

HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFT UND KUNST

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen in Hildesheim

**Vorlesungsskripte zur Bauphysik
Masterstudium**

Tageslicht

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Lichttechnische Grundbegriffe	2
3	Tageslichtquotient	6
3.1	Berechnung.....	7
3.2	Gütekriterien der Tageslichtbeleuchtung.....	9
3.3	Mindestanforderungen	10

1 Einleitung

Licht ist ein Teil der von einer Lichtquelle ausgehenden elektromagnetischen Strahlung es wird sichtbar, wenn man direkt in die Strahlungsquelle blickt oder wenn das Auge den von einer Fläche reflektierten Strahlungsanteil wahrnimmt

der sichtbare Anteil der Strahlung (VIS):

- beginnt etwa bei einer Wellenlänge von 380 nm (Farbempfindung Violett)
- und endet etwa bei 780 nm (Farbempfindung Rot)
- maximale Empfindlichkeit des menschlichen Auges liegt tags bei 555 nm

der Spektralbereich außerhalb des sichtbaren Lichtes

- mit kürzeren Wellenlängen wird als Ultraviolett-Strahlung (UV) bezeichnet,
- der längerwellige als Infrarot-Strahlung (IR- oder Wärmestrahlung)

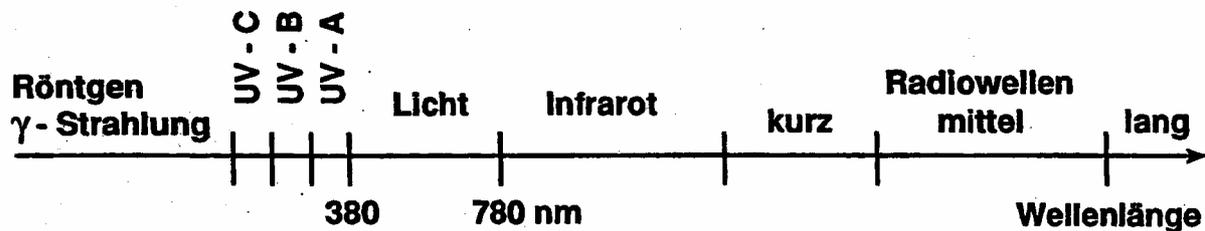


Bild 1-1 Darstellung der Aufteilung der Wellenlängenbereiche für elektromagnetische Strahlung

2 Lichttechnische Grundbegriffe

Das menschliche Auge kann sich verschiedenen Helligkeitsverhältnissen gut anpassen:

gute Adaption des menschlichen Auges

je nach Tag- oder Nachthelligkeit wird die maximale Empfindlichkeit in einen anderen Wellenlängenbereich verschoben

dabei registriert das Auge die verschiedenen Leuchtdichten in seinem Gesichtsfeld

nicht linear, sondern mit verschiedener Empfindlichkeit

Flächen gleicher Leuchtdichte werden in hellerer Umgebung dunkel, in dunkler Umgebung aber als hell empfunden

weitere Voraussetzungen für ein gutes Sehen:

