X	X	X	X	X

7 Quellen und Abbildungsnachweise

- Abb. 1 Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), eine Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG), www.ibp.fraunhofer.de (FhG-IBP)
- Abb. 2 FhG-IBP, auf Grafik-Grundlage aus Horst Lange, Handbuch für Beleuchtung (ecommed SICHERHEIT)
- Abb. 3 FhG-IBP
- Abb. 4 FhG-IBP
- Abb. 5 FhG-IBP
- Abb. 6 FhG-IBP
- Abb. 7 FhG-IBP
- Abb. 8 FhG-IBP
- Abb. 9 FhG-IBP auf Grundlage Fontoynt [16]
- Abb. 10 FhG-IBP
- Abb. 11 <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/sky-conditions-precipitation>
- Abb. 12 FhG-IBP
- Abb. 13 FhG-IBP
- Abb. 14 FhG-IBP
- Abb. 15 École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Dr.-Ing. Jan Wienold
- Abb. 16 EPFL, Dr.-Ing. Jan Wienold
- Abb. 17 FhG-IBP
- Abb. 18 FhG-IBP auf der Datengrundlage des Fachgebietes Lichttechnik der TU Berlin, www.li.tu-berlin.de
- Abb. 19 FhG-IBP
- Abb. 20 FhG-IBP
- Abb. 21 FhG-IBP auf der Datengrundlage des Fachgebietes Lichttechnik der TU Berlin, www.li.tu-berlin.de
- Abb. 22 FhG-IBP auf der Datengrundlage des Fachgebietes Lichttechnik der TU Berlin, www.li.tu-berlin.de
- Abb. 23 Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V. (FVLR), www.fvlr.de;
Deutsche Everlite GmbH, www.everlite.de;
Siteco Beleuchtungstechnik GmbH, www.siteco.de;
Indu-Light Produktion & Vertrieb GmbH, www.indu-light.de;
Warema Renkhoff SE, www.warema.de
- Abb. 24 Archigraphie BFK Architekten, © SCHAUWERK Sindelfingen, www.schauwerk-sindelfingen.de/de/museum/architektur;
Transsolar Energietechnik GmbH, www.transsolar.com/de;
M.A., B. Arch. Saurabh Sachdev, Universität Stuttgart;
Prof. Dipl.-Ing. Mathias Wambsganß, Fachhochschule Rosenheim
- Abb. 25 Dr. Helmut Köster, Dipl.-Ing. Arch., Köster Lichtplanung, www.koester-lichtplanung.de;
Dipl.-Ing. Arch. Roman Alexander Jakobiak, daylighting.de, www.daylighting.de;
Dipl.-Ing. Frank Buchsbaum, Lamilux Heinrich Strunz GmbH, www.lamilux.de
- Abb. 26 FhG-IBP
- Abb. 27 FhG-IBP
- Abb. 28 FhG-IBP

- Abb. 29 Zumtobel Group AG, www.zumtobelgroup.com;
Philips Lighting B.V., www.lighting.philips.com;
Osram GmbH, www.osram.de;
Frank Ockert/Nimbus Group GmbH, www.nimbus-lighting.com
- Abb. 30 FhG-IBP
- Abb. 31 FhG-IBP
- Abb. 32 FhG-IBP
- Abb. 33 Compagnie de Saint-Gobain, Zweigniederlassung Deutschland,
www.saint-gobain.de
- Abb. 34 FhG-IBP
- Abb. 35 FhG-IBP
- Abb. 36 EPFL, Dr.-Ing. Jan Wienold
- Abb. 37 FhG-IBP
- Abb. 38 FhG-IBP
- Abb. 39 M.A., B. Arch. Saurabh Sachdev, Universität Stuttgart
- Abb. 40 FhG-IBP
- Abb. 41 FhG-IBP
- Abb. 42 FhG-IBP
- Abb. 43 FhG-IBP
- Abb. 44 FhG-IBP
- Abb. 45 FhG-IBP
- Abb. 46 FhG-IBP
- Abb. 47 FhG-IBP

Die **Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG)** mit über 100-jähriger Tradition versteht sich als dynamisches Netzwerk und Wissensplattform für alle Licht-Interessierten. Sie gliedert sich in 16 Bezirksvertretungen mit rund 2300 Mitgliedern. Sie wird geleitet durch einen Vorstand und einen Vorstandsrat. Fachliche Belange behandelt der Technisch-Wissenschaftliche Ausschuss (TWA).

Die **LiTG** verbindet Wissenschaftler aus Forschung und Lehre, Ingenieure und Techniker aus Entwicklung, Fertigung, Projektierung und Vertrieb, Mitarbeiter aus Bundes- und Landesministerien sowie Kommunalverwaltungen, Architekten, Innenarchitekten, Lichtplaner, Elektrofachplaner, Handwerker, Produktdesigner, Mediziner, Künstler und Studierende. Zu ihren korporativen Mitgliedern zählen wissenschaftliche Institutionen, Fachverbände und Organisationen, Unternehmen aus allen Bereichen der Lichtindustrie, Stadtverwaltungen, Energieversorger, Architektur-, Ingenieur- und Lichtplanungsbüros.

Die **LiTG** fördert die Lichttechnik in Theorie und Praxis auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Sie engagiert sich sowohl in der fachlichen Aus- und Weiterbildung als auch in der Forschung. Sie bietet ein lokal orientiertes, breitgefächertes Programm aus Schulungen, Vorträgen, Diskussionen, Exkursionen und Besichtigungen, das über innovative lichttechnische Anwendungen, Entwicklungen, Produkte,

Dienstleistungen und Forschungsvorhaben informiert und über gültige lichttechnische Vorschriften, Normen und Gesetze aufklärt.

Die **LiTG** beteiligt sich an der Erarbeitung nationaler und internationaler Normen und Vorschriften und kooperiert dazu mit nationalen und internationalen Fachorganisationen (z. B. DIN, CEN, ISO, CIE) sowie den lichttechnischen Gesellschaften aus aller Welt. Sie veranstaltet wissenschaftliche Fachtagungen zu aktuellen Themen auf nationaler und internationaler Ebene.

Die **LiTG** erstellt und verbreitet Arbeits- und Forschungsergebnisse mit neuesten lichttechnischen Erkenntnissen in Form allgemein verständlicher technisch-wissenschaftlicher Publikationen zu folgenden Schwerpunkten:

- **Außenbeleuchtung**
- **Melanopische Lichtwirkungen**
- **Betriebsgeräte und Steuerungen**
- **Fahrzeugbeleuchtung**
- **Farbe**
- **Innenbeleuchtung**
- **Lichtarchitektur**
- **Lichtquellen und Leuchten**
- **Messen und Bewerten**
- **Physiologie und Wahrnehmung**
- **Tageslicht**

LiTG-Publikationen sind frei von kommerziellen Zielen.



Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.

Burggrafenstraße 6
10787 Berlin
Telefon +49 30 / 26 36 95 24
Telefax +49 30 / 26 55 78 73
E-Mail info@litg.de

www.litg.de