

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

LEHRSTUHL FÜR BAUPHYSIK

UNIV.-PROF. DR.-ING. GERD HAUSER

Bauphysikalische Grundlagen Licht

Vorlesungsskript Bauphysik

Der Umdruck ist zum persönlichen, internen Gebrauch bestimmt.

Inhaltsverzeichnis

1	Bedeutung von Fenstern	3
2	Physikalische Grundlagen	3
3	Lichttechnische Grundlagen	5
4	Tageslicht	8
4.1	Leuchtdichte des Himmels	8
4.2	Begriffe und Formelzeichen zur geometrischen Darstellung	10
4.3	Berechnung des Tageslichtquotienten gem. DIN 5034	13
4.3.1	Anteile	13
4.3.2	Minderungsfaktoren	14
4.3.3	Berechnung des Himmelslichtanteils des Tageslichtquotienten D_{Hr}	16
4.3.4	Berechnung des Außenreflexionsanteils des Tageslichtquotienten D_{Vr}	18
4.3.5	Berechnung des Direktanteils des Tageslichtquotienten $D_{dir,r}$	18
4.3.6	Berechnung des Innenreflexionsanteils des Tageslichtquotienten $D_{R,r}$	19
4.3.7	Mittelwert des Tageslichtquotienten in Räumen mit Oberlichtern	21
4.4	Anforderungen gem. DIN 5034	23
4.4.1	Wohnräume	23
4.4.2	Arbeitsräume	25
4.4.3	Krankenzimmer	25
5	Räume mit Oberlicht	26
5.1	Verwendete Formelzeichen	26
5.2	Übliche Bauformen	27
5.3	Charakteristische Tageslichtquotientenverläufe und Gütekriterien	28
5.3.1	Gleichmäßigkeit der Beleuchtung	29
5.3.2	Empfehlungen	29
5.4	Berechnungsvorschrift	29
5.4.1	Lichtreflexionsgrad ρ_{D65} und Lichttransmissionsgrad τ_{D65}	30
5.4.2	Versprossung	32
5.4.3	Schachteinfluss	34
5.4.4	Raumproportionen	35
6	Beispiele	36
7	Gütekriterien der Beleuchtung	37
8	Empfohlene Beleuchtungsstärken	38

1 Bedeutung von Fenstern



Bild 1.1: Bedeutung von Fenstern [Gertis, K.: Die Bauphysik im Zielkonflikt zwischen menschlichen Ansprüchen, technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Zwängen. Gesundheits-Ingenieur 100 (1979), H.1/2 S.11-16]

2 Physikalische Grundlagen

Licht ist elektromagnetische Strahlung, die sich von anderen elektromagnetischen Wellen nur durch Wellenlänge und Frequenz unterscheidet.



Bild 2.1

$$1 \text{ Nanometer} = 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$$

Das weiße Licht der Sonne stellt eine Kombination aller Farben des Spektrums dar und kann mit Hilfe eines Prismas in ein farbiges Lichtspektrum (Regenbogen) zerlegt werden und umgekehrt.

Neben dem sichtbaren Licht enthält die Sonneneinstrahlung auch andere Wellenlängen:

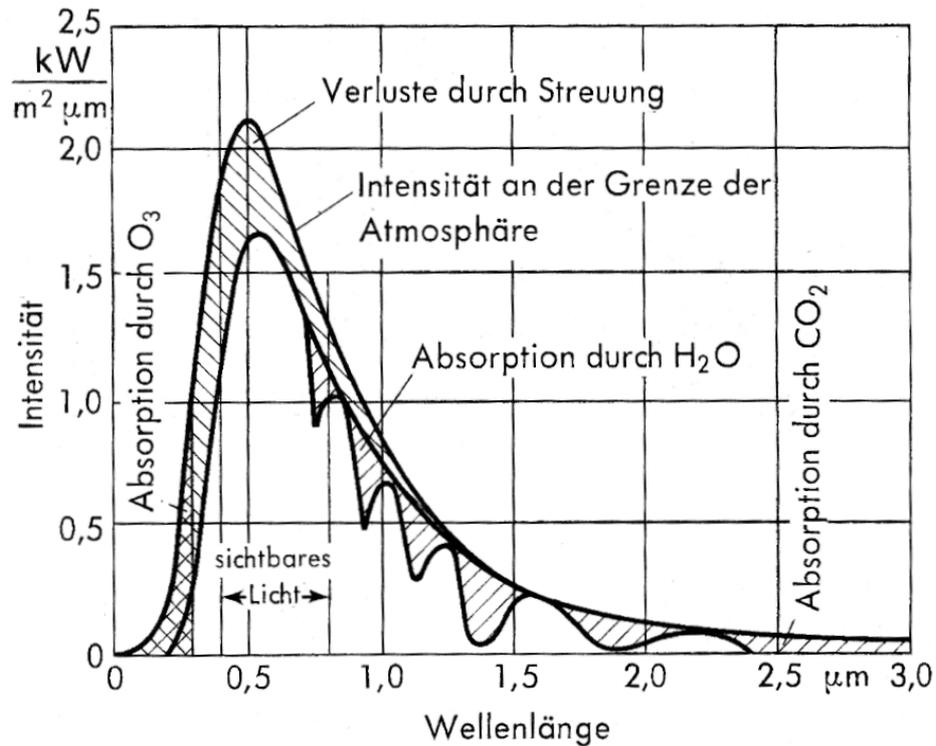


Bild 2.2: Intensität der Sonnenstrahlung [Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Recknagel Sprenger Schramek, Oldenbourg Verlag, München, 2001].

Das menschliche Auge nimmt als Licht ein Spektrum zwischen 380 und 780 nm auf. Farbeindrücke entstehen durch verstärkte Reflexion eines Körpers in einem bestimmten Wellenlängenbereich. Das Auge ist für ein bestimmtes Farbspektrum besonders empfindlich.

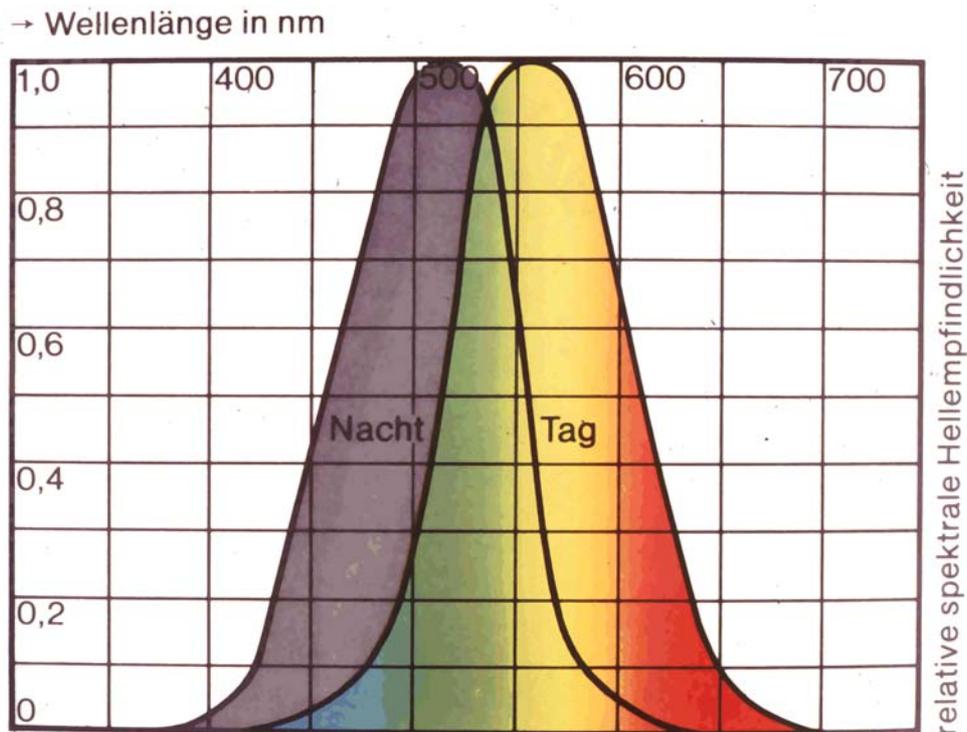


Bild 2.3

3 Lichttechnische Grundlagen

Lichtstrom Φ [Lumen] [lm]

ist die gesamte Lichtleistung einer Lichtquelle.

Lichtstrom = Lichtstärke · Raumwinkel

1 lm = 1 cd · sr

sr - Raumeinheitswinkel, Steradian

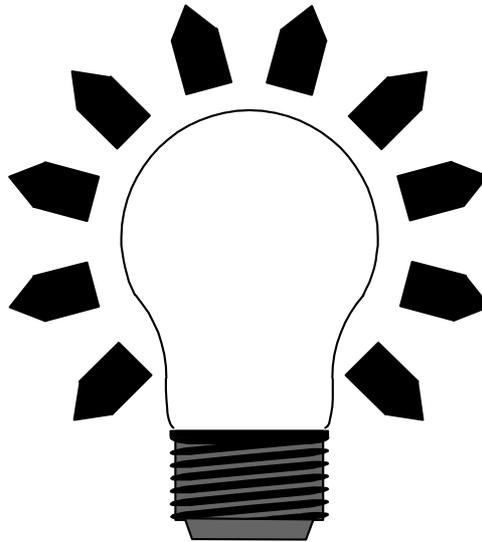


Bild 3.1

Lichtstärke I [Candela] [cd]

ist der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt.
Eine freistehende 100 W Glühlampe hat eine maximale Lichtstärke von 100 cd, ein Autoscheinwerfer 50.000 cd.

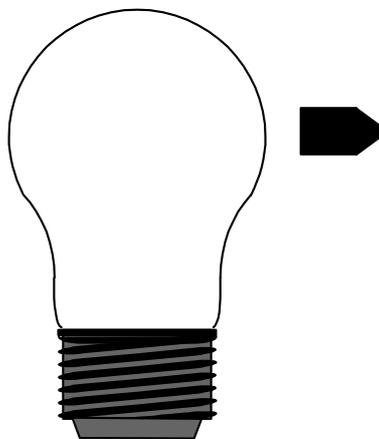


Bild 3.2

Die Lichtstärke wird meist in einem Polardiagramm dargestellt.

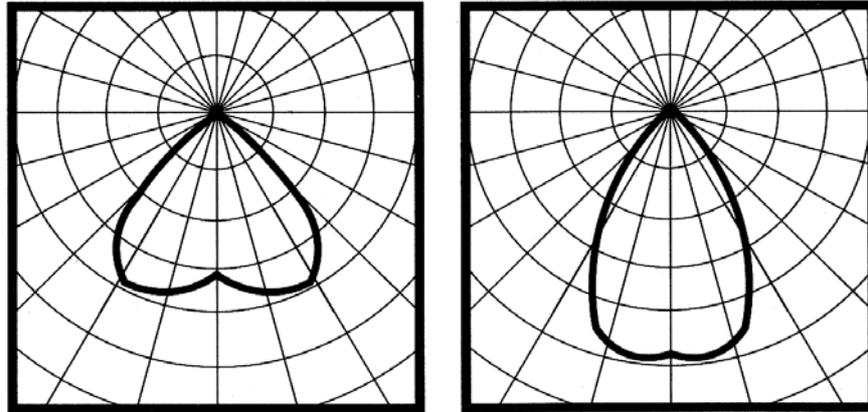


Bild 3.3 Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer breitstrahlenden (links) und einer tiefstrahlenden Leuchte (schematisch)
 [Energiesparende Beleuchtungsanlagen in Gewerbe, Handel und mittelständischen Unternehmen, ie Informationszentrum
 Energie, Mai 1998, Landesgewerbeamt Baden- Württemberg]

Leuchtdichte L [cd/m²]

ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer Fläche hat. Leuchtdichte ist Lichtstärke bezogen auf die gesehene Fläche.