Kontrast der betrachteten Gegenstände

ihre Mindestgröße und

das Verweilen im Blickfeld

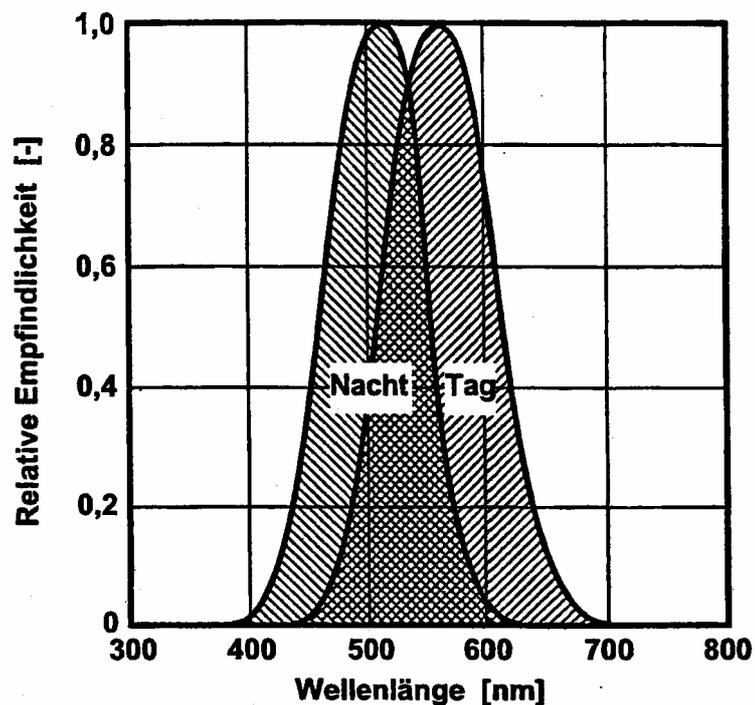


Bild 2-1 Relative Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Abhängigkeit von der Wellenlänge für den Tag und die Nacht

Festgelegte Kenngrößen im Bereich der Lichttechnik im SI-Einheitensystem:

Lichtstärke: Maß für die Lichtausstrahlung in einer bestimmten Richtung

Lichtstrom in einem bestimmten Raumwinkel; entspricht der Lichtleistung der Lichtquelle

Der insgesamt von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene Lichtstrom kann räumlich gemessen werden, zum Beispiel als Integration über viele Einzelmessungen der Lichtstärke im Raumwinkelement auf einer um die Lichtquelle gedachten Hohlkugel

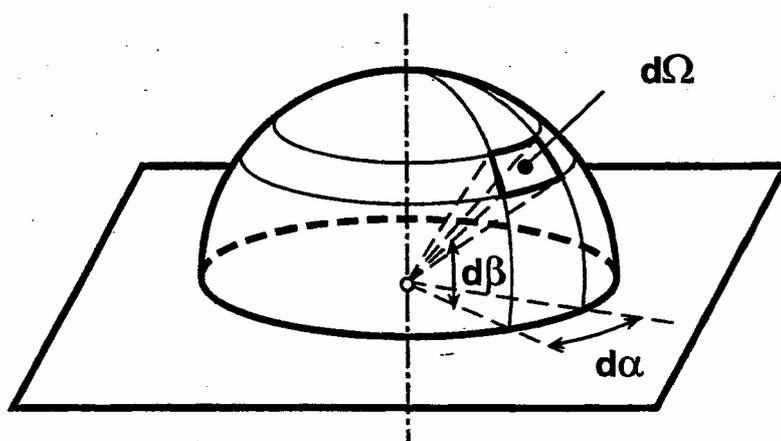


Bild 2-2 Schematische Darstellung eines Kugelhalbraumes

Ω Raumwinkel
 β Breitenwinkel
 α Azimut

Vereinfachend wird der Lichtstrom durch Multiplikation der Lichtstärke mit dem Raumwinkel berechnet:

$$\Phi = I \omega \text{ [lm]} \quad (2-1)$$

mit

Φ :	Lichtstrom	[lm]	[Lumen]
I:	Lichtstärke	[cd]	[Candela]
ω :	Raumwinkel	[Sr]	[Steradian]

Der Lichtstrom ist nach Definition der „sichtbare“ Anteil der von einer Lichtquelle ausgehenden oder an einer Fläche reflektierten Strahlung, bewertet nach dem Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges

Beleuchtungsstärke:

- Lichtstrom pro Flächeneinheit
- Maß für das auf eine Fläche auftreffende Licht
- Quotient des auftreffenden Lichtstroms und der beleuchteten Fläche:

$$E = \Phi / A \text{ [lx]} \quad (2-2)$$

mit

E:	Beleuchtungsstärke	[lx]	[Lux]
Φ :	Lichtstrom	[lm]	[Lumen]
A:	beleuchtet Fläche	[m ²]	

Situation	Beleuchtungsstärke [lx]
<u>Außen:</u>	
Himmel sonnig	100.000
bedeckt, Sommer	20.000
bedeckt, Winter	5.000
Vollmond	0,25
Neumond	0,01
Straßenbeleuchtung	20

Tab. 2-1 Beleuchtungsstärke verschiedener Lichtquellen

Die horizontale Beleuchtungsstärke der Himmelsstrahlung hängt ab von:

der wahren Ortszeit

von der Sonnenhöhe

vom Bedeckungsgrad des Himmels (vgl. die diffuse Himmelsstrahlung mit der Gesamtstrahlung (direkt + diffus))

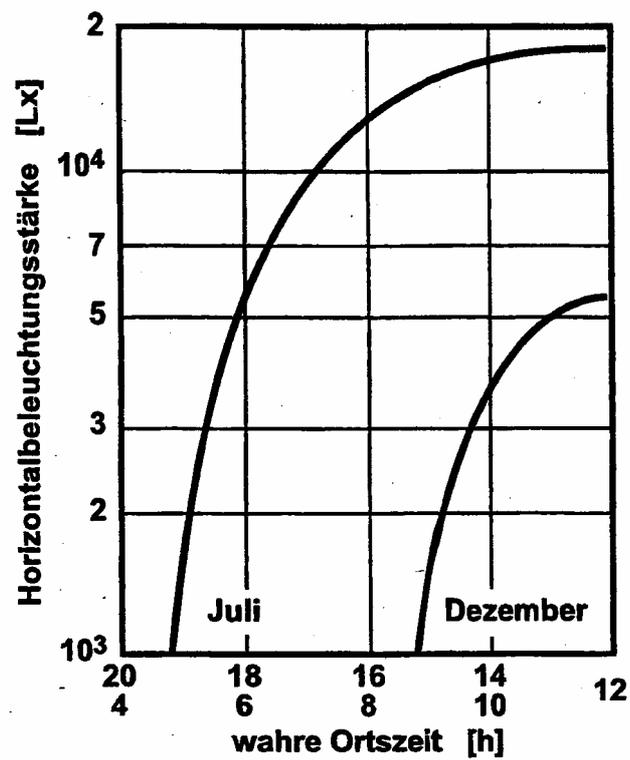


Bild 2-3 Horizontalbeleuchtungsstärke der Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Ortszeit

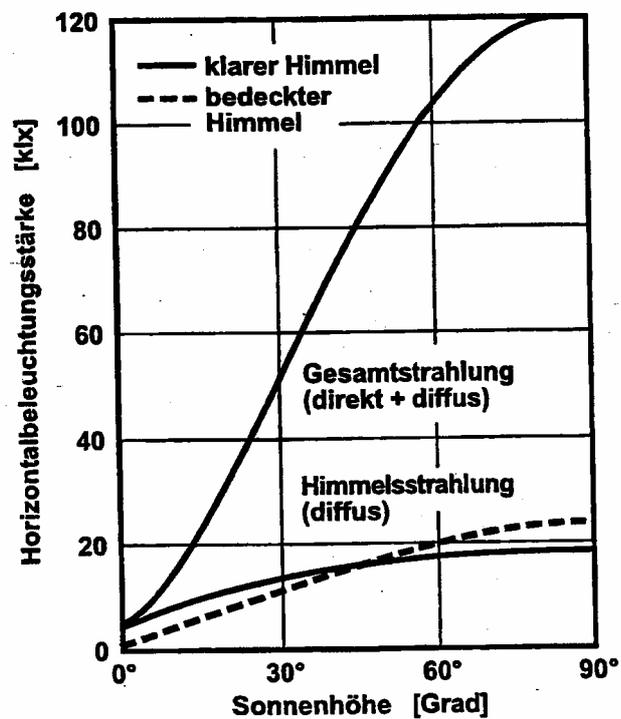


Bild 2-4 Horizontalbeleuchtungsstärke der Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe

Die Leuchtdichte:

wird definiert als Lichtstärke bezogen auf die gesehene Fläche

ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von der Fläche hat

Einheit: [cd/m^2]

3 Tageslichtquotient

zur Bemessung von Fenstern und anderen Tageslichtöffnungen bei der Planung von Gebäuden sind zu berücksichtigen:

Abhängigkeit der Tageslichtverhältnisse und der Beleuchtungsstärken von der Tages- und Jahreszeit

Verhältnis der vorhandenen Helligkeiten im Raum und außerhalb des Gebäudes (wird als Beurteilungskriterium herangezogen)

Normative Vorgaben werden in der DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ beschrieben, folgende Teile existieren:

DIN 5034-1: Allgemeine Anforderungen

DIN 5034-2: Grundlagen

DIN 5034-3: Berechnung

DIN 5034-4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume

DIN 5034-5: Messung

DIN 5034-6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen

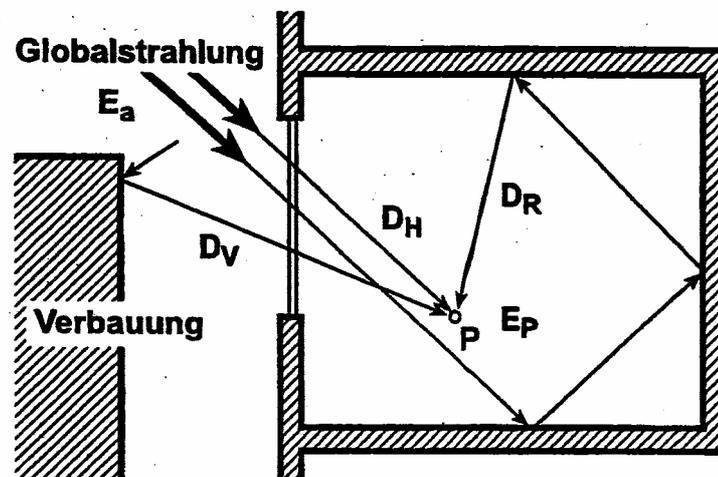


Bild 3-1 Schematische Darstellung eines Raumes mit der Angabe der direkten und reflektierten Strahlung auf der Höhe der Brüstung (bei Punkt P)

3.1 Berechnung

Das Verhältnis der horizontalen Beleuchtungsstärke eines beliebigen Punktes im Raum zur Beleuchtungsstärke einer waagrechten Fläche im Freien bezeichnet man als Tageslichtquotient:

$$D = E_p / E_a \quad [-] \quad (3-1)$$

D:	Tageslichtquotient	[%] oder [-]
E _p :	horizontale Beleuchtungsstärke eines beliebigen Punktes in Höhe der Fensterbrüstung im Raum	[lx]
E _a :	Beleuchtungsstärke einer waagrechten Fläche im Freien bei bedecktem Himmel (ohne Verbauung)	[lx]

Der Tageslichtquotient setzt sich zusammen aus mehreren Teilen (vgl. DIN 5034-3):

$$D = D_H + D_V + D_R \quad [-] \quad (3-2)$$

D _H :	Himmelslichtanteil	[-]
D _V :	Außenreflexionsanteil	[-]
D _R :	Innenreflexionsanteil	[-]

dabei gilt wiederum:

Himmelslichtanteil (aus dem Himmelslichtdiagramm zu entnehmen):

$$D_H = (A_{NF} - A_{NV}) \cdot 0,1 \% \quad [-] \quad (3-3)$$

A _{NF} :	umschlossene Netzeinheiten des Fensters	[NE]
A _{NV} :	umschlossene Netzeinheiten der Verbauung	[NE]
		(1 NE = 1 cm ²)

Außenreflexionsanteil (aus dem Himmelslichtdiagramm zu entnehmen):

$$D_V = A_{NV} \cdot 0,15 \cdot 0,1 \% \quad [-] \quad (3-4)$$

die Leuchtdichte der Verbauung beträgt 15 % der durch die Verbauung verdeckten Himmelsleuchtdichte (diese wird bei völlig bedecktem Himmel, d.h. bei diffusem Licht ermittelt)

Innenreflexionsanteil:

Berechnungsformel ist der DIN 5034-3 zu entnehmen

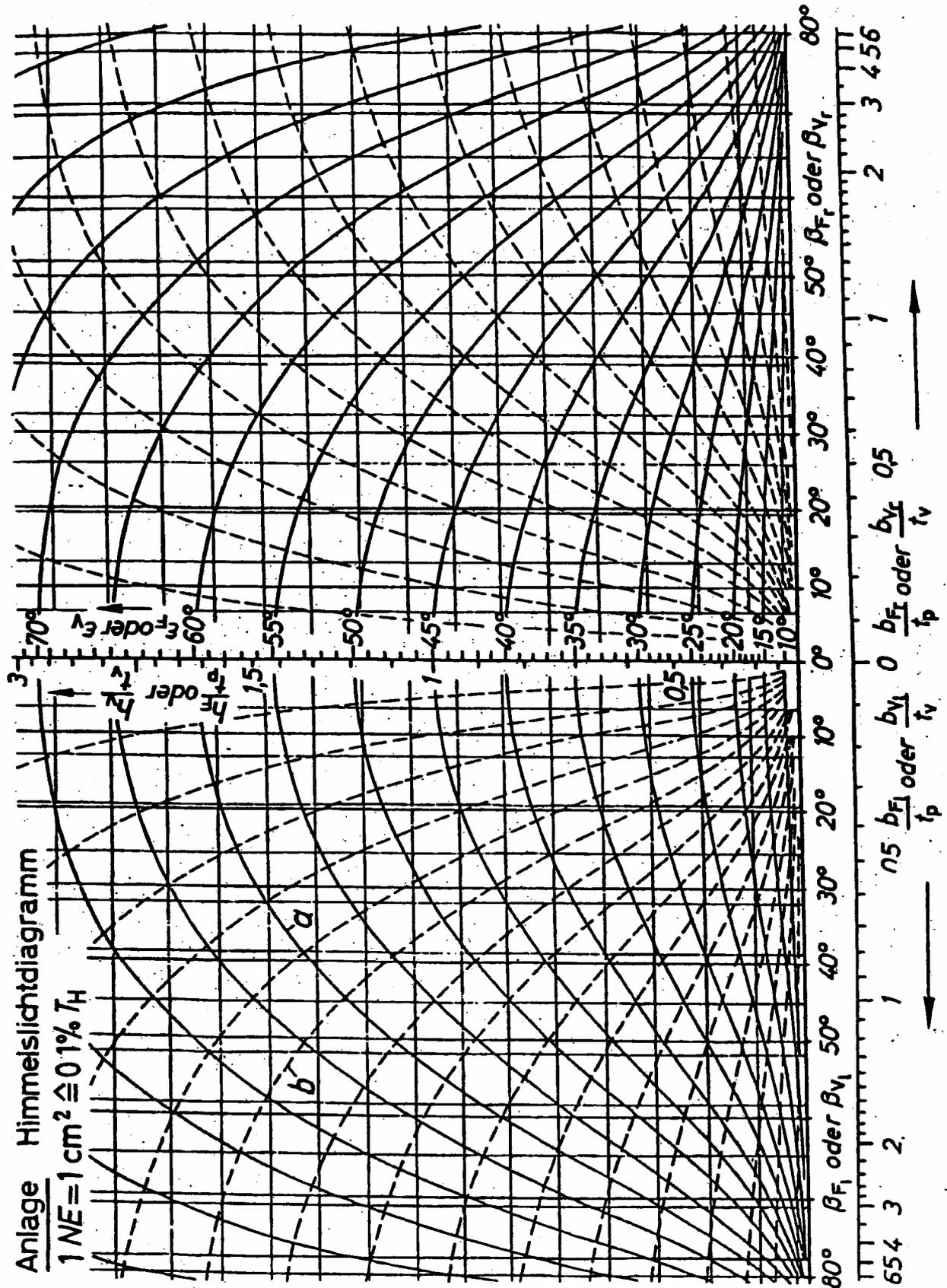


Bild 3-2 Himmelslichtdiagramm nach DIN 5034-3

Berücksichtigung der Verluste durch Verglasung, Versprossung und Verschmutzung:

$$D = (D_H + D_V + D_R) \tau k_1 k_2 \quad [-] \quad (3-5)$$

mit

$$k_1 = A_K / A_F \quad [-] \quad (3-6)$$

mit

τ : Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall
(vgl. DIN 67 507: Transmissionsgrad für Mehrfachverglasungen) [-]

k_1 : Verminderungsfaktor für Rahmen und Sprossenwerk [-]

k_2 : Verminderungsfaktor für Verschmutzung
(k_2 variiert zwischen 0,5 und 0,9 (vgl. DIN 5034-3) [-]

A_K : lichtdurchlässige Fläche [m²]

A_F : Fläche der Rohbauöffnung [m²]

3.2 Gütekriterien der Tageslichtbeleuchtung

folgende Gütekriterien für die Tageslichtbeleuchtung gibt es im wesentlichen:

Größe des Tageslichtquotienten

Gleichmäßigkeit der Beleuchtung

Blendfreiheit

Schattigkeit und Lichteinfallrichtung

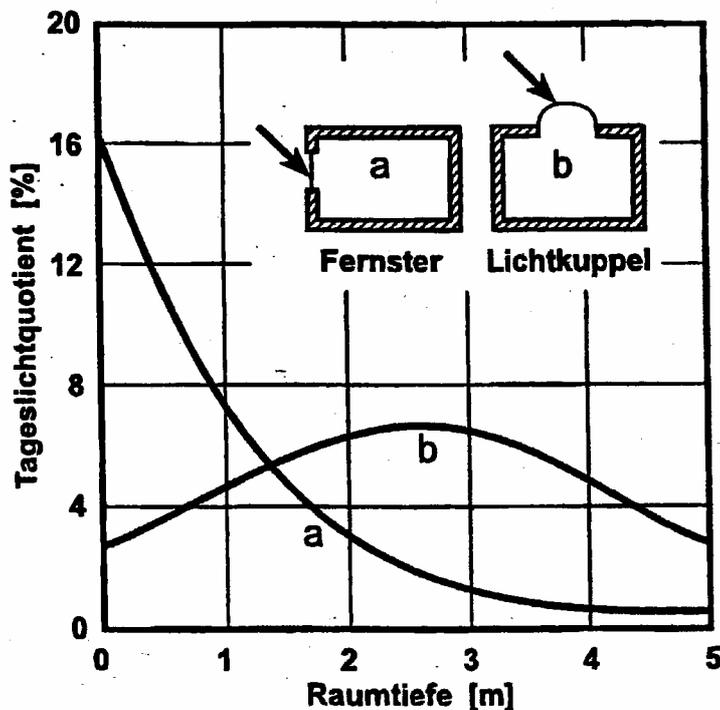


Bild 3-3 Zusammenhang des Tageslichtquotienten mit der Raumtiefe für zwei gleich große Räume:

a: mit Fenster

b: mit Lichtkuppel

3.3 Mindestanforderungen

Für Arbeitsflächen wird ein Mindestwert des Tageslichtquotienten von 1 % empfohlen man kann aus vorstehendem Bild (Fall a) leicht ablesen:

- bei Beleuchtung über Fenster wird der geforderte Mindestwert für Arbeitsplätze schon bei einer Raumbreite von etwa 4 m unterschritten
- bei einer Lichtkuppel ist der Raum bei normalen Raumtiefen ausreichend mit Tageslicht versorgt

daher sollte ein Fenster bei vorgegebener Raumgeometrie eine Mindestbreite nicht unterschreiten; dies lässt sich näherungsweise nach der Gleichung (1-9) berechnen:

$$b_F = \exp(0.79 t + 0.54 b - 0.07 b t - 3.41) \text{ [m]} \quad (3-7)$$

mit

b_F :	erforderliche Breite eines Fensters	[m]
t :	Raumtiefe	[m]
b :	Raumbreite	[m]

Gleichung (1-9) gilt nur unter folgenden Voraussetzungen:

Höhe des Fensters beträgt: $h_F = 1.35 \text{ m}$

Höhe des Raumes beträgt: $h = 2.50 \text{ m}$

Verbauungsverhältnis beträgt: $h_V : t_V = 1 : 3$

(unter Verbauungsverhältnis wird, da für die Tageslichtversorgung eines Raumes auch die der Fassade gegenüberliegende Bebauung eine Rolle spielt, das Verhältnis der Höhe h_V (Höhe der Verbauung ab Oberkante Fensterbrüstung) zur Entfernung t_V der Verbauung entsprechend dem vorstehenden Bild „Schematische Darstellung eines Raumes mit der Angabe der direkten und reflektierten Strahlung... verstanden)

DIN 5034-4 - vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume:

für einseitig beleuchtete Wohnräume,

die ausreichendes Tageslicht erhalten sollen

Voraussetzung sind senkrecht eingebaute, rechteckige Fenster

folgende Anforderungen und Annahmen sind berücksichtigt:

- Tageslichtquotient D beträgt 0,9 % auf einer horizontalen Bezugsebene 0,85 m über dem Fußboden in halber Raumtiefe in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden
- die Breite des durchsichtigen Teils des Fensters bzw. die Summe der Breiten aller vorhandenen Fenster beträgt mindestens 55 % der Breite des Wohnraums
- es wird ein vollständig bedeckter Himmel angenommen
- die Oberkante der Fensterbrüstung liegt 0,85 m über dem Fußboden und damit in der Bezugsebene (Arbeitsplatzhöhe)
- die Oberkante des Fensters liegt mindestens 2,2 m über dem Fußboden
- die Höhe des Fenstersturzes misst 0,3 m von Unterkante Sturz bis Unterkante Decke
- die Faktoren für die Lichtverluste sind wie folgt festgelegt:
 - $k_1 = 0,7$
 - $k_2 = 0,95$

$$k_3 \tau = 0,75$$

in der Norm sind umfangreiche Tabellen zur Bestimmung der Mindestfensterbreiten zusammengestellt, die eine Berechnung in Abhängigkeit vom Verbauungsabstandswinkel und der Raumgeometrie zulassen

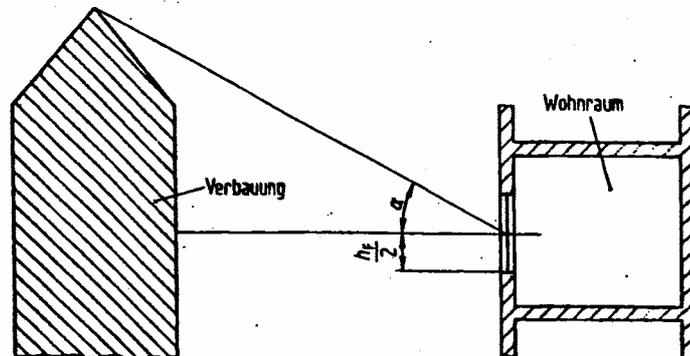


Bild 3-4 Schematische Darstellung des Verbauungsabstandswinkels nach DIN 5034-4

Zusammenstellung von empfohlenen Beleuchtungsstärken für unterschiedliche Sehaufgaben (z.B. normale Sehaufgaben wie Büroarbeit oder schwierige Sehaufgaben wie in der Textilindustrie)

Stufe	Nennbeleuchtungsstärke E [lx]	Sehaufgabe
1	15	Orientierung, vorübergehender Aufenthalt
2	30	
3	60	leichte Sehaufgaben
4	120	
5	250	normale Sehaufgaben
6	500	
7	750	schwierige Sehaufgaben
8	1000	
9	1500	sehr schwierige Sehaufgaben
10	2000	
11	3000	Sonderfälle - Operationsfeld
12	5000 und mehr	

Tab. 