

Lichtkuppeln und Lichtbänder



Inhalt

Vorwort	2
Tageslicht	2
Tageslichtquotient D	3
Erfahrungstatsachen	3
Gleichmäßigkeit	4
Transmission und Reflexion	5
Versprossung	6
Verschmutzung	6
Schachteinfluß	7
Einfluß der Raumproportionen	8
Berechnung der notwendigen Lichtfläche	10
Oberlichter im Vergleich	10
Übersicht über die verwendeten Formelzeichen	11
Der FVLR stellt sich vor	12

Tageslichtberechnung im Detail



Vorwort

Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei Räumen mit großer Bautiefe die Tageslichtversorgung mit Dachober-

lichtern einer Lösung mit seitlich angeordneten Fenstern klar überlegen ist.

Professor Dr. - Ing. Klaus Stolzenberg, Institut für Lichttechnik der Technischen Universität Berlin

Zur Zeit sind jedoch noch keine lichttechnischen oder physiologisch-optischen Anforderungen an die Größe von Dachoberlichtern und ihre Verteilung bekannt. Der im Februar 1994 vom Normenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. veröffentlichte Entwurf der DIN 5034 Teil 6 soll hier Abhilfe schaffen. Unter dem Titel „Tageslicht in Innenräumen; vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen“ ermöglicht die Norm eine schnelle, überschlägige Dimensionierung der lichtdurchlässigen Teilfläche des Daches. Die zahlreichen, die Dimensionierung der Oberlichter beeinflussenden Parameter wurden dabei weitgehend durch repräsentative Erfahrungswerte ersetzt.

Die vorliegende Broschüre erläutert die wichtigsten Rechengrößen und stellt sie am Schluß zu einer einfachen Formel zusammen, auf deren Basis eine überschlägige, aber für die Praxis meist ausreichende Beurteilung von Oberlichtformen und die Festlegung der Dachkonstruktionen erfolgen kann.



Tageslicht

Die physiologische und psychologische Bedeutung des Tageslichts ist unbestritten. Diese Tatsache spiegelt sich auch in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/1 wider, die von jedem Arbeitsplatz eine Sichtverbindung nach außen fordert.

■ Der Vorschrift genügt allerdings bereits jeder Arbeitsplatz, von dem aus man durch ein – nach bestimmten Kriterien wie stehender bzw. sitzender Tätigkeit oder Raumtiefe bemessenes und angeordnetes – Fenster sehen kann, unabhängig von der Menge des an diesem Arbeitsplatz verfügbaren Tageslichts. Eine ausreichende Tageslichtversorgung mit Seitenfenstern kann nur in Gebäuden mit geringer Raumtiefe realisiert werden; bei großflächigen Gebäuden bietet sich dagegen die Anordnung von Oberlichtelementen an.

Mehr Licht von oben

Weil Lichtkuppeln und Lichtbänder das wesentlich hellere Zenitlicht nutzen, ist die Beleuchtungsstärke bei Dachlichtöffnungen mehr als fünfmal so groß wie bei seitlichem Lichteinfall durch eine gleich große Fläche. Dachlichtöffnungen bieten zudem bei gut geplanter Verteilung die Gewähr für eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke und eine ausgeglichene Leuchtdichteverteilung im Raum; es stellt sich eine angenehme Helligkeit ohne störende Kontraste ein. Um auch bei klarem Himmel negative Blenderscheinungen und scharfe Hell-Dunkel-Grenzen zu vermeiden, können lichtstreuende Elemente eingesetzt werden.

Im Gegensatz zu Kunstlicht steht das natürliche Tageslicht kostenlos zur Verfügung, wenn auch nicht ständig und nicht in gleichbleibender Qualität. Die Tageslichtversorgung kann daher künstliche Beleuchtungsanlagen zwar nicht völlig ersetzen; es ist jedoch davon auszugehen, daß Arbeitsstätten in Industrie

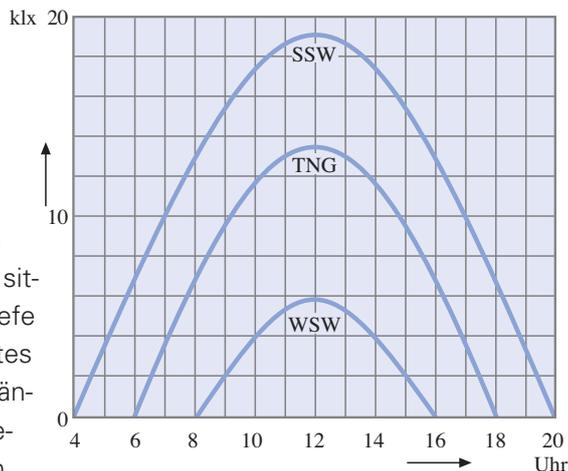


Abb. 1: Horizontale Beleuchtungsstärke im Tagesverlauf zu unterschiedlichen Jahreszeiten bei bedecktem Himmel (SSW = Sommersonnenwende, TNG = Tag-Nacht-Gleiche, WSW = Wintersonnenwende)

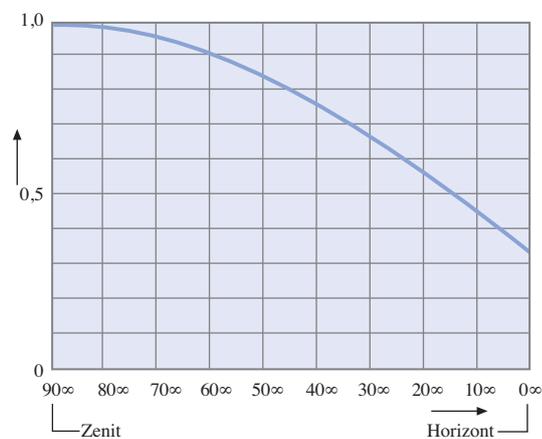


Abb. 2: Leuchtdichteabfall des bedeckten Himmels von Zenit zum Horizont

und Handel einen großen Teil der Arbeitszeit ohne künstliche Beleuchtung auskommen können. Dadurch ergeben sich beträchtliche Energieeinsparungspotentiale. Im Hinblick auf den Umwelt- und Klimaschutz wird dieser Aspekt in Zukunft mehr und mehr an Bedeutung gewinnen.

Tageslichtquotient D

Vereinfachende Annahme:
Der Einfluß einer evtl. vorhandenen
Verbauung wird vernachlässigt
 $D_{OL} = D_H + D_R$

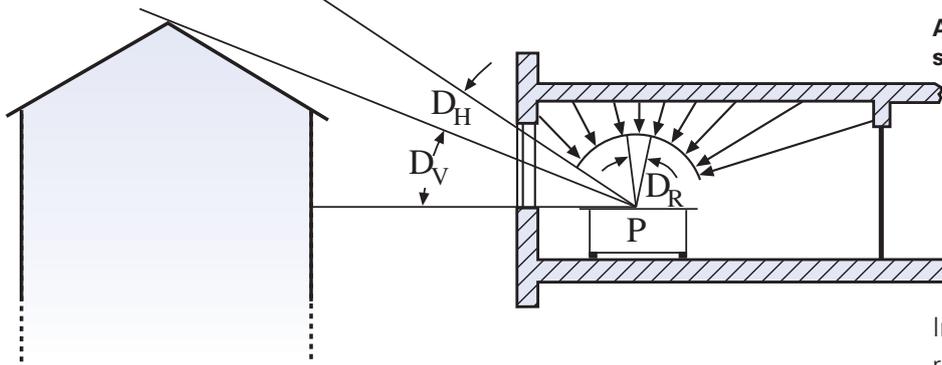


Abb. 3: Der Tageslichtquotient setzt sich aus Himmelslichtanteil, Außenreflexionsanteil und Innenreflexionsanteil zusammen. Beim Einsatz von Dachoberlichtern ist der Außenreflexionsanteil zu vernachlässigen.