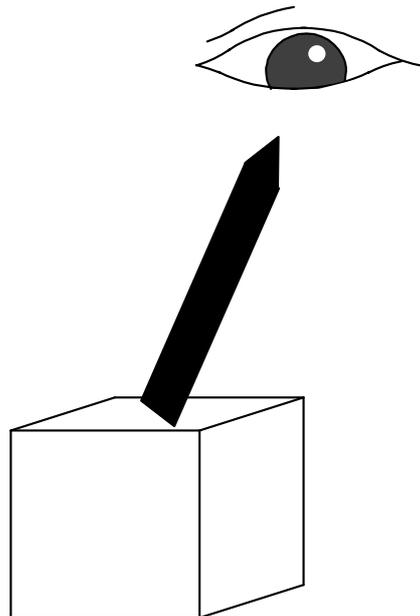


Bild 3.4

Beleuchtungsstärke E [Lux] [lx]

ist ein Maß für das auf eine Fläche treffende Licht.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$$

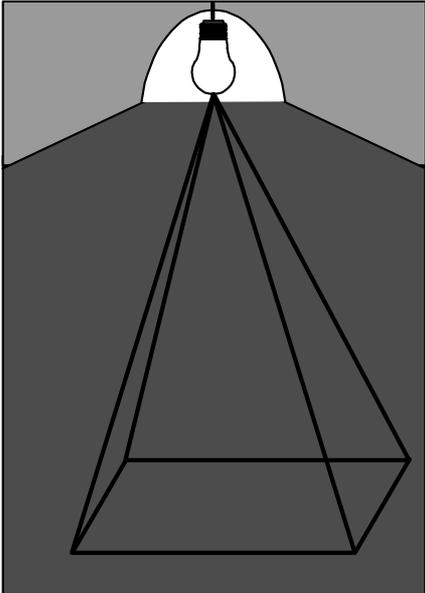


Bild 3.5

4 Tageslicht

4.1 Leuchtdichte des Himmels

Relative Leuchtdichte des bedeckten Himmels L_δ

$$L_\delta = (1 + 2 \cdot \cos \varepsilon) / 3$$

L_Z - Zenitleuchtdichte

$$L_Z = (9 / (7 \cdot \pi)) \cdot (300 + 21000 \cdot \sin \gamma_S) \text{ cd/m}^2$$

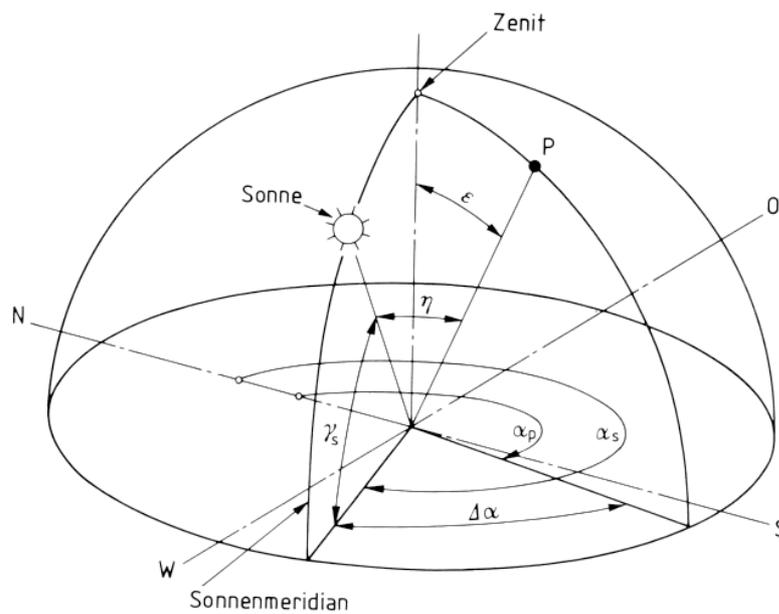


Bild 4.1: Winkelbezeichnung bei der Beurteilung der Leuchtdichteverteilung des klaren Himmels

Horizontale Beleuchtungsstärke im Freien ohne Verbauung E_a

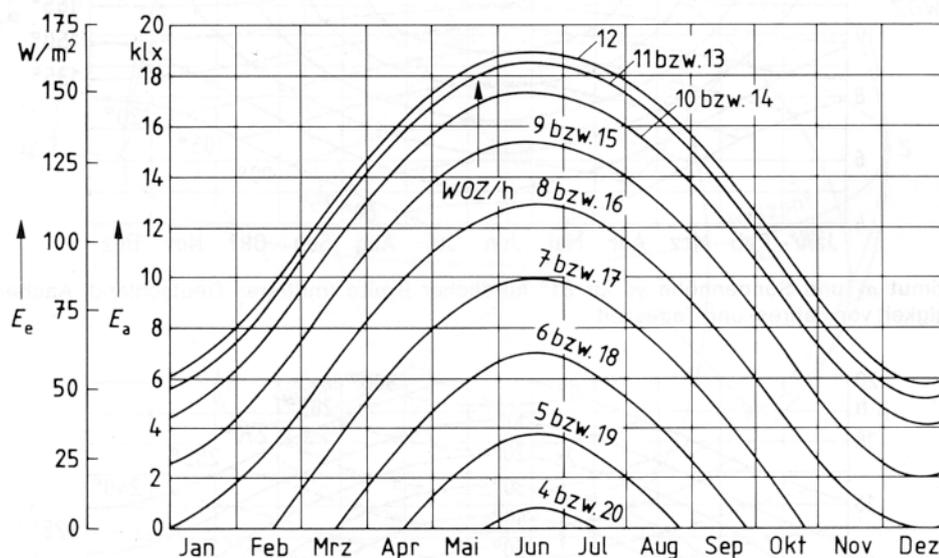


Bild 4.2: Horizontale Beleuchtungsstärke E_a und horizontale Bestrahlungsstärke E_e bei bedecktem Himmel für 51° nördlicher Breite in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit

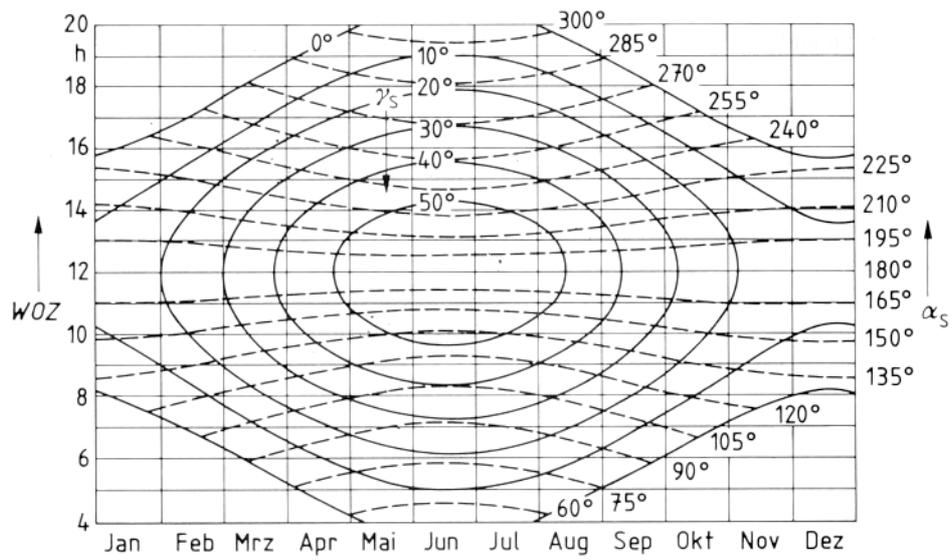


Bild 4.3 Sonnenazimut α_s und Sonnenhöhe γ_s für 54° nördlicher Breite (nördliches Deutschland, Cuxhaven-Lübeck) in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit

4.2 Begriffe und Formelzeichen zur geometrischen Darstellung

Es werden folgende Definitionen vereinbart und zum Teil in Bild 4.6 bis Bild 4.5 näher erläutert, die der Verständigung über baulich- geometrische Zusammenhänge dienen:

A_F	Fläche der Lichtöffnungen
A_R	Summe aller Raumbegrenzungsflächen
A_R	$= 2 \cdot (b \cdot h + b \cdot a + h \cdot a)$ (1)
a	Raumtiefe (Begriff siehe DIN 5034 Teil 1; siehe auch Bild 4.4)
a_{FP}	Abstand zwischen Fensterfläche und Bezugspunkt (siehe Bild 4.4)
a_P	Abstand des Bezugspunktes P von der Außenfläche der Fensterwand (siehe Bild 4.6)
a_S	lichte Länge des Lichtschachtes
b	Raubbreite
b_F	Fensterbreite (Rohbaumaß (siehe Bild 4.5))
b_{Fl}, b_{Fr}	Fensterbreite (Rohbaumaß), gemessen in der Horizontalebene zwischen der durch den Bezugspunkt gehenden Fensternormalen und der linken bzw. rechten Kante der Fensterlaibung (siehe Bild 4.5)
b_S	lichte Breite des Lichtschachtes
b_{Vl}, b_{Vr}	Verbauungsbreite, gemessen als seitlicher Abstand der vertikalen (linken bzw. rechten) Verbauungskante von der durch den Bezugspunkt gehenden Fensternormalen
Bezugsebene	Die Bezugsebene ist die 0,85 m über dem Fußboden liegende horizontale Eben (siehe Bild 4.4)
h	Raumhöhe
h_F	Fensterhöhe (Rohbaumaß) (siehe Bild 4.5)
h_{Fu}	Höhe der Fensterunterkante (siehe Bild 4.6)
h_S	Höhe des Lichtschachtes
$h_V(\beta)$	Höhe der Verbauung oberhalb der Bezugsebene beim Breitenwinkel β
$h_{V,0}$	Höhe der Verbauung oberhalb der Bezugsebene bei $\beta = 0^\circ$ (siehe Bild 4.6)
Nutzfläche	Die Nutzfläche liegt (wenn nicht anders festgelegt) in der Bezugsebene; sie wird durch einen Linienzug begrenzt, der in 1 m Abstand von den Wänden verläuft
P	Bezugspunkt, an dem der Tageslichtquotient D bestimmt wird
P_1, P_2	Bezugspunkte zur Bestimmung des Tageslichtquotienten im Hinblick auf die ausreichende Helligkeit in Wohnräumen nach DIN 5034 Teil 1 (siehe Bild 4.4)

$t_V(\beta)$	Abstand der Verbauung vom Bezugspunkt beim Breitenwinkel β	
$t_{V,0}$	Abstand der Verbauung vom Bezugspunkt bei $\beta = 0^\circ$ (siehe Bild 4.6)	
Verbauung	Lichthindernisse, wie Gebäude, Berge, Bäume usw. die vom jeweiligen Beobachterstandort aus Himmelsauschnitte verdecken. Bei den in dieser Norm angegebenen Berechnungen kann es erforderlich sein, die örtlich zulässige, infolge noch ausstehender Baumaßnahmen jedoch nicht erreichte Verbauung zu berücksichtigen.	
α	Verbauungswinkel, von der Fenstermitte aus gerechnet (siehe Bild 4.6)	
$\tan \alpha =$	$\frac{h_{V,0} + 0,85\text{m} - \frac{h_F}{2} - h_{Fu}}{t_{V,0} - a_{FP}}$	(2)
β	Breitenwinkel	
β_{Fl}, β_{Fr}	Fensterbreitenwinkel (siehe Bild 4.5)	
$\tan \beta_{Fl}$	$= b_{Fl} / a_P$	(3)
$\tan \beta_{Fr}$	$= b_{Fr} / a_P$	(4)
$\beta_V, \beta_{Vl}, \beta_{Vr}$	= Verbauungsbreitenwinkel (siehe Bild 4.6)	
$\tan \beta_{Vl}$	$= b_{Vl} / t_{V,0}$	(5)
$\tan \beta_{Vr}$	$= b_{Vr} / t_{V,0}$	(6)
γ_w	lichttechnisch wirksamer Neigungswinkel von Schachtwänden gegen die Horizontale (siehe Bild 4.9 und Bild 4.10)	
ε_F	Fensterhöhenwinkel (siehe Bild 4.5)	
$\tan \varepsilon_F$	$= (h_F + h_{Fu} - 0,85 \text{ m}) / a_P$	(7)
$\varepsilon_{FV}(\beta)$	Verbauungshöhenwinkel beim Breitenwinkel β	
$\tan \varepsilon_V(\beta)$	$= h_V(\beta) / t_V(\beta)$	(8)
	Für eine durchgehende Zeilenverbauung gilt:	
	$h_V(\beta) = \text{const.}$	
	$\varepsilon_V(\beta) = \varepsilon_{V,0} \cdot \cos \beta$	(9)
	mit	
$\varepsilon_{V,0}$	Verbauungshöhenwinkel bei $\beta = 0^\circ$ (siehe Bild 4.6)	

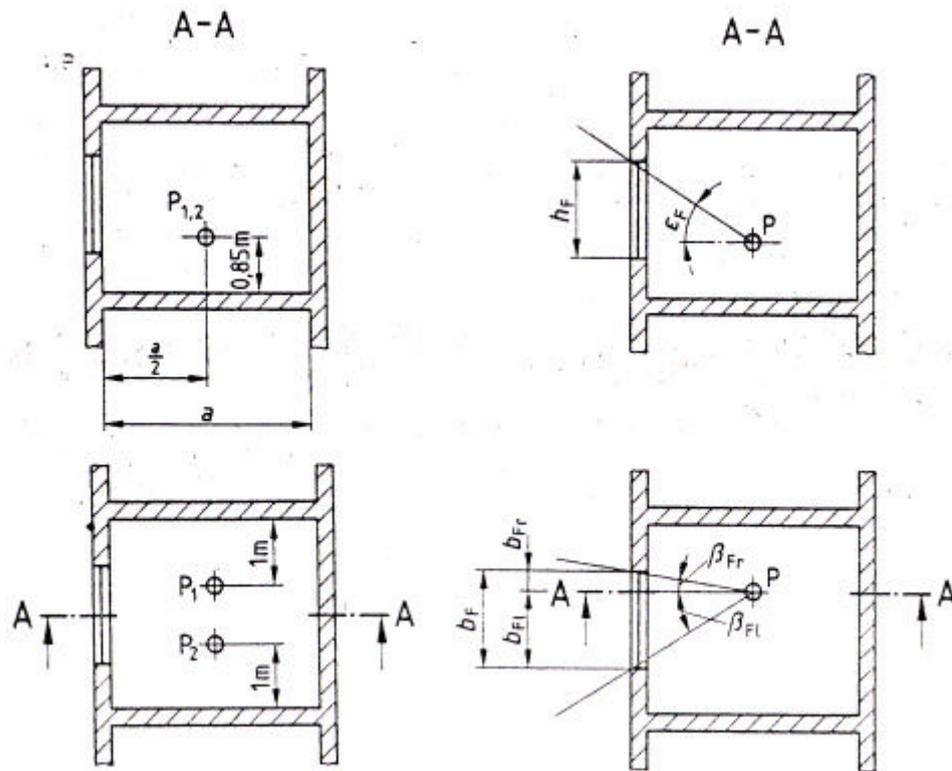


Bild 4.4: Lage der Bezugspunkte P_1 und P_2 Bild 4.5: Geometrische Kenngrößen eines Fensters

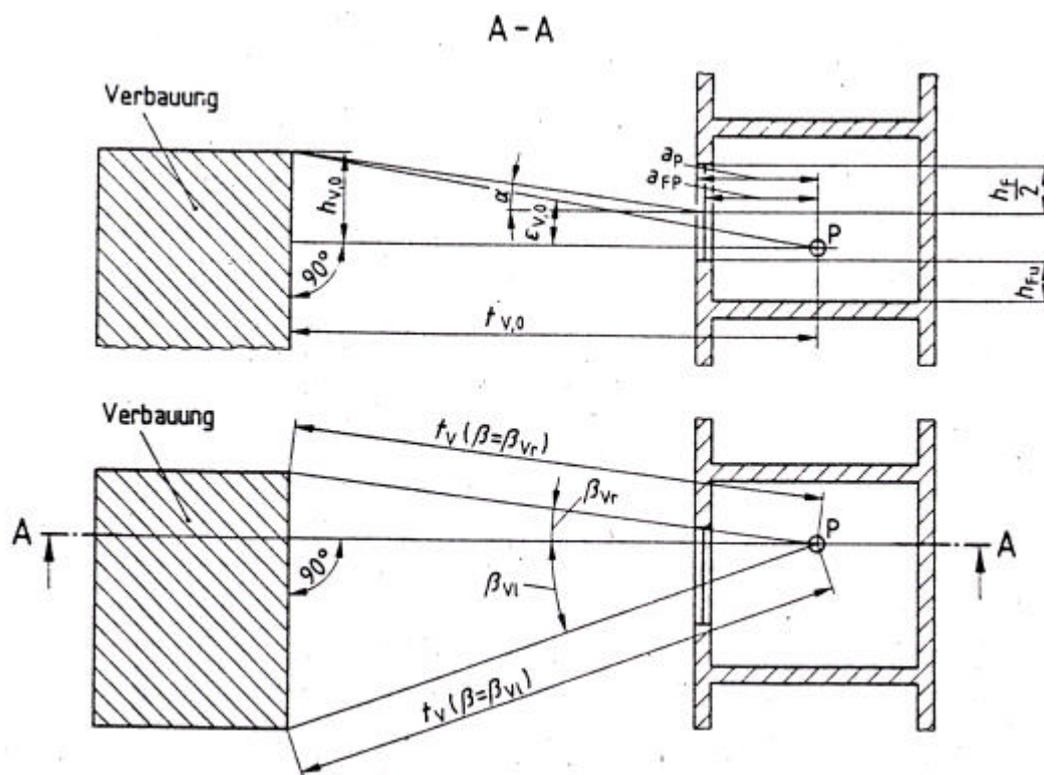


Bild 4.6: Formelzeichen zur geometrischen Darstellung bei Berücksichtigung einer Verbauung

4.3 Berechnung des Tageslichtquotienten gem. DIN 5034

4.3.1 Anteile

Der Tageslichtquotient (Daylight factor) D (früher T) ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p in einem Punkt einer gegebenen Ebene, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichtenverteilung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei unverbauter Himmelshalbkugel.

$$D = \frac{E_p}{E_a} \cdot 100\%$$

Die durch direktes Sonnenlicht bewirkten Anteile beider Beleuchtungsstärken bleiben unberücksichtigt.

Einflüsse der Verglasung, der Verschmutzung und der Versprossung sind eingeschlossen.

Bei der Berechnung der Innenraumbeleuchtung muss direktes Sonnenlicht gesondert berücksichtigt werden.

Der durch klar durchsichtige Verglasung hindurch in einem Punkt erzeugte Tageslichtquotient D setzt sich zusammen aus dem direkt von Himmel erzeugten Himmelslichtanteil D_H , dem durch Reflexion an Verbauung, Gelände usw. erzeugten Außenreflexionsanteil D_V und dem durch Reflexion an den Rauminnenflächen erzeugten Innenreflexionsanteil D_R , wie es Bild 4.7 am Beispiel eines Raumes mit einseitiger Fensteranordnung zeigt:

$$D = D_H + D_V + D_R \quad (10)$$

Bei Tageslichtquotienten, die durch stark lichtstreuende Verglasungen erzeugt werden, fallen die Außenanteile D_H und D_V zum direkt erzeugten Anteil D_{dir} zusammen:

$$D = D_{dir} + D_R \quad (11)$$

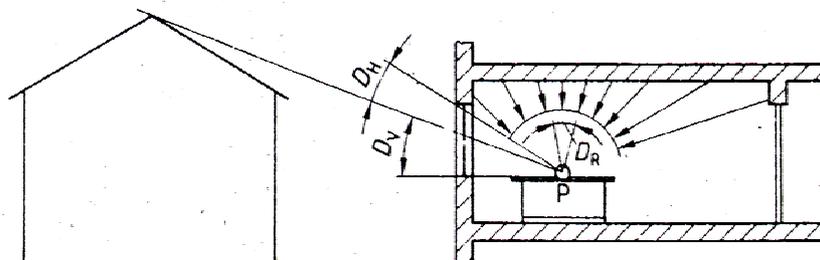


Bild 4.7: Anteile des Tageslichtquotienten

4.3.2 Minderungsfaktoren

Bei der Berechnung des Tageslichtquotienten D wird die Lichtminderung durch Verglasung, Konstruktionsteile und Verschmutzung berücksichtigt. Im Rahmen der Bauplanung werden jedoch meist die Rohbaumaße zugrunde gelegt und deswegen zunächst der Tageslichtquotient D_r (Index r für Rohbau) aus den entsprechenden Komponenten D_{Hr} , D_{Vr} und D_{Rr} für die Rohbauöffnungen ermittelt. Die Lichtminderung wird durch anschließende Multiplikation mit entsprechenden Korrekturfaktoren berücksichtigt:

$$D_r = D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr} \quad (12)$$

$$D = (D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_e \quad (13)$$

beziehungsweise für lichtstreuende Verglasungen

$$D_r = D_{dir,r} + D_{Rr} \quad (14)$$

$$D = (D_{dir,r} + D_{Rr}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_e \quad (15)$$

Hierin bedeuten:

τ_{D65} Transmissionsgrad (Begriff siehe DIN 5036 Teil 1) des Verglasungsmaterial für quasiparallelen, senkrechten Lichteinfall (Berechnung des Transmissionsgrades für Mehrfachverglasung siehe DIN 67507)

k_1 Verminderungsfaktor für Rahmen und Sprossenwerk; unter Vernachlässigung der von schrägem Lichteinfall herrührenden Verringerung gilt

$$\begin{aligned} k_1 &= 1 - \frac{\text{Fläche der Konstruktionsteile}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}} \\ &= \frac{\text{lichtdurchlässige Fläche}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}} \end{aligned} \quad (16)$$

k_2 Verminderungsfaktor für Verschmutzung (Anhaltswerte siehe Tabelle 1)

Tabelle 4.1: Abhängigkeit des Verminderungsfaktors k_2 vom Maß der Verschmutzung (Anhaltswerte)

Verschmutzung auf der		k_2
Außenfläche	Innenfläche	
gering	gering	0,9
	stark	0,7
mittel	gering	0,8
	stark	0,7
stark	gering	0,7
	stark	0,5

κ_3 Korrekturfaktor für nichtsenkrechten Lichteinfall; nach [1] genügt für die übliche Doppelverglasung die pauschale Annahme $\kappa_3 = 0,85$

κ_e Verminderungsfaktor für Schachtwirkung, besonders bei kleinflächigen Oberlichtern. κ_e ist nur dann einzusetzen, wenn die lichtmindernde Wirkung von Schachtwandungen (Laibungen) von Oberlichtern nicht schon anders, z.B. beim geometrischen Erfassen der Öffnungen berücksichtigt wurden. Man ermittelt aus Höhe h , Lichter Länge a , Lichter Breite b des Schachtes und dem lichttechnisch wirksamen Neigungswinkel der Schachtwand gegen die Horizontale g (siehe Bild) zunächst den Schachtindex

$$w = 0,5 \cdot \left(\frac{h_S}{a_S + 2 \cdot h_S / \tan \gamma_w} + \frac{h_S}{b_S + 2 \cdot h_S / \tan \gamma_w} \right) \quad (17)$$

Mit dem Reflexionsgrad ρ_S der Schachtwand lässt sich dann berechnen [2]:

$$\kappa_e = [(0,01 \cdot \gamma_w^\circ + 0,1)^{(1-\rho_S)}]_w \quad (18)$$

4.3.3 Berechnung des Himmelslichtanteils des Tageslichtquotienten D_{Hr}

Der Himmelslichtanteil D_{Hr} wird bei bedecktem Himmel für ein von Bezugspunkt P unter den Winkeln ε_V , β_{M} und β_{Vr} gesehenes Fenster (Bild 3) berechnet aus

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Hr}} &= \frac{3}{7\pi} \cdot \int_{\beta=\beta_{\text{F}}}^{\beta_{\text{Fr}}} \left[\frac{2}{3} \cdot (\sin^3 \gamma_{\text{F}} - \sin^3 \gamma_{\text{V}}) + \frac{1}{2} \cdot (\sin^2 \gamma_{\text{F}} - \sin^2 \gamma_{\text{V}}) \right] \cdot d\beta \cdot 100\% \\
 &= 13,64 \cdot \int_{\beta=\beta_{\text{F}}}^{\beta_{\text{Fr}}} \left[\frac{2}{3} \cdot (\sin^3 \gamma_{\text{F}} - \cos^3 \gamma_{\text{V}}) + (\sin^2 \gamma_{\text{F}} - \cos^2 \gamma_{\text{V}}) \right] \cdot d\beta\% \quad (19)
 \end{aligned}$$

Hierin bedeuten:

$$\gamma_{\text{F}} = \arctan(\tan \varepsilon_{\text{F}} \cdot \cos \beta) \quad (20)$$

$$\gamma_{\text{V}} = \arctan(\tan \varepsilon_{\text{V}} (\beta)) \quad (21)$$

ANMERKUNG 1: Im Zweifelsfall sollte die baurechtlich zulässige Verbauung statt der vorhandenen Verbauung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2: D_{Hr} kann auch mit graphischen Hilfsmitteln bestimmt werden. Verwendet werden vor allem das Himmelslichtdiagramm (Anwendungsbeispiel siehe [3], die stereographische Projektion nach Tonne [4] und der sogenannte Daylight Protractor [5].

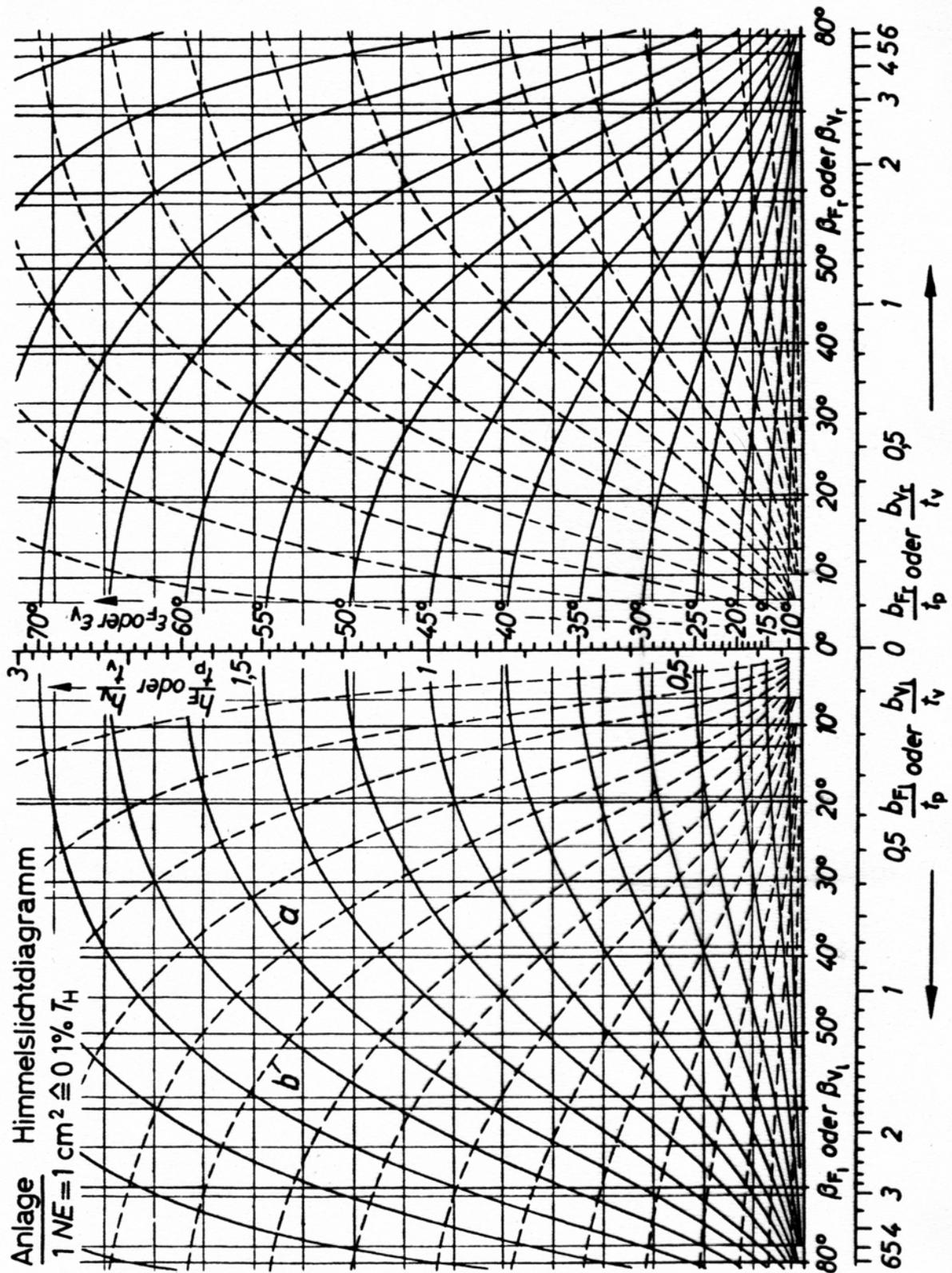


Bild 4.8: Himmelslichtdiagramm

4.3.4 Berechnung des Außenreflexionsanteils des Tageslichtquotienten D_{Vr}

Der Außenreflexionsanteil D_{Vr} wird bei bedecktem Himmel für einen Bezugspunkt P unter den Winkeln ε_V , β_{Vl} und β_{Vr} gesehenen Verbauungsausschnitt berechnet aus

$$D_{Vr} = c \cdot \frac{3}{7\pi} \cdot \int_{\beta=\beta_{Vl}}^{\beta_{Vr}} \left[\frac{2}{3} \cdot \sin^3 \gamma_V + \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \gamma_V \right] \cdot d\beta \cdot 100\% \quad (22)$$

Dabei bedeuten:

$$c = 0,75 \cdot \rho_V \quad (23)$$

$$\rho_V \quad \text{Reflexionsgrad der Verbauung. Ist der genaue Wert von } \rho_V \text{ unbekannt, soll angenommen werden: } \rho_V = 0,2 \quad (24)$$

$$\gamma_V = \arctan(\tan \varepsilon_V(\beta)) \quad (25)$$

ANMERKUNG: D_{Vr} kann ebenfalls mit den genannten Hilfsmitteln bestimmt werden. Auch bei der Berechnung von D_{Vr} sollte in Zweifelsfällen die baurechtlich zulässige Verbauung statt der tatsächlich vorhandenen Verbauung berücksichtigt werden.

$$D_V = A_V \cdot 0,15 \cdot 0,1\% \quad (26)$$

4.3.5 Berechnung des Direktanteils des Tageslichtquotienten $D_{dir,r}$

4.3.5.1 Volumenstreuende Verglasungen:

Materialien mit Volumenstreuung (trübe Materialien) haben meist ein hohes Streuvermögen. Dann kann $D_{dir,r}$ berechnet werden nach

$$D_{dir,d} = f(\alpha) \cdot \frac{1}{4\pi} \cdot \left[\frac{\beta_{Fl}}{\text{rad}} + \frac{\beta_{Fr}}{\text{rad}} - \int_{\beta=\beta_{Fl}}^{\beta_{Fr}} \cos 2\gamma_F \cdot d\beta \right] \cdot 100\% \quad (27)$$

Hierin bedeuten:

$$\gamma_F \quad \text{siehe Gleichung (20)}$$

$$f(\alpha) \quad \text{Fensterfaktor, Verhältnis der von Verbauungswinkel abhängigen Vertikalbeleuchtungsstärke auf der Fensterfläche } E_V(\alpha) \text{ zur Horizontalbeleuchtungsstärke } E_a$$

$$\begin{aligned} f(\alpha) &= f_o(\alpha) + f_u(\alpha) \\ &= E_V(\alpha) : E_a \end{aligned} \quad (28)$$

$$f_o(\alpha) \quad \text{Fensterfaktor, bestimmt durch den aus dem oberen Halbraum außen auf das Fenster fallenden Lichtstrom; abhängig vom Verbauungsabstandswinkel } \alpha$$

$$f_o(\alpha) = 0,3188 - 0,1822 \cdot \sin \alpha + 0,0773 \cdot \cos 2\alpha \quad (29)$$

$f_u(\alpha)$ Fensterfaktor, bestimmt durch den aus dem unteren Halbraum außen auf das Fenster fallenden Lichtstrom; abhängig vom Verbauungswinkel α

$$f_u(\alpha) = 0,3188 \cdot \cos \alpha' - 0,03638 \cdot \frac{\alpha'}{\text{rad}} + 0,01819 \cdot \sin(2\alpha') + 0,06714 \quad (30)$$

$$\alpha' = \arctan(2 \cdot \tan \alpha) \quad (31)$$

4.3.5.2 Durchsichtige und oberflächenstreuende Verglasungen:

Verglasungen mit Oberflächenstreuung (optisch klares Material mit nicht ebenen Grenzflächen) streuen das auffallende Licht nur schwach. Die Indikatrix des Leuchtdichtekoeffizienten q eines solchen Materials entspricht bei Beleuchtung durch den bedeckten Himmel etwa dessen Leuchtdichteverteilung. Es ist daher zulässig, die Berechnung des Direktanteils $D_{\text{dir},r}$ entsprechend der Berechnung von D_{Hr} und D_{Vr} durchzuführen:

$$D_{\text{dir},r} = D_{\text{Hr}} + D_{\text{Vr}} \quad (32)$$

ANMERKUNG: Ein genaueres Verfahren ist in [6] angegeben.

4.3.6 Berechnung des Innenreflexionsanteils des Tageslichtquotienten $D_{\text{R},r}$

4.3.6.1 Durchsichtige und oberflächenstreuende Verglasungen:

Der Mittelwert des Innenreflexionsanteils $D_{\text{R},r}$ wird berechnet

$$D_{\text{Rr}} = \frac{\sum b_{\text{F}} \cdot h_{\text{F}}}{A_{\text{R}}} \cdot \frac{\bar{\rho}}{1 - \rho^2} \cdot (f_{\text{o}} \cdot \rho_{\text{BW}} + f_{\text{u}} \cdot \rho_{\text{DW}}) \cdot 100\% \quad (33)$$

Dabei bedeuten:

A_{R} Raumboberfläche, Summe der Raumbegrenzungsflächen

$\bar{\rho}$ mittlerer Reflexionsgrad der Raumboberfläche

ρ_{BW} mittlerer Reflexionsgrad von Fußboden und Wandunterteil ohne Fensterwände (Wandunterteil bis zur Höhe der Fenstermitte)

ρ_{DW} mittlerer Reflexionsgrad von Decke und Wandoberteil ohne Fensterwände (Wandoberteil oberhalb der Höhe der Fenstermitte)

Bei ungleichmäßiger Verbauung mit unterschiedlichem Verbauungswinkel ist der arithmetische Mittelwert dieses Winkels zu bestimmen. Wenn dieses nicht sinnvoll erscheint, ist der Fensterfaktor über Horizontalbeleuchtungsstärke E_{a} und Vertikalbeleuchtungsstärke E_{v} auf der Fensterseite direkt zu bestimmen.

Liegt der betrachtete Punkt weiter als die halbe Raumtiefe von der Fensterwand entfernt, so ist mit dem kleinsten Innenreflexionsanteil statt des mittleren Innenreflexionsanteils zu rechnen; er kann mit Hilfe von Tabelle 2 ermittelt werden.

Tabelle 4.2

Farben nach Helligkeit	ρ (dunkel bis hell)	Naturfarbene Materialien	ρ (dunkel bis hell)
Rot	0,1 bis 0,5	Sichtbeton	0,25 bis 0,5
Gelb	0,25 bis 0,65	Sichtmauerwerk:	
Grün	0,15 bis 0,55	rote Ziegel	0,15 bis 0,3
Blau	0,1 bis 0,5	gelbe Ziegel	0,3 bis 0,45
Braun	0,1 bis 0,4	Kalksandstein	0,5 bis 0,65
Weiß (mittel)	0,7 bis 0,75	Holzflächen:	
Grau	0,15 bis 0,6	dunkel	0,1 bis 0,2
Schwarz	0,05 bis 0,1	mittel	0,2 bis 0,4
		hell	0,4 bis 0,5
Bodenplatten und -bahnen	ρ (dunkel bis hell)		
dunkel	0,1 bis 0,4	0,1 bis 0,15	
mittel	0,1 bis 0,4	0,2 bis 0,25	
hell	0,1 bis 0,4	0,3 bis 0,45	

Tabelle 4.3: Verhältnis des kleinsten zum mittleren Innenreflexionsanteil bei Räumen mit Seitenlicht

Wandhelligkeit	Reflexionsgrad ρ_W	$D_{Rr,min} / D_{Rr}$
dunkel	0,3	0,65
mittel	0,5	0,75
hell	0,7	0,85

Gleichung (32) vereinfacht sich bei Oberlichtern zu

$$D_{Rr} = \frac{k_e \cdot E_F \cdot \Sigma A_{Fr} \cdot \bar{\rho}_u \cdot \bar{\rho}}{E_a \cdot A_R \cdot (1 - \rho^2)} \cdot 100\% \quad (34)$$

Hierin bedeuten:

- E_F Beleuchtungsstärke auf der Ebene der Oberlichter (abhängig von der Neigung; bei $\gamma_F = 0^\circ$ ist $E_F = E_a$)
- ΣA_{Fr} Gesamtfläche der Rohbauöffnungen aller Oberlichter des Raumes
- $\bar{\rho}$ mittlerer Reflexionsgrad von Wänden und Boden

4.3.6.2 Volumenstreuende Verglasungen:

Unter der vereinfachenden Annahme vollkommen diffuser Transmission der Verglasung lässt sich $D_{R,r}$ berechnen aus

$$D_{Rr} = \frac{\sum b_F \cdot h_F}{A_R} \cdot \frac{\bar{\rho} (\rho_{BW} + \rho_{DW})}{1 - \rho^2} \cdot \frac{f(\alpha)}{2} \cdot 100\% \quad (35)$$

4.3.7 Mittelwert des Tageslichtquotienten in Räumen mit Oberlichtern

Das hier beschriebene Verfahren entspricht dem Wirkungsgradverfahren, das bei der Beleuchtung mit Kunstlicht angewendet wird [7]. Zunächst wird der Raumindex κ aus den Raumabmessungen berechnet:

$$\kappa = \frac{b \cdot a}{h \cdot (b + a)} \quad (36)$$

Für verschiedene Kombinationen von Raumindex und Raumanstrich werden in den Tabellen 3 bis 14 Raumwirkungsgrade η_R angegeben, die bei Lichtkuppeln für verschiedene Neigungen der Schachtwand γ_w (30, 60 und 90°) sowie Seitenverhältnisse $a_S : b_S$ und $h_S : b_S$ berechnet werden (siehe Bild 4.9) [2]. Für Shedoberlichter wurden die Berechnungen für verschiedene Verhältnisse der lichtdurchlässigen zur Gesamtfläche der unter γ_F geneigten Dachflächenteile, verschiedene Neigungen der den Oberlichtern gegenüberliegenden Wände γ_w und verschiedenen Neigungen der Verglasung γ_F durchgeführt. (siehe Bild 4.10) (Tabellen 15 bis 38). Nötigenfalls sind in die Gleichung für den mittleren Tageslichtquotienten D interpolierte Werte für η_R einzusetzen:

$$\bar{D} = D_a \cdot \tau_{D65} \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \frac{\sum A_F}{A_R} \cdot \eta_R \cdot 100\% \quad (37)$$

Dabei ist der sogenannte Außentageslichtquotient D das Verhältnis der Beleuchtungsstärke auf der Außenseite des Oberlichtes E_F zur Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien E_a :

$$D_a = E_F / E_a \quad (38)$$

ANMERKUNG: Die Berechnung von E_F und E_a erfolgt nach DIN 5034 Teil 2.

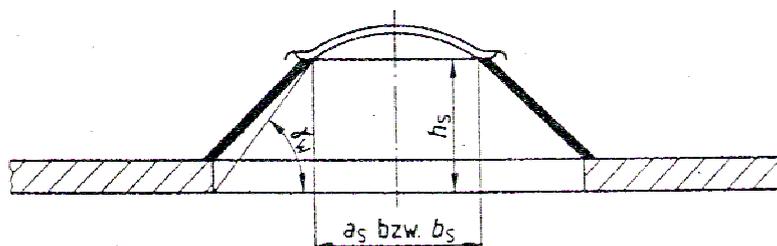


Bild 4.9: Größen zur Tageslichtberechnung für Räume mit Lichtkuppeln

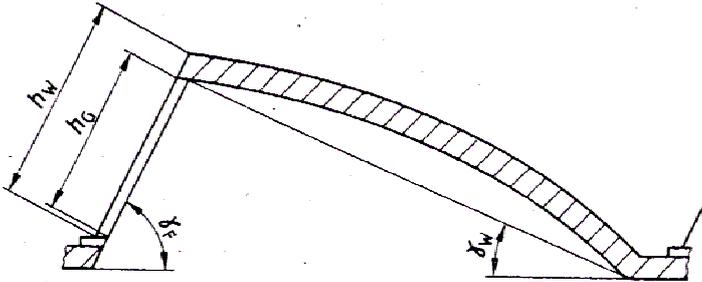


Bild 4.10: Größen zur Tageslichtberechnung für Räume mit Sägedachoberlichtern (Sheds)

4.4 Anforderungen gem. DIN 5034

4.4.1 Wohnräume

a) ausreichende Helligkeit

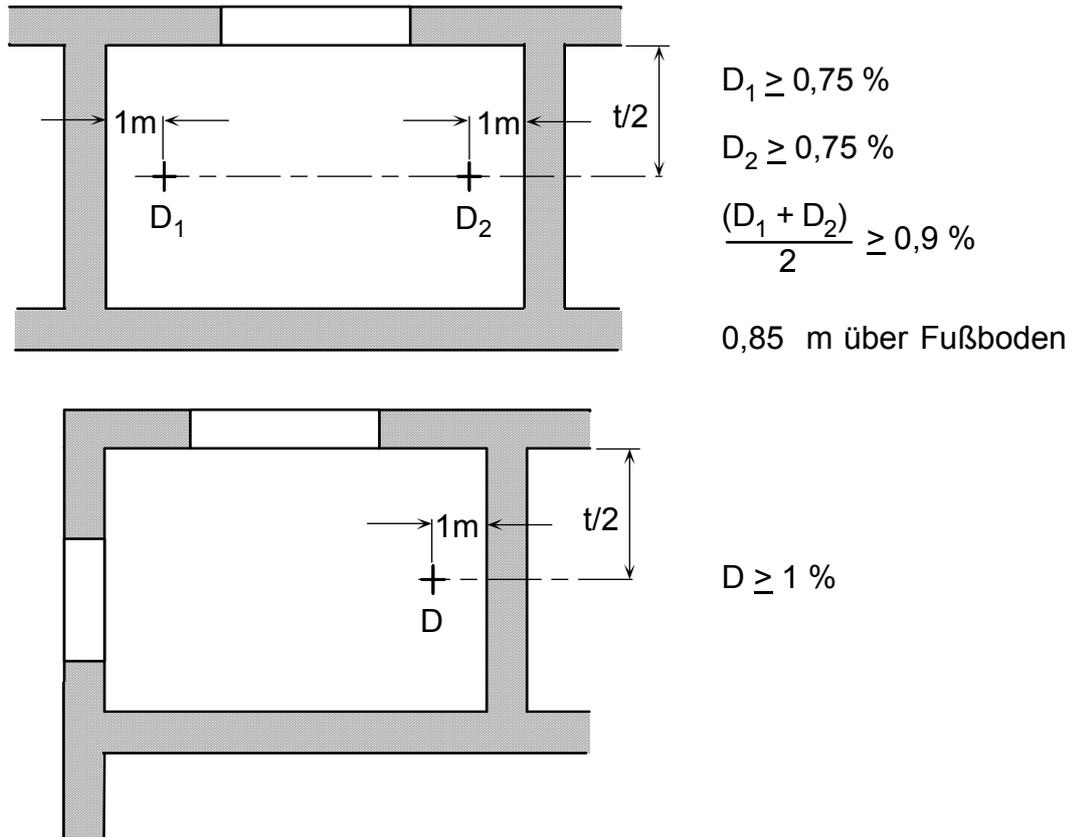


Bild 4.11

b) Sichtverbindung nach außen

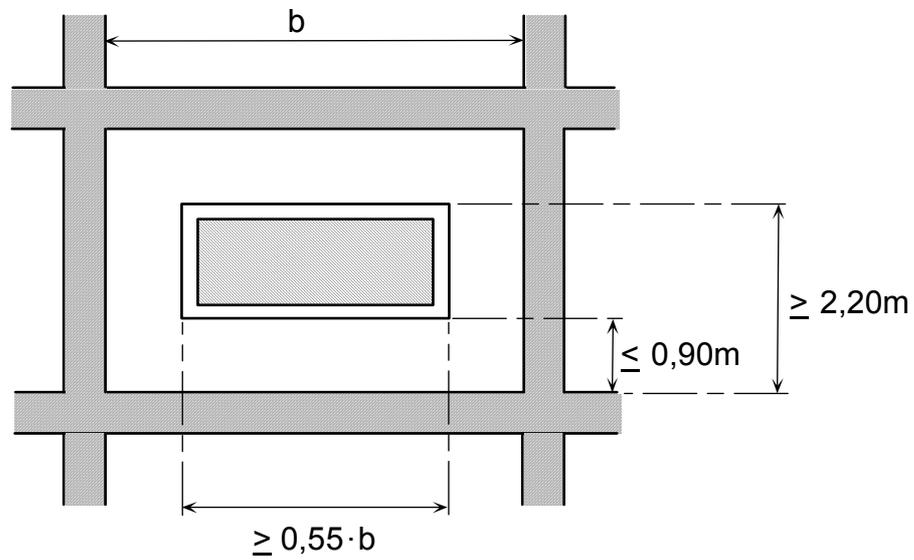


Bild 4.12

c) Besonnbarkeit

Die mögliche Besonnungsdauer in Fenstermitte in mindestens einem Aufenthaltsraum einer Wohnung zur Tag- und Nachtgleiche sollte wenigstens 4 h betragen

4.4.2 Arbeitsräume

a) ausreichende Helligkeit

Falls folgende Maße nicht wesentlich überschritten werden:

Raumhöhe 3,50 m; Tiefe 6,00 m; Fläche 50m²

→ wie bei Wohnräumen

Für andere Räume keine Forderungen formulierbar!

b) Sichtverbindung nach außen

- Raumhöhe $\leq 3,50$ m $f(1 - r) \geq 0,30$

- Raumhöhe $> 3,50$ m und Räume mit o.g. Maßen

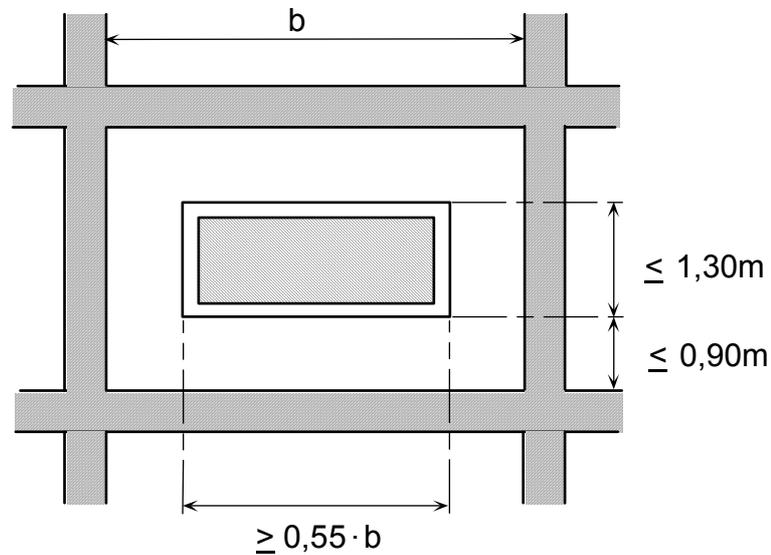


Bild 4.13

4.4.3 Krankenzimmer

→ wie bei Wohnräumen, zusätzlich

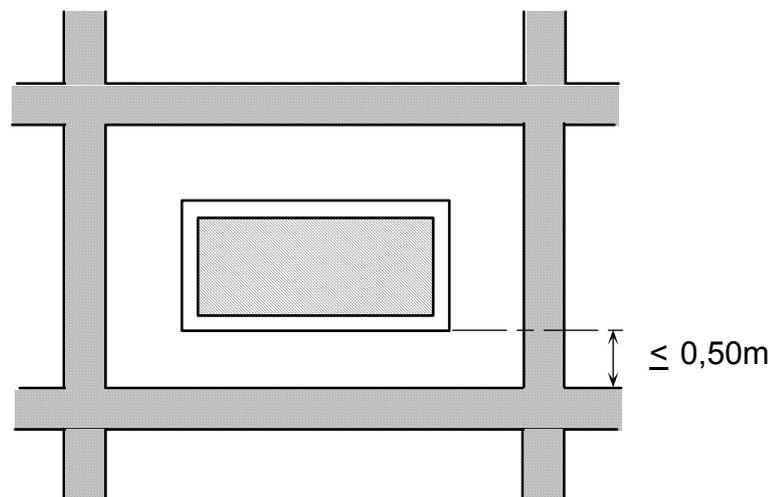


Bild 4.14

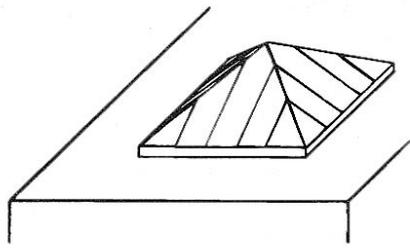
5 Räume mit Oberlicht¹

5.1 Verwendete Formelzeichen

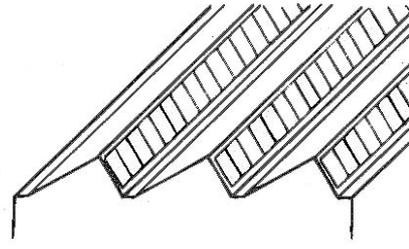
Bezeichnung	Symbol	Einheit
Gesamtfläche der Lichtöffnung (Rohbaumaße)	A_F	m^2
Raumlänge	a	m
lichte Länge eines Oberlichtes	a_F	m
lichte Länge des Lichtschachtes	a_S	m
Raubbreite	b	m
lichte Breite des Oberlichts	b_F	m
lichte Breite des Lichtschachtes	b_S	m
Tageslichtquotient	D	%
Himmelslichtanteil des Tageslichtquotienten	D_H	%
mittlerer Tageslichtquotient	D_M	%
Maximalwert des Tageslichtquotienten	D_{max}	%
Minimalwert des Tageslichtquotienten	D_{min}	%
mittlerer Tageslichtquotient in Räumen mit Oberlicht	D_{OL}	%
Innenreflexionsanteil des Tageslichtquotienten	D_R	%
Außenreflexionsanteil des Tageslichtquotienten	D_V	%
Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien	E_a	1x
Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035 Teil 1	E_n	1x
Beleuchtungsstärke an einem Punkt	E_p	1x
Verhältnis von minimaler zu mittlerer Beleuchtungsstärke	g_1	1
Verhältnis von minimaler zu maximaler Beleuchtungsstärke	g_2	1
Raumhöhe	h	m
Höhe über der Nutzebene	h_N	m
Höhe des Lichtschachts	h_S	m
Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Versprossung	k_1	1
Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verschmutzung	k_2	1
Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Verringerung der Transmission durch nicht senkrechten Lichteinfall	k_3	1
Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Form der Oberlichter	k_4	1
Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Lichtschachts	k_e	1
Anzahl der Oberlichter	n	
Schachtindex	w	
Neigungswinkel der lichtdurchlässigen Fläche	γ_F	°
Neigungswinkel der Lichtschachtwände	γ_W	°
Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Raumlänge	ϑ_a	1
Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Raumbreite	ϑ_b	1
Reflexionsgrad des Bodens	ρ_B	1
Reflexionsgrad der Decke	ρ_D	1
Reflexionsgrad der Lichtschachtwände	ρ_S	1
Reflexionsgrad der Wände	ρ_W	1
Transmissionsgrad des Verglasungsmaterials	τ_{D65}	1
Winkel zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumlänge	φ_a	°
Winkel zur Berücksichtigung der Lichtminderung durch die Raumbreite	φ_b	°

¹ Dieses Kapitel enthält umfangreiche Teile der Broschüre: Lichtkuppeln und Lichtbänder, Tageslichtberechnung im Detail des Fachverbandes Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V.

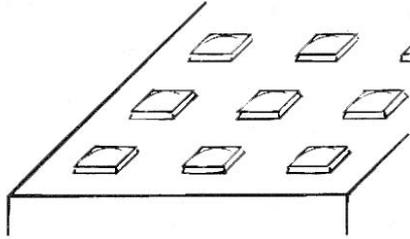
5.2 Übliche Bauformen²



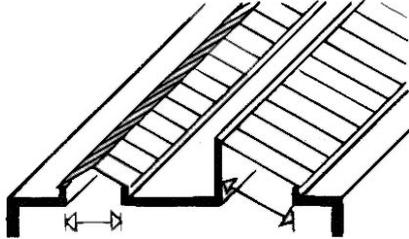
Einzeloberlicht



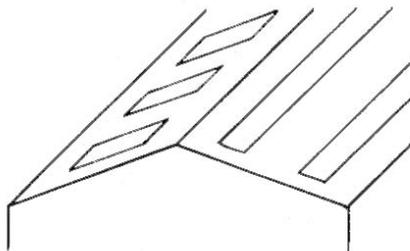
Sheddach



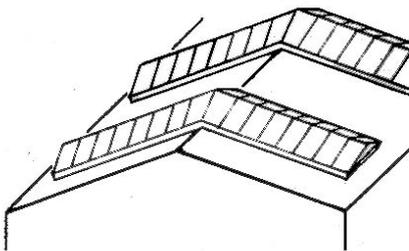
Oberlichter



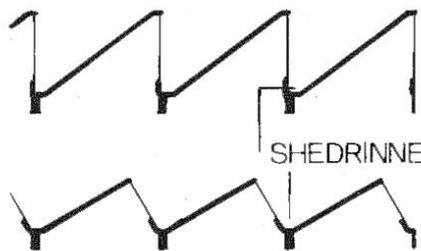
Glassatteldach/ Pultdach



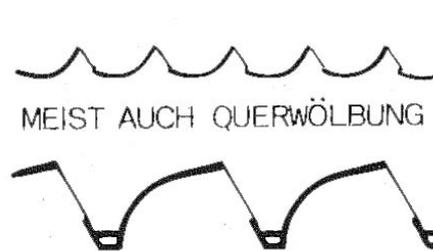
Dachflächenoberlichter



Raupenoberlichter



Laternendächer



Monitordächer

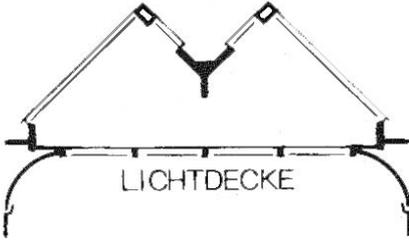
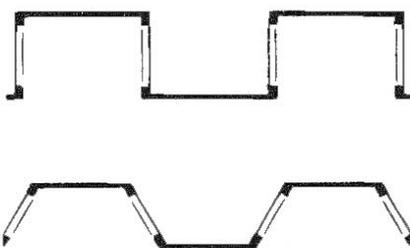


Bild 5.1 Oberlichter – übliche Bauformen

² Lutz/Jenisch/Klopfer/Freymuth/Krampf/Petzold, Lehrbuch der Bauphysik.

5.3 Charakteristische Tageslichtquotientenverläufe und Gütekriterien

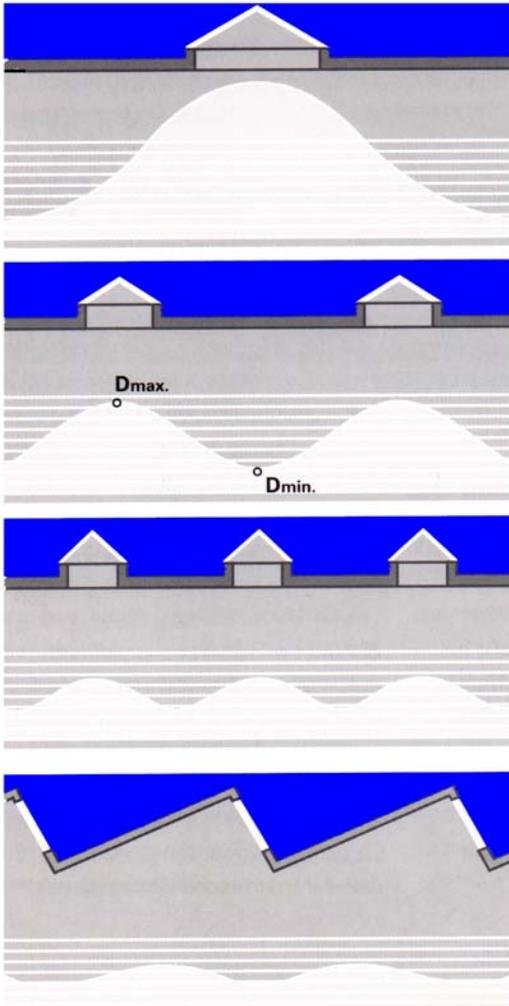


Bild 5.2 Form und Anordnung der Tageslichtöffnungen bestimmen Minimum und Maximum des Tageslichtquotienten und damit die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung.

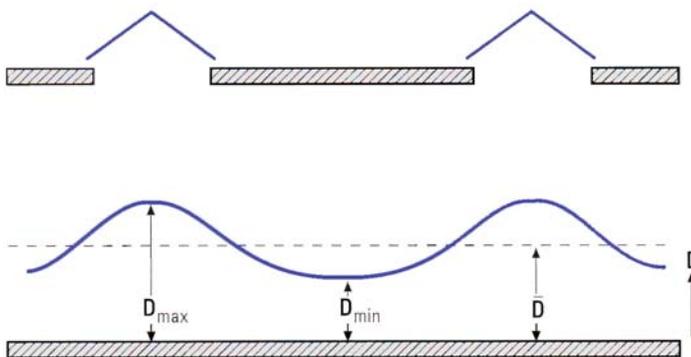


Bild 5.3: Die Gleichmäßigkeit wird als Verhältnis von minimaler zu mittlerer Beleuchtungsstärke bzw. als Verhältnis von minimaler zu maximaler Beleuchtungsstärke definiert.

5.3.1 Gleichmäßigkeit der Beleuchtung

Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung wird in der Tageslichttechnik durch die Gleichmäßigkeit 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 Gleichmäßigkeit 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 Abmessung von Dachlichtbändern so zu wählen, dass deren Breite nicht größer ist als die halbe Raumhöhe.

$$g_1 < 1:2 \text{ besser } g_2 > 1:1,5 \quad b_{OL} < h/2.$$

5.3.2 Empfehlungen

$$4 \% < D_{\text{mittel}} < 10 \%$$

5.4 Berechnungsvorschrift

$$D_m = \frac{A_F}{a \cdot b} \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \vartheta_a \cdot \vartheta_b \cdot 100\% \cdot \left(1 + \frac{\rho_B \cdot \rho_D}{1 - \rho_B \cdot \rho_D} \right)$$

Da Räume mit Oberlichtbeleuchtung in der Regel eine große Grundfläche aufweisen und demzufolge der Anteil der Wandflächen 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_D und ρ_B , so vereinfacht sich die Formel durch die Einsetzung der Näherungswerte auf

$$D_m = \frac{A_F}{a \cdot b} \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \vartheta_a \cdot \vartheta_b \cdot 108,99.$$

5.4.1 Lichtreflexionsgrad ρ_{D65} und Lichttransmissionsgrad τ_{D65}

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 Lichttransmissionsgrad τ_e gibt das Verhältnis des vom Material durchgelassenen Strahlungsflusses zum auftreffenden Strahlungsfluss an.

Winkelabhängigkeit

Lichtreflexion und Lichttransmission werden 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 Transmissionsgrad 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 detaillierte 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.

Tabelle 5.1 Näherungswerte für Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Näherungswerte für Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen:		
für die Decke	ρ_D	= 0,55
für die Wände	ρ_W	= 0,35
für den Boden	ρ_B	= 0,15
für den Lichtschacht	ρ_S	= 0,55

Tabelle 5.2 Lichttransmissionsgrade τ_{D65} einiger lichtdurchlässiger Materialien

Material	Dicke [mm]	τ_{D65} [%]
Fensterglas	3	ca. 90
Drahtglas	7	75...85
Drahtspiegelglas	7	ca. 85
Milchglas		10...40
Mattglas		50...75
Sonnenschutzglas (Colarex 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, glasfaserverstärkt (GF-UP)	3	85
Polycarbonat (PC), farblos	3	86
PVC, farblos	3	80...90
PVC, gelblich durchscheinend	3	30...60

Tabelle 5.3: Lichtreflexionsgrad ρ_{D65} einiger lichtundurchlässiger Materialien

Material	ρ_{D65} [%]
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

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

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

$$k_1 = \frac{\text{Fläche der lichtdurchlässigen Bauteile}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}}$$

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.

Tabelle 5.4: Anhaltenswerte für den Minderungseinfluss der Versprossung.

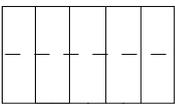
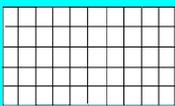
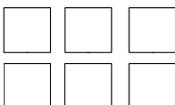
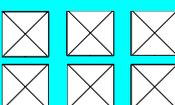
Minderung der Transmission durch Versprossung Faktor 1		
	Oberlichter	Minderungsfaktor k_1
	Oberlichter mit Metallspalten	0,8...0,9
	Oberlichter mit Betongläsern	0,4...0,6
	Lichtkuppeln	1
	Versprossete Einzeloberlichter	0,85...0,95

Tabelle 5.5: Richtwert für den Minderungseinfluss der 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 Gegenden, abgelegene Vororte	300...400	gering	0,80	0,85	0,90
		stark	0,55	0,60	0,70
Dichtbesiedelte Wohngegenden	600...800	gering	0,70	0,75	0,80
		stark	0,45	0,50	0,60
Industriegebiet	1200...1600	gering	0,55	0,6	0,7
		stark	0,3	0,4	0,5

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 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 $k_2 = 0,8$ festgesetzt.

5.4.3 Schachteinfluss

Der Korrekturfaktor k_4 berücksichtigt die Verminderung des einfallenden Lichtstromes durch den Lichtschacht, die Einbauform der lichtdurchlässigen Fläche und ihren Neigungswinkel γ_F gegen die Horizontale.

Tabelle 5.6: Korrekturfaktor k_4 für verschiedene Bauformen

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

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

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

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

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.

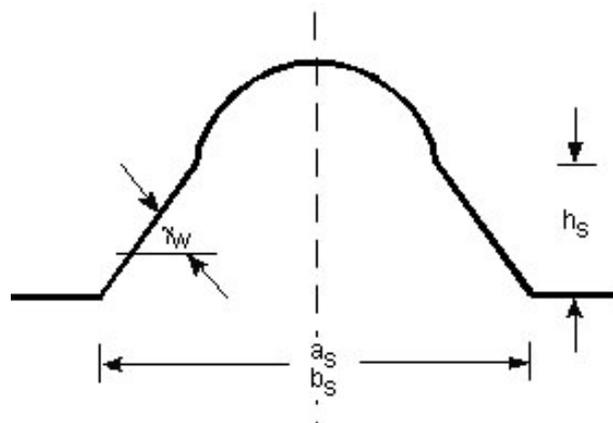


Bild 5.4: Beispiel eines Schachtes

5.4.4 Raumproportionen

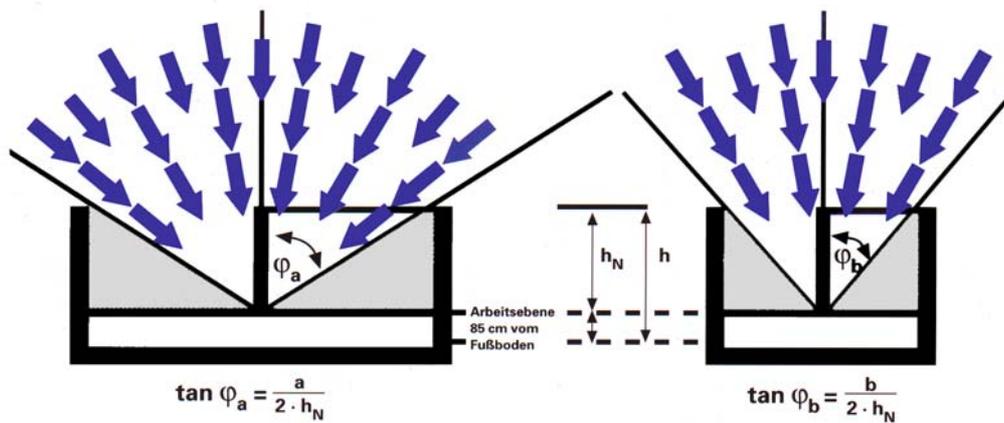


Bild 5.5: Die Raumproportionen werden durch die Winkel φ_a und φ_b bestimmt

Die beiden Raumwinkelkenngößen ϑ_a und ϑ_b werden auch "Relative Tageslichtquotienten" genannt. Sie geben an, wie viel von dem im Freien verfügbaren Himmelslicht durch die Raumabmessungen verloren geht. Dabei ist bereits berücksichtigt, dass der Himmel zum Horizont hin schwächer leuchtet als im Zenit. Um die gesamte Lichtminderung durch die Raumproportion zu erfassen, müssen beide ϑ -Werte miteinander multipliziert werden.

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

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

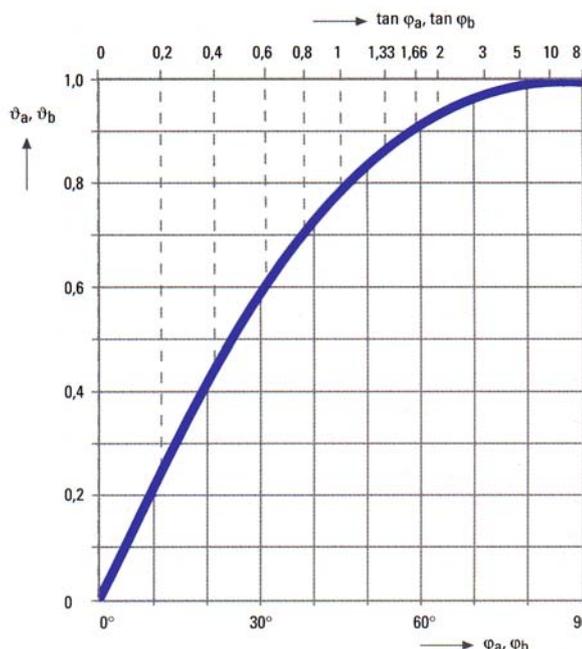


Bild 5.6: Diagramm zur grafischen Ermittlung der Minderungsfaktoren ϑ_a und ϑ_b der Raumproportionen in Abhängigkeit von den Winkeln φ_a bzw. φ_b oder den Zahlenwerten $\tan \varphi_a$ bzw. $\tan \varphi_b$.

6 Beispiele

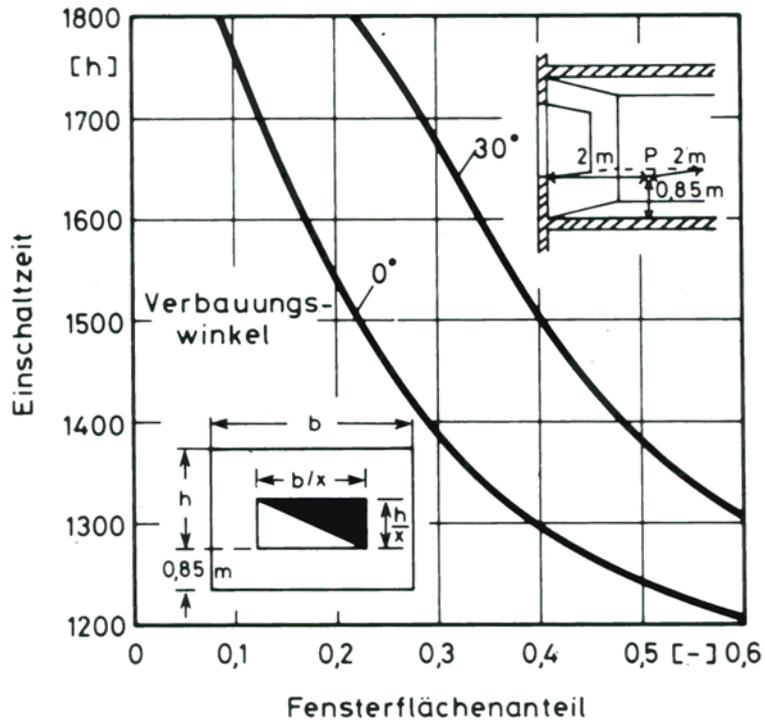


Bild 6.1

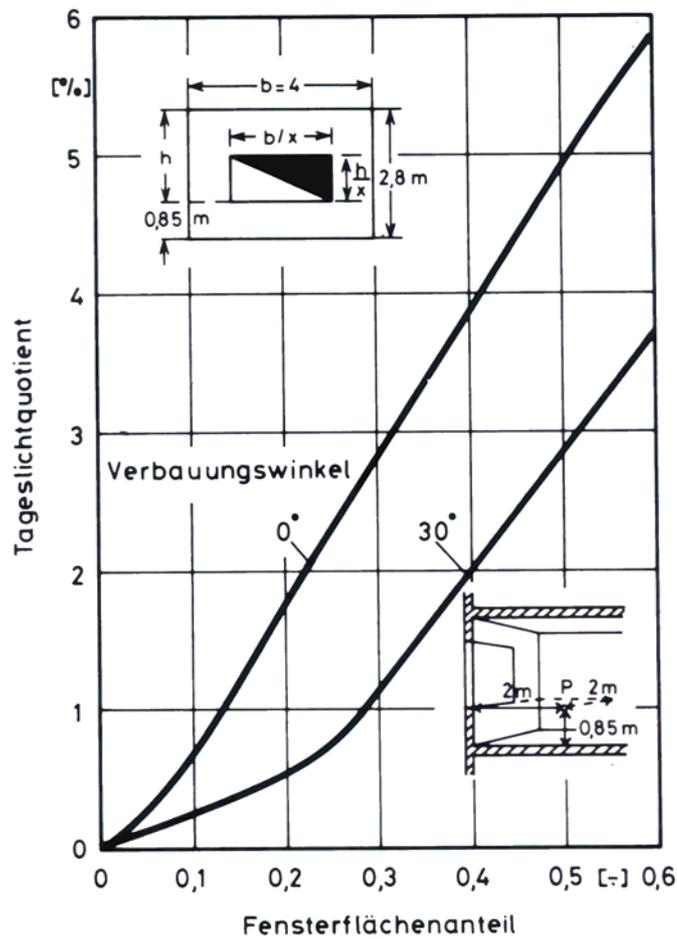


Bild 6.2

7 Gütekriterien der Beleuchtung

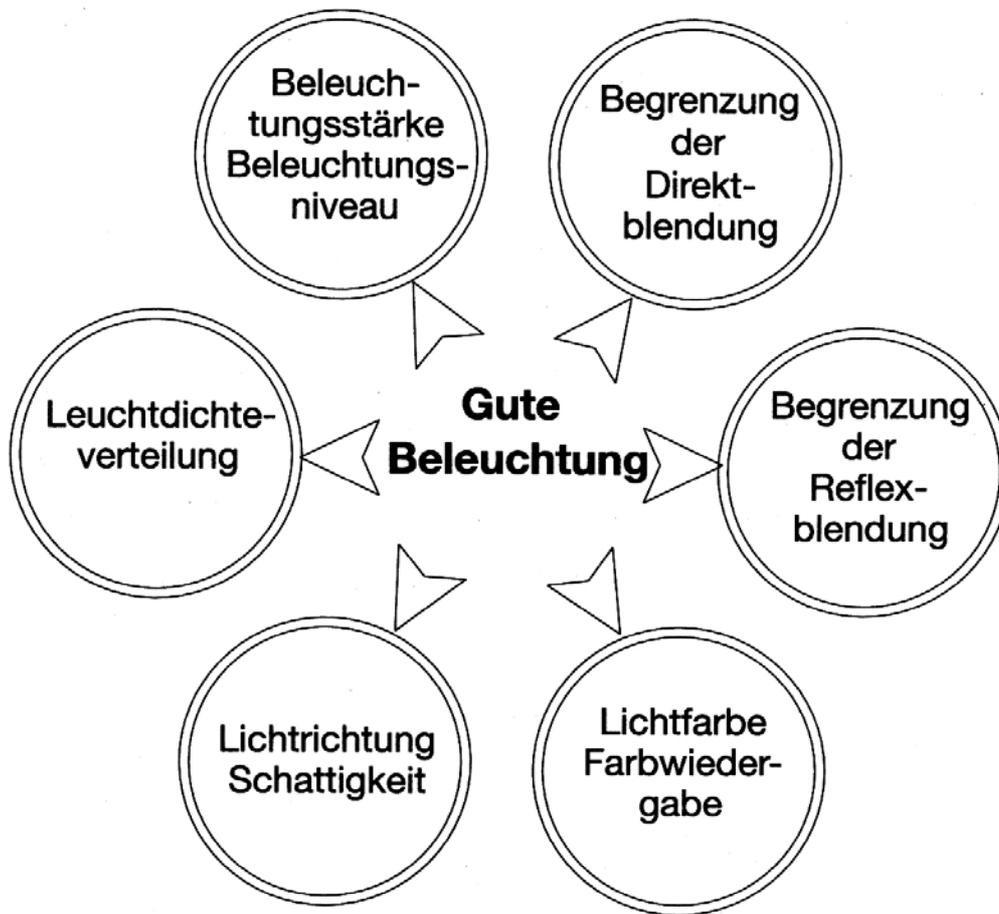


Bild 7.1: Güteerkmale der Beleuchtung nach DIN 5035

8 Empfohlene Beleuchtungsstärken

Tabelle 8.1: Stufen der Nennbeleuchtungsstärken.

Stufe	Nennbeleuchtungsstärke E (lx)	Zuordnung von Sehaufgaben
1	15	---
2	30	Orientierung; nur vorübergehender Aufenthalt
3	60	---
4	120	Leichte Sehaufgaben; große Details mit hohen Kontrasten
5	250	---
6	500	Normale Sehaufgaben; mittelgroße Details mit mittleren Kontrasten
7	750	---
8	1000	Schwierige Sehaufgaben; kleine Details mit geringen Kontrasten
9	1500	---
10	2000	Sehr schwierige Sehaufgaben; sehr kleine Details mit sehr geringen Kontrasten
11	3000	---
12	5000 und mehr	Sonderfälle; z.B. Operationsfeldbeleuchtung