Außenreflexionsanteil D_V und dem durch Reflexion an den Innenraumflächen erzeugten Innenreflexionsanteil D_R .

$$D = D_H + D_V + D_R$$

Wegen der meist großen Grundfläche der zu beleuchtenden Räume kann beim Einsatz von Oberlichtern der Einfluß einer eventuell vorhandenen Verbauung vernachlässigt werden. Der Tageslichtquotient D_{OL} in einem durch Oberlichter beleuchteten Raum setzt sich daher nur aus dem Himmelslichtanteil und dem durch Reflexion an den Innenraumflächen erzeugten Innenreflexionsanteil D_R zusammen.

Der Tageslichtquotient D ist das Maß für das Beleuchtungs niveau in einem vom Tageslicht beleuchteten Innenraum an einem Punkt.

■ Er ist definiert als Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p an einem Punkt einer gegebenen Fläche, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichteverteilung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei unverbaute Himmelskugel. In DIN

EN 12464-1 sind für unterschiedliche Raumnutzungen bzw. Tätigkeiten bestimmte Wertwerte der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m aufgeführt. Als rechnerischer Bezugswert für die Beleuchtungsstärke im Freien wurde 5000 Lux festgelegt.

$$D = \frac{\bar{E}_m}{5000 \text{ lx}} \cdot 100 \%$$

Der Tageslichtquotient D setzt sich zusammen aus dem direkt vom Himmel erzeugten Himmelslichtanteil D_H , dem durch Reflexion an benachbarter Verbauung erzeugten

Erfahrungstatsachen

Mittlerer Tageslichtquotient unter 10 %

Empfohlene mittlere Allgemeinbeleuchtung

Ansprüche an die Beleuchtung	Mittlere Beleuchtungsstärke (lx)	Mittlerer Tageslichtquotient D_M (%)
sehr gering	30 bis 50	1
gering	50 bis 100	1 bis 2
mäßig	100 bis 250	2 bis 5
hoch	250 bis 500	5 bis 10
sehr hoch	500 bis 1000	10 bis 20
außergewöhnlich	über 1000	>20

Im allgemeinen soll bei der Beleuchtung mit Dachoberlichtern ein Mittelwert des Tageslichtquotienten in der Nutzebene, d. h. in 0,85 m über dem Boden, von mindestens 4 % und höchstens 10 % angestrebt werden.

■ Wird ein Raum ausschließlich durch Oberlichter mit Tageslicht versorgt, so wirkt er dunkel und bedrückend, wenn der minimale Tageslichtquotient unter 2 % fällt. Demgegenüber besteht bei großen Tageslichtquotienten die Gefahr, daß die thermische Behaglichkeit

Abb. 4: Ansprüche an die Beleuchtung, mittlere Beleuchtungsstärken und mittlere Tageslichtquotienten

durch zu starke Sonneneinstrahlung beeinträchtigt wird. Das Raumklima bleibt erfahrungsgemäß auch im Hochsommer ohne zusätzliche

Sinnvolle Grenzwerte für mittlere Tageslichtquotienten bei Oberlichtern:

$$4\% \leq D_{OL} \leq 10\%$$

künstliche Lüftung oder Kühlung erträglich, wenn der durch Oberlichter bewirkte mittlere Tageslichtquotient unter 10 % liegt.

Gleichmäßigkeit

Ein wichtiges Gütekriterium für die Beleuchtung ist die Gleichmäßigkeit, die sich durch eine ausgeglichene Leuchtdichteverteilung im Raum ergibt.

Die Gleichmäßigkeit hängt wesentlich von den Raumabmessungen, der Größe und der Anzahl der Lichtflächen, ihrem Abstand, dem Reflexionsgrad der Raumbegrenzungsflächen und der Art der Verglasung ab.

Empfehlung für Lichtbänder:

Die Lichtbandbreite sollte nicht größer sein als die halbe Raumhöhe: $b_{OL} \leq h/2$

Blendung vermeiden

Eine ungleichmäßige Leuchtdichteverteilung erzeugt harte Wechsel zwischen Hell- und Dunkelzonen, eine unzureichende Gesamtausleuchtung des Raumes, starke Kontraste und schädliche Blenderscheinungen, die zu frühzeitiger Ermüdung führen können. Eine mangelhafte Gleichmäßigkeit wird bei Beleuchtung von oben besonders stark empfunden. Um auch bei klarem Himmel angenehme Lichtverhältnisse und eine möglichst geringe Blendung zu gewährleisten, sollten beim Einsatz von Oberlichtern – außer bei nach Norden ausgerichteten Shedöffnungen – lichtstreuende Verglasungsmaterialien bevorzugt werden. Das gilt verstärkt für Räume mit niedrigen Tageslichtquotienten, weil dort nur wenige Dachlichtelemente mit größeren Abständen eingesetzt werden. Die Blendefahrer kann ferner durch eine helle Raumgestaltung herabgesetzt werden.

g_1 und g_2

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung wird in der Tageslichttechnik durch die Gleichmäßigkeiten g_1 und g_2 ausgedrückt. g_1 ist das Verhältnis von minimaler zu mittlerer und g_2 das Verhältnis von minimaler zu maximaler Beleuchtungsstärke (bzw. Tageslichtquotient) in der Nutzebene.

$$g_1 = \frac{D_{\min}}{D_m}; \quad g_2 = \frac{D_{\min}}{D_{\max}}$$

In ausschließlich durch Oberlichter mit Tageslicht beleuchteten Räumen sollte die Gleich-

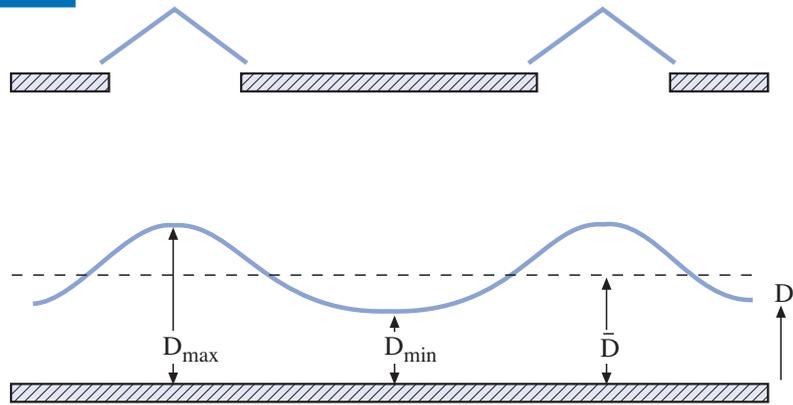


Abb. 5: Die Gleichmäßigkeit wird als Verhältnis von minimaler zu mittlerer Beleuchtungsstärke bzw. als Verhältnis von minimaler zu maximaler Beleuchtungsstärke definiert.

mäßigkeit g_1 den Wert 1:2 nicht unterschreiten. Beim Einsatz von Oberlichtern vor allem in hell gestalteten Räumen lehrt die Erfahrung, daß sich sogar eine wesentlich bessere Gleichmäßigkeit, nämlich $g_2 > 1:1,5$ einstellt, wenn der Abstand

zwischen den einzelnen Oberlichtern höchstens so groß ist wie die Höhe von deren Unterkanten über dem Boden. Außerdem wird empfohlen, die Abmessungen von Dachlichtbändern so zu wählen, daß deren Breite nicht größer ist als die halbe Raumhöhe.

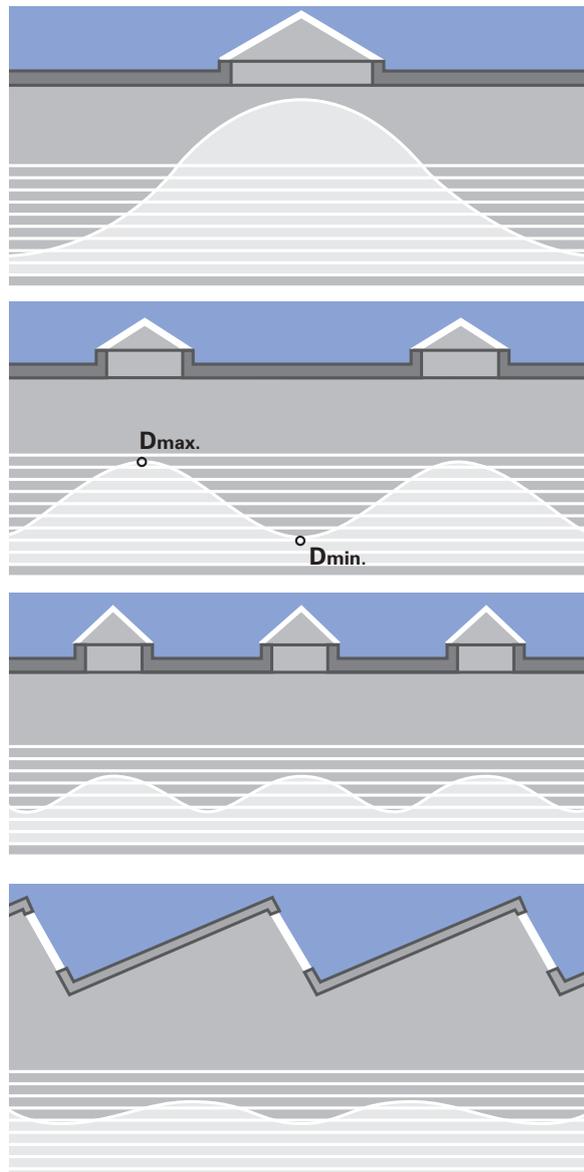


Abb. 6: Form und Anordnung der Tageslichtöffnungen bestimmen Minimum und Maximum des Tageslichtquotienten und damit die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung.

Transmission und Reflexion

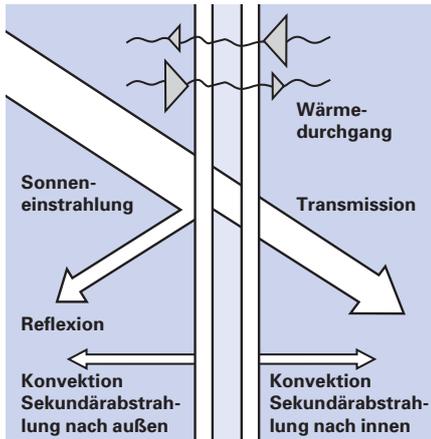


Abb. 7: Sonneneinstrahlung durch lichtdurchlässige Baustoffe

Licht wird beim Auftreffen auf ein Material entweder reflektiert, absorbiert oder transmittiert. Kennzahlen beschreiben, welche Anteile der auftreffenden Strahlung reflektiert und transmittiert werden.

Erfahrungswert zur Berücksichtigung der Minderung der Lichttransmission durch diffuse Beleuchtung:
 $k_3 = 0,85$

■ Bei lichtundurchlässigen Baustoffen, z.B. Mauerwerk oder Anstrichen, ist aus tageslichttechnischer Sicht vor allem der Lichtreflexionsgrad von Bedeutung. Er ermöglicht eine Beurteilung der wahrgenommenen Helligkeit des betreffenden Baustoffes.

ρ_{D65} und τ_e

Der Lichtreflexionsgrad ρ_{D65} gibt das Verhältnis des von der Oberfläche eines lichtundurchlässigen Materials zurückgestrahlten Strahlungsflusses zur auftreffenden Strahlung für die Normlichtart D65 an.

Lichtdurchlässige Baustoffe sind durch ihren Lichttransmissionsgrad gekennzeichnet. Der Lichttransmis-

sionsgrad τ_e gibt das Verhältnis des vom Material durchgelassenen Strahlungsflusses zum auftreffenden Strahlungsfluß an.

Winkelabhängigkeit

Lichtreflexion und Lichttransmission werden jedoch nicht nur von der Materialart und der Oberflächenbeschaffenheit bestimmt, sondern auch von der Richtung des Strahleneinfalls. Sie sind in hohem Maße winkelabhängig. So ist bei Oberlichtern zu berücksichtigen, daß infolge des Lichteinfalls aus unterschiedlichen Richtungen bei Beleuchtung durch den bedeckten Himmel die

Lichttransmission durch Reflexionsverluste gemindert ist. Um diese Minderung zu berücksichtigen, ist bei Oberlichtern der Trans-

missionsgrad mit dem Korrekturfaktor $k_3 = 0,85$ zu multiplizieren.

Näherungswerte

Zahlenwerte für die mittleren Lichtreflexionsgrade stehen im Entwurfs- und Planungsstadium in der Regel noch nicht fest. Es muß jedoch damit gerechnet werden, daß sie nach Fertigstellung des Gebäudes durch zusätzliche Einbauten, Möblierung usw. meist kleiner sein werden als geplant. Falls detail-

Abb. 8: Lichttransmissionsgrade τ_{D65} einiger lichtdurchlässiger Materialien

Material	ρ_{D65} in %
roter Ziegel	25
braune Bodenfliese	15
Beton	30
Kalksandstein	75
Faserzement	30
Aluminiumblech	40
Kupferblech	45
weißer Kunststoff	85
schwarzer Kunststoff	5
helles Holz	45
dunkles Holz	20
Blätter	15

Abb. 9: Lichtreflexionsgrade ρ_{D65} einiger lichtundurchlässiger Materialien

lierte Vorgaben zur Ausführung der Raumbegrenzungsflächen fehlen, können für die Bemessung der zweckmäßigen Oberlichtflächen folgende Rechenwerte als Näherungswerte für Decke, Wände, Boden und Lichtschacht angenommen werden.

Näherungswerte für Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen:

- für die Decke $\rho_D = 0,55$
- für die Wände $\rho_W = 0,35$
- für den Boden $\rho_B = 0,15$
- für den Lichtschacht $\rho_S = 0,55$

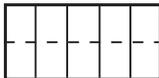
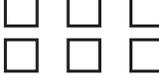
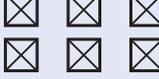
Material	Dicke in mm	τ_{D65} in %
Fensterglas	3	ca. 90
Drahtglas	7	75...85
Drahtspiegelglas	7	ca. 85
Milchglas		10...40
Mattglas		50...75
Sonnenschutzglas (Calorex A1)	6	42
(Parsol bronze)	6	50
Acrylglas (PMMA), farblos	3	92
Acrylglas, opal (Plexiglas GS 017)	3	85
(Plexiglas GS 010)	3	68
Acrylglas-Stegdoppelplatten, farblos	16	ca. 86
Polyester, glasfaser-verstärkt (GF-UP)	3	85
Polycarbonat (PC), farblos	3	86
PVC, farblos	3	80...90
PVC, gelblich durchscheinend	3	30...60

Versprossung

Rahmen und Unterteilungen der Dachlichtelemente reduzieren die Lichteinfallfläche. Je nach Konstruktion müssen Minderungswerte von 10 bis 60 % in Ansatz gebracht werden.

Der Minderungsfaktor k_1 berücksichtigt die Verminderung des einfallenden Lichtstromes durch die in

Abb. 10: Anhaltswerte für den Minderungseinfluß der Versprossung

Minderung der Transmission durch Versprossung Faktor k_1		
Oberlichter		Minderungsfaktor k_1
	Oberlichter mit Metallsprossen	0,8...0,9
	Oberlichter mit Betongläsern	0,4...0,6
	Lichtkuppeln	1
	versproste Einzeloberlichter	0,85...0,95

$$k_1 = 1 - \frac{\text{Fläche der lichtundurchlässigen Bauteile}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}}$$

$$= \frac{\text{Fläche der lichtdurchlässigen Bauteile}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}}$$

Bei gewölbe- und sattelförmigen Oberlichtern wird als Fläche der lichtundurchlässigen Bauteile deren in die Ebene der Rohbauöffnung projizierte Fläche eingesetzt. In gleicher

Weise sind auch unter den Oberlichtern liegende, den Lichteinfall mindernde Bauteile anderer Art zu berücksichtigen.

Sind genaue Festlegungen über die Konstruktion der Oberlichter im Entwurfs- und Planungsstadium noch nicht bekannt, so wird für die überschlägige Berechnung der lichtdurchlässigen Teilfläche des Daches $k_1 = 0,9$ festgelegt.

Erfahrungswert zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch Versprossung: $k_1 = 0,9$

der Lichtöffnung befindlichen lichtundurchlässigen Bauteile der Oberlichter. Er wird nach folgender Formel ermittelt:

Erfahrungswert k_2 zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch Verschmutzung: $k_2 = 0,8$

Verschmutzung

Örtliche Verhältnisse	Staubniederschlag g/100 m ² Monat	Verschmutzung auf der Innenseite	k_2 für Neigung der Verglasung gegen die Horizontale		
			0°... 30°	30°... 60°	60°... 90°
Ländliche Gegend, abgelegene Vororte	300 ... 400	gering stark	0,80 0,55	0,85 0,60	0,90 0,70
Dichtbesiedelte Wohngegenden	600 ... 800	gering stark	0,70 0,45	0,75 0,50	0,80 0,60
Industriegebiete	1.200 ... 1.600	gering stark	0,55 0,30	0,60 0,40	0,70 0,50

Äußere und innere Verschmutzung setzen den Lichteinfall ebenfalls herab. Der Grad der Verschmutzung ist von den örtlichen Verhältnissen, der Einbaulage der Oberlichter und der Nutzung des Raumes abhängig. Je steiler die

Verglasung, um so geringer ist die Verschmutzung.

Der Minderungsfaktor k_2 berücksichtigt die Verminderung des einfallenden Lichtstromes durch die Verschmutzung auf der Außen- und

Abb. 11: Richtwerte für den Minderungseinfluß der Verschmutzung

Innenseite der Oberlichter. Die in DIN 5034 Teil 3 angegebenen Anhaltswerte für den Minderungsfaktor k_2 sind gemessen und gelten für nicht gereinigte Oberlichter, können aber bei regelmäßiger Reinigung höher angesetzt werden.

Für die überschlägige Berechnung der lichtdurchlässigen Teilfläche des Daches wird der Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung mit $k_2 = 0,8$ festgelegt.

Lichtkuppeln werden in Verbindung mit Aufsetzkränzen montiert, Lichtbänder auf bauseitige oder werkseitig vorbereitete Zargen, die zusammen mit der Deckenöffnung und eventuell erforderlichen Deckenunterzügen mehr oder weniger tiefe Lichtschächte bilden.

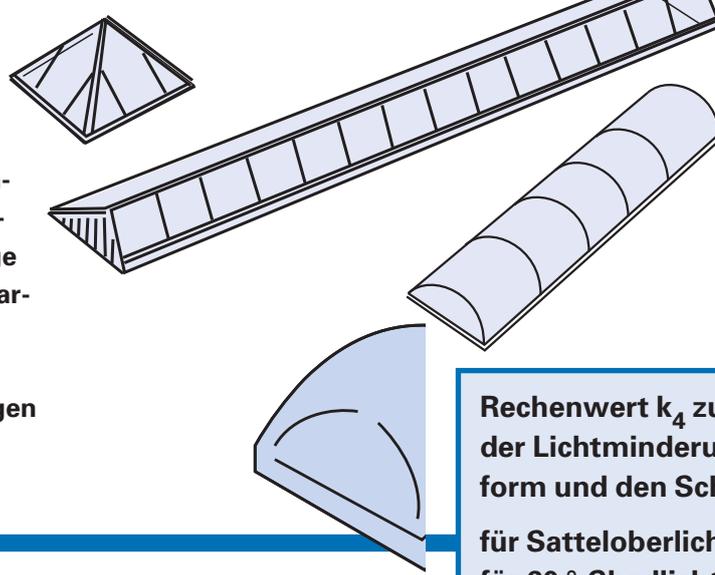


Abb. 13: Ein breites Spektrum von Dachlichtelementen verschiedener Formen, Formate und Konstruktionen steht heute zur Tageslichtversorgung zur Verfügung.

Rechenwert k_4 zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Einbauform und den Schachteinfluß:

für Satteloberlichter	$k_4 = \cos \gamma_F \cdot k_e$
für 60°-Shedlichter	$k_4 = 0,63$
für 90°-Shedlichter	$k_4 = 0,38$
für Lichtkuppeln	$k_4 = k_e$
für Gewölbeoberlicht	$k_4 = k_e$

Schachteinfluß

und deren Lichtreflexionsgrad. Zur Ermittlung des

■ Je nach Höhe beschneiden diese Schächte den Lichteinfallswinkel. Um eine gute Gleichmäßigkeit der Beleuchtung zu gewährleisten, sollten Lichtschächte möglichst mit schrägen Wänden versehen werden.

Minderungsfaktors k_e muß zunächst eine Hilfsgröße, der Schachtindex w , berechnet werden.

$$w = 0,5 \cdot \left(\frac{h_S}{a_S + 2 \cdot h_S / \tan \gamma_W} + \frac{h_S}{b_S + 2 \cdot h_S / \tan \gamma_W} \right)$$

Dabei sind a_S , b_S und h_S die Länge, Breite und Höhe des Lichtschachtes und γ_W die Neigung seiner Wände gegen die Horizontale.

Hilfsgröße: Schachtindex w

Der Minderungsfaktor k_e berücksichtigt die Verminderung des einfallenden Lichtstromes durch die Zargen, Aufsetzkränze, Deckenunter-

Minderungsfaktor k_e

Mit dem Lichtreflexionsgrad der Schachtwände $\rho_S = 0,55$ und ihrem Neigungswinkel γ_W ergibt sich der Minderungsfaktor k_e aus folgender Formel:

$$k_e = [(0,01 \cdot (90^\circ - \gamma_W) + 0,1)^{0,45}]^w$$

Abbildung 12 zeigt die der Formel zugrundeliegende Abhängigkeit des Minderungsfaktors k_e vom Schachtindex w für einige typische Neigungswinkel

γ_W . Ohne komplizierte Berechnung kann der Minderungsfaktor k_e nach der Ermittlung des Schachtindex w aus der Grafik abgelesen werden.

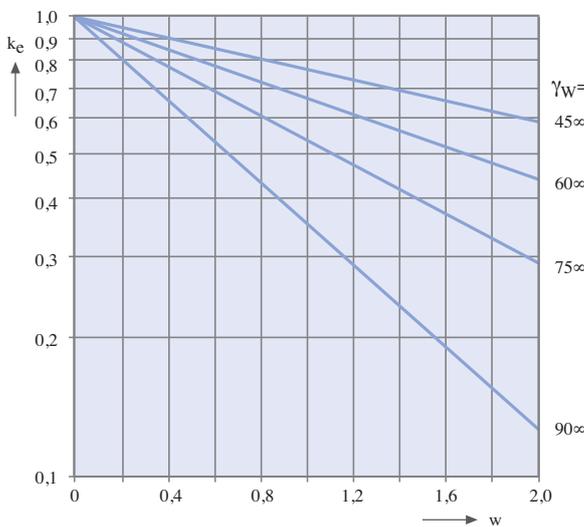


Abb. 12: Diagramm zur grafischen Ermittlung des Minderungsfaktors k_e auf der Basis des Schachtindex w und dem Neigungswinkel der Schachtwände γ_W .

züge und Deckenstärken. Der Wert des Minderungsfaktors k_e ist abhängig von der Schachtgröße, der Neigung der Schachtwände

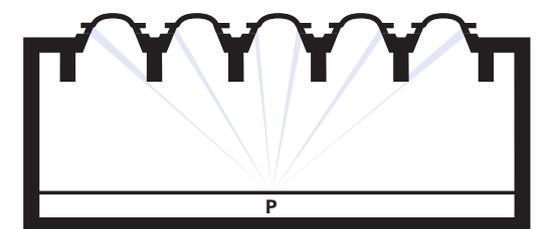
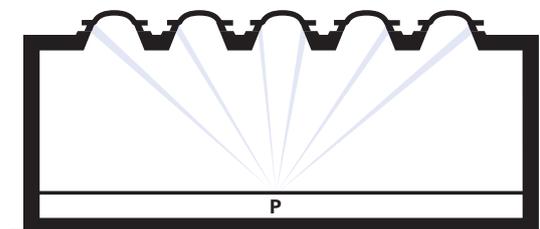


Abb. 14: Deckenunterzüge und Aufsetzkränze beschneiden den Lichteinfallswinkel und reduzieren den einfallenden Lichtstrom.

Einfluß der Raumproportionen

Entscheidenden Einfluß auf die Minderung des einfallenden Lichtstroms haben die Raumproportionen, denn die vier Wände eines Raumes schneiden je nach Länge, Breite und Höhe des Raumes ein bestimmtes Stück aus der leuchtenden Himmelskugel heraus. Je höher die Wände und je schmaler der Raum, um so geringer ist der einfallende Lichtstrom. Demzufolge müssen die erforderlichen Lichtöffnungen bei hohen und schmalen Räumen wesentlich größer sein.

■ Zur Beurteilung der Beleuchtungsstärke im Raum ist statt der lichten Höhe h die Höhe h_N über der Nutzebene in 0,85 m Höhe über dem Boden anzusetzen.

$$h_N = h - 0,85 \text{ m}$$

Winkel φ_a und φ_b

Die Raumproportionen werden durch die Winkel φ_a und φ_b beschrieben. Sie lassen sich aus der Raumtiefe a , der Raumbreite b und der Höhe h_N ermitteln.

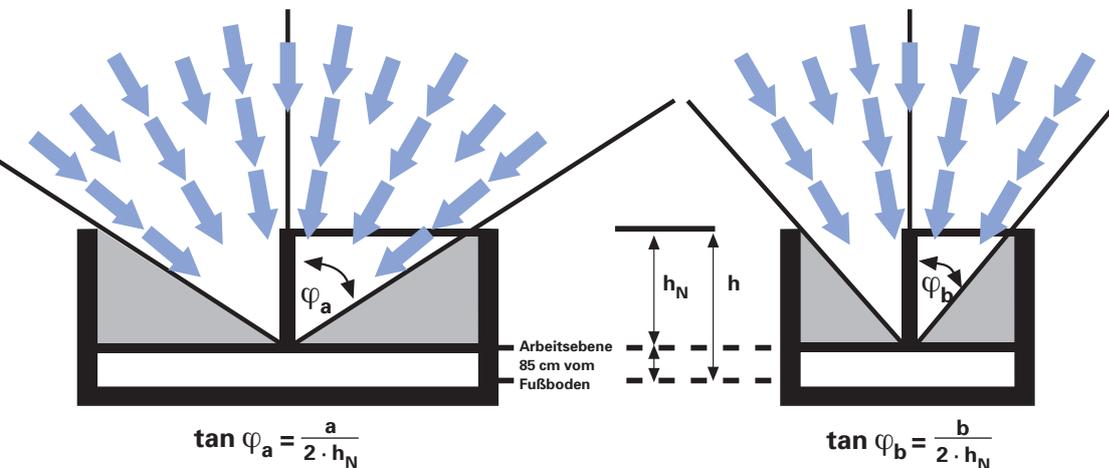


Abb. 15: Die Raumproportionen werden durch die Winkel φ_a und φ_b bestimmt.

$$\tan \varphi_a = \frac{a}{2 \cdot h_N} \text{ und } \tan \varphi_b = \frac{b}{2 \cdot h_N}$$

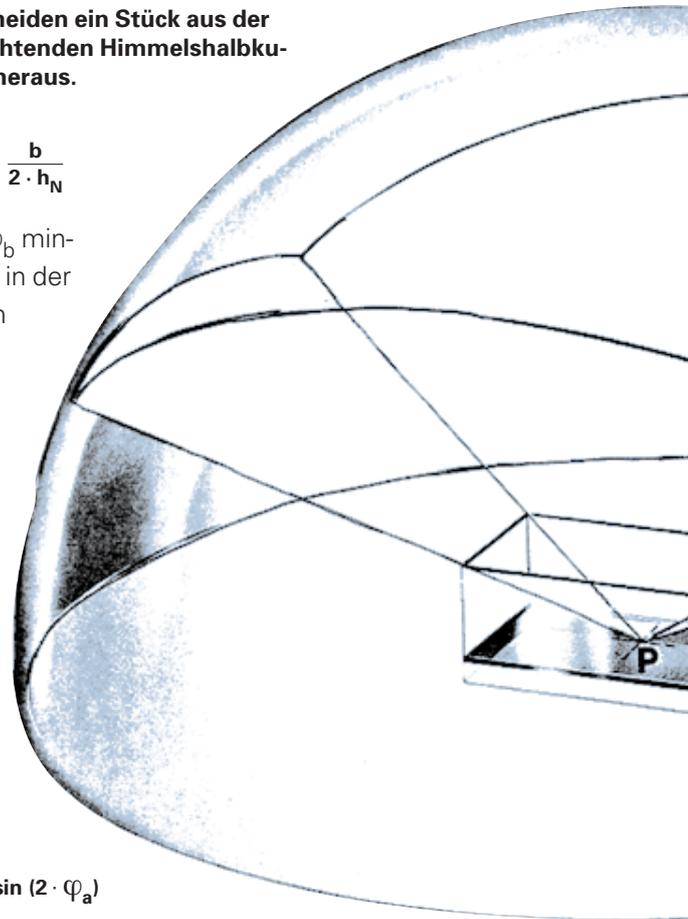
Die beiden Winkel φ_a und φ_b mindern den Lichtstrom einmal in der Längsrichtung und einmal in der Breitenrichtung des Raumes. Die Lichtminderung für einen beliebigen Meßpunkt der Nutzebene ist in der Breite stärker als in der Länge. Um ein Maß für die Minderung in jeder Richtung zu erhalten, sind also ebenfalls zwei Werte erforderlich: ϑ_a und ϑ_b . Sie können durch die nachfolgende Formel rechnerisch ermittelt werden.

$$\vartheta_a = \frac{\varphi_a \cdot 8}{7 \cdot 180} + \frac{3}{7} \cdot \sin \varphi_a + \frac{4}{7 \cdot \pi} \cdot \sin (2 \cdot \varphi_a)$$

$$\vartheta_b = \frac{\varphi_b \cdot 8}{7 \cdot 180} + \frac{3}{7} \cdot \sin \varphi_b + \frac{4}{7 \cdot \pi} \cdot \sin (2 \cdot \varphi_b)$$

Wesentlich einfacher ist es allerdings, ϑ_a und ϑ_b ohne umständliche Berechnung aus Abbildung 17 abzulesen. Dabei muß nur zu dem vorher

Abb. 16: Die Raumproportionen mindern das einfallende Himmelslicht. Die vier Wände schneiden ein Stück aus der leuchtenden Himmelskugel heraus.



aus den Raumabmessungen errechneten Zahlenwert $\tan \varphi_a$ bzw.

$\tan \varphi_b$ oder zu den daraus resultierenden Winkeln φ_a bzw. φ_b der entsprechende Wert für ϑ_a und ϑ_b gefunden werden.

Relative Tageslichtquotienten

Die beiden Raumwinkel-Kenngrößen ϑ_a und ϑ_b werden auch „Relative Tageslichtquotienten“ genannt. Sie geben an, wieviel von dem im Freien verfügbaren

Himmelslicht durch die Raumabmessungen verlorengeht. Dabei ist bereits berücksichtigt, daß der Himmel zum Horizont hin schwächer

Rechenwerte ϑ_a und ϑ_b zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumproportionen sind in Abhängigkeit zur Raumbreite und Raumlänge zu ermitteln!

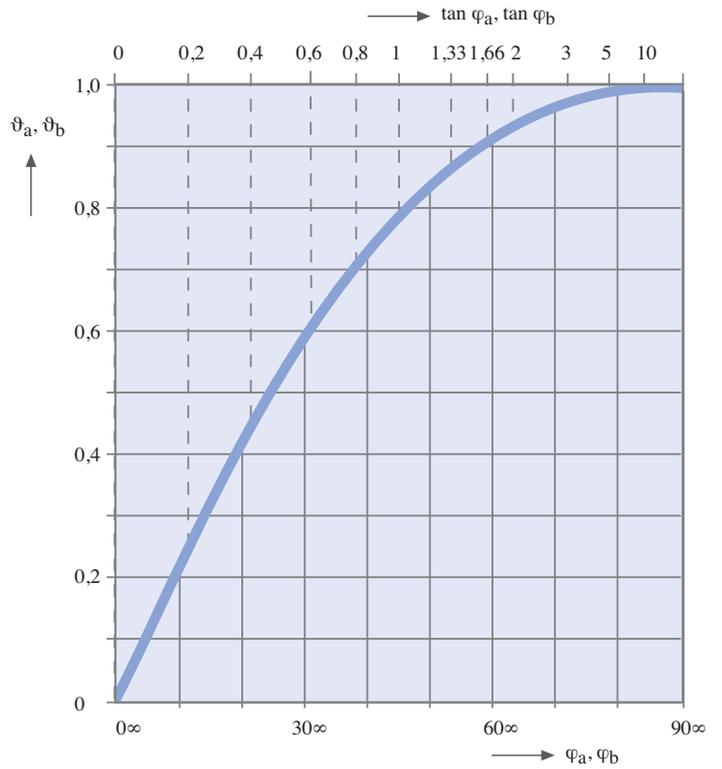
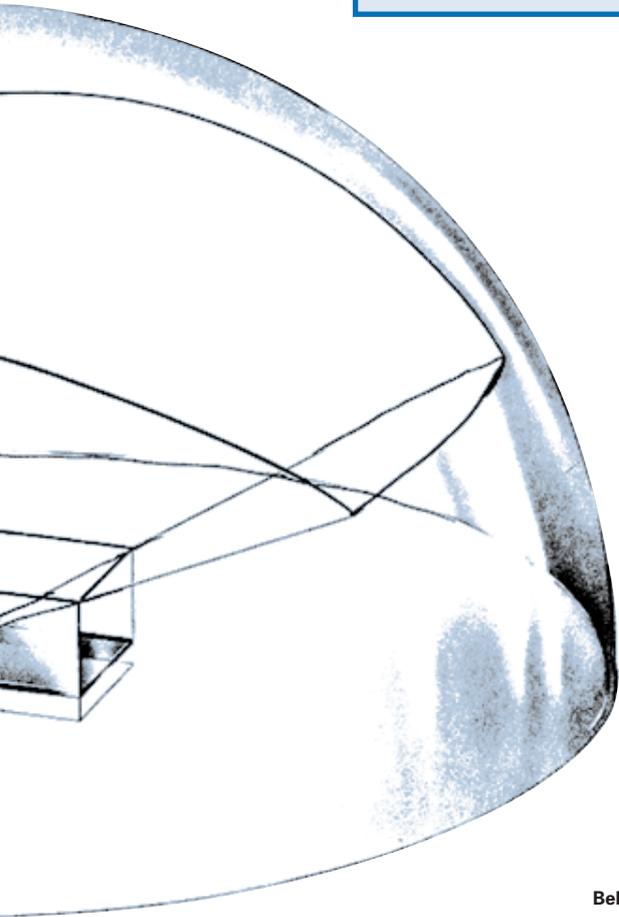


Abb. 17: Diagramm zur grafischen Ermittlung der Minderungsfaktoren ϑ_a und ϑ_b der Raumproportionen in Abhängigkeit von den Winkeln φ_a bzw. φ_b oder den Zahlenwerten $\tan \varphi_a$ bzw. $\tan \varphi_b$

leuchtet als im Zenit. Um die gesamte Lichtminderung durch die Raumproportionen zu erfassen, müssen beide ϑ -Werte miteinander multipliziert werden.

Die relativen Tageslichtquotienten ϑ_a und ϑ_b zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumproportionen sind in Abhängigkeit zur Raumlänge a , zur Raumbreite b und zur Raumhöhe über der Nutzfläche h_N zu bestimmen.

Beleuchtungsstärke E_p (lx) in Nutzhöhe
 Kunde: Testkunde
 Projekt Nr.: 00000000/001
 Datum: 28.2.1995
 E_p (lx): 200

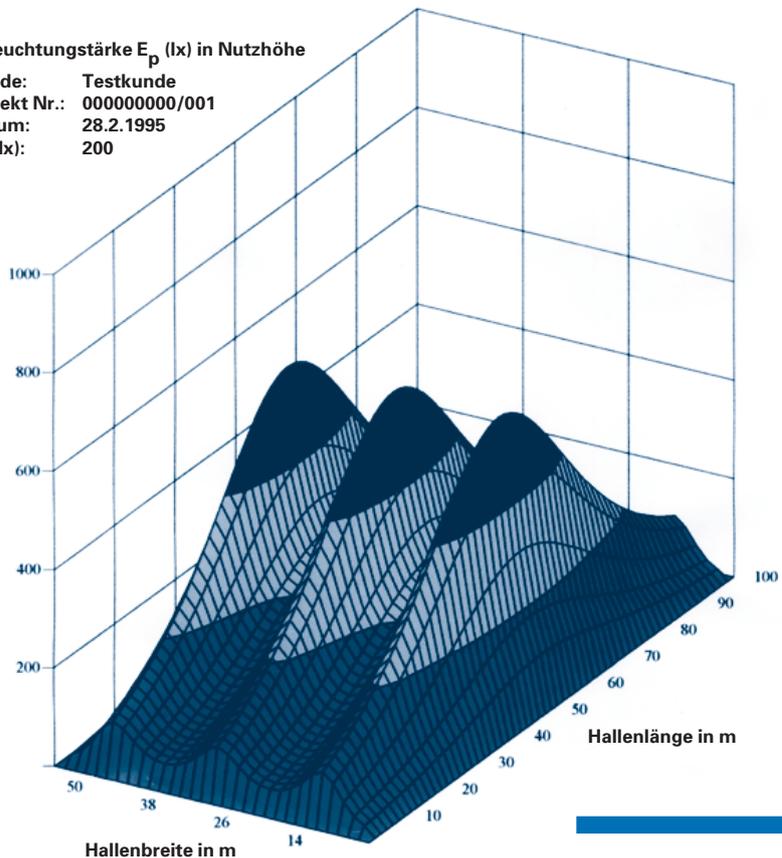


Abb. 18: 3-D-Computergrafik der Beleuchtungsstärke in Nutzhöhe

Berechnung der notwendigen Lichtfläche

Formel zur Berechnung der notwendigen Lichtfläche:

$$A_F = \frac{D_{OL} \cdot a \cdot b \cdot 0,009175}{\tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \vartheta_a \cdot \vartheta_b}$$

0,90. Man berechnet den Schachtindex $w = 0,18$ und findet in Abbildung 12 dazu

den entsprechenden Minderungsfaktor $k_e = k_4 = 0,9$. Durch Einsetzen der Werte ergibt sich die Gesamtfläche der Lichtöffnungen $A_F = 114,6 \text{ m}^2$.

Mit den relativen Tageslichtquotienten ϑ_a und ϑ_b und den Minderungsfaktoren k_1 zur Berücksichtigung der Versprossung, k_2 zur Berücksichtigung der Verschmutzung, k_3 zur Berücksichtigung der Verringerung des Transmissionsgrades durch Reflexionsverluste und k_4 zur Berücksichtigung der Oberlichtform und des Lichtschachtes kann nun die notwendige Gesamtlichtfläche der Oberlichtöffnung A_F berechnet werden.

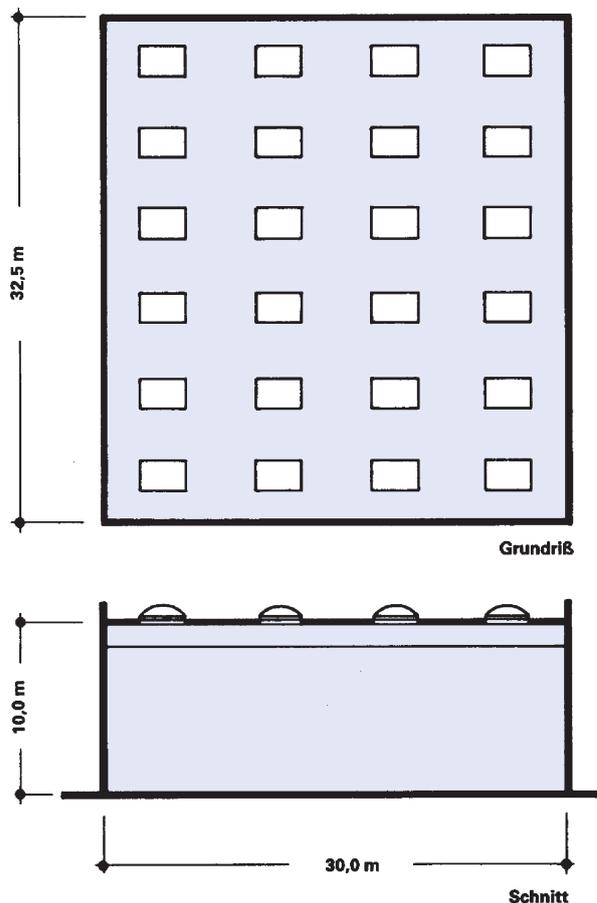
Die ausführliche Formel zur Berechnung der notwendigen Gesamtlichtfläche der Oberlichter lautet:

$$A_F = \frac{D_{OL} \cdot a \cdot b}{\tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \vartheta_a \cdot \vartheta_b \cdot 100} (1 - \rho_B \cdot \rho_D)$$

Da Räume mit Oberlichtbeleuchtung in der Regel eine große Grundfläche aufweisen und demzufolge der Anteil der Wandfläche an den Raumbegrenzungsflächen gering ist, kann der Einfluß der Innenreflexion an den Wänden vernachlässigt werden. Fehlen Vorgaben für die Reflexionsgrade von Decken und Boden, ρ_B und ρ_D , so vereinfacht sich die Formel durch die Einsetzung der Näherungswerte auf

$$A_F = \frac{D_{OL} \cdot a \cdot b \cdot 0,009175}{\tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \vartheta_a \cdot \vartheta_b}$$

Abb. 19: Grundriß und Schnitt des Gebäudes zur Beispielrechnung



Berechnungsbeispiel

Eine 10m hohe Halle mit einer Grundfläche von 32,5m x 30m und einem gewünschten Tageslichtquotienten von 5% soll durch Lichtkuppeln beleuchtet werden, die mit einem 30cm hohen Aufsetzkranz auf einer 20cm starken Deckenkonstruktion montiert werden. Der Lichtschacht hat eine Neigung von 60°; die Schachtöffnung soll 2,7m x 1,8 m betragen (Nennmaß). Weiterhin sind bekannt: $\tau_{D65} = 0,77$, $k_1 = 1$, $k_2 = 0,8$ und $k_3 = 0,85$. Berechnet werden: $h_N = 9,15 \text{ m}$, $\tan \varphi_a = 1,78$ und $\tan \varphi_b = 1,64$. Aus Abbildung 17 sind abzulesen: $\vartheta_a = 0,92$ und $\vartheta_b =$

Formel zum Vergleich von Oberlichtern:

$$b_F = \frac{A_F}{n \cdot a_F} \text{ oder } a_F = \frac{A_F}{n \cdot b_F}$$

Mit der Berechnung der erforderlichen Lichtfläche ist eine schnelle Vergleichbarkeit verschiedener Arten von Oberlichtern gegeben.

Oberlichter im Vergleich

Dividiert man die Fläche A_F durch die Anzahl n der Oberlichtelemente und durch ihre Länge a_F bzw. die Breite b_F , so erhält man deren erforderliche Breite b_F bzw. die Länge a_F .

$$b_F = \frac{A_F}{n \cdot a_F} \text{ oder } a_F = \frac{A_F}{n \cdot b_F}$$

Im berechneten Beispiel entspricht das Ergebnis 28 Lichtkuppeln der Nenngröße 180 x 270 cm oder 40 Lichtkuppeln der Nenngröße 150 x 240 cm.

Eine Haftung oder Gewährleistung aus dieser Veröffentlichung wird ausdrücklich ausgeschlossen.

Übersicht über die verwendeten Formelzeichen

		Seite			Seite
A_F	Gesamtfläche der Lichtöffnungen (Rohbaumaße)	10	h	Raumhöhe	8
a	Raumlänge	8	h_N	Höhe über der Nutzebene	8
a_F	lichte Länge eines Oberlichts	10	h_S	Höhe des Lichtschachts	7
a_S	lichte Länge des Lichtschachtes	7	k_1	Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Versprossung	6
b	Raubbreite	8	k_2	Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung	6
b_F	lichte Breite eines Oberlichts	10	k_3	Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verringerung der Transmission durch nicht senkrechten Lichteinfall	5
b_S	lichte Breite des Lichtschachtes	7	k_4	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Form der Oberlichter	7
D	Tageslichtquotient	3	k_e	Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Lichtschachtes	7
D_H	Himmelslichtanteil des Tageslichtquotienten	3	n	Anzahl der Oberlichter	10
D_M	mittlerer Tageslichtquotient	3	w	Schachtindex	7
D_{max}	Maximalwert des Tageslichtquotienten	4	γ_F	Neigungswinkel der lichtdurchlässigen Fläche	7
D_{min}	Minimalwert des Tageslichtquotienten	4	γ_W	Neigungswinkel der Lichtschachtwände	7
D_{OL}	mittlerer Tageslichtquotient in Räumen mit Oberlicht	3	ϑ_a	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Raumlänge	8
D_R	Innenreflexionsanteil des Tageslichtquotienten	3	ϑ_b	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Raumbreite	8
D_V	Außenreflexionsanteil des Tageslichtquotienten	3	ρ_B	Reflexionsgrad des Bodens	5
E_a	Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien	3	ρ_D	Reflexionsgrad der Decke	5
E_m	Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN 12464-1	3	ρ_S	Reflexionsgrad der Lichtschachtwände	5
E_p	Beleuchtungsstärke an einem Punkt	3	ρ_W	Reflexionsgrad der Wände	5
g_1	Verhältnis von minimaler zu mittlerer Beleuchtungsstärke	4	τ_{D65}	Transmissionsgrad des Verglasungsmaterials	5
g_2	Verhältnis von minimaler zu maximaler Beleuchtungsstärke	4	φ_a	Winkel zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumlänge	8
			φ_b	Winkel zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumbreite	8

Weitere FVLR-Schriften

FVLR-Publikationen zum Thema Tageslicht können als Einzelexemplare kostenlos angefordert werden unter www.fvlr.de/publikationen.htm.

Heft 3: Grundlagen der Tageslichttechnik. Basis-Informationen zur Beleuchtung mit Tageslicht über Dachoberlichter.



Heft 10: Zusatznutzen von Lichtkuppeln und Lichtbändern: Raumlüftung. Enthält lüftungstechnische Grundlagen, Berechnungsformeln und Hinweise zur Geräteauswahl.



Heft 11: Gestaltung mit Dachlichtelementen. Überblick zur Geschichte der Tageslichtarchitektur, Hinweise für die Tageslichtplanung mit Dachlichtelementen und Tipps für den kreativen Umgang mit Tageslicht.



Heft 13: Tageslicht und Ergonomie. Leben und arbeiten mit Tageslicht. Das Heft gibt Anregungen zur effizienten Nutzung von Tageslicht am Arbeitsplatz.



Heft 15: Gestalten mit Tageslicht. Lichtplaner über Lichtkonzepte, Lichtverteilung, Raumqualität, Raumgestaltung und Oberlichtvariationen.



Heft 18: Tageslicht am Arbeitsplatz. Tageslicht gezielt nutzen, Tageslichteintrag durch Fenster, taghell mit Dachoberlichtern.



Der FVLR stellt sich vor

■ Der FVLR Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e. V. wurde 1982 gegründet. Er repräsentiert die deutschen Hersteller von Lichtkuppeln, Lichtbändern sowie Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA). Langjähriges Know-how und technisch qualifizierte Mitarbeiter bilden die Grundlage für umfassende und aktive Beratung von Architekten, Planern und Anwendern bei der Projektierung, Ausführung und Wartung von Dachoberlichtern und RWA. Lichtkuppeln und Lichtbänder erfüllen vielfältige Aufgaben in der Architektur. RWA sind unverzichtbare Bestandteile des vorbeugenden baulichen Brandschutzes. Der FVLR leistet europaweit produktneutrale und fundierte Forschungs- und Informationsarbeit. Er ist aktives Mitglied in Eurolux, der Vereinigung der europäischen Hersteller von Lichtkuppeln, Lichtbändern und RWA, und wirkt seit vielen Jahren an der internationalen und europäischen Normungsarbeit mit.

Eine Liste aller Verbandsmitglieder finden Sie im Internet unter www.fvlr.de.

Bildnachweis: Aus dem Archiv des FVLR und seiner Mitgliedsunternehmen

Eine Haftung oder Gewährleistung aus dieser und anderen Veröffentlichungen wird ausdrücklich ausgeschlossen.

Mit freundlicher Empfehlung

The logo for FVLR (Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e. V.) consists of the letters 'FVLR' in a bold, white, sans-serif font with a blue outline, set against a dark blue background.

Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e. V.

Ernst-Hilker-Straße 2

32758 Detmold

Telefon 0 52 31/3 09 59-0

Telefax 0 52 31/3 09 59-29

www.fvlr.de

info@fvlr.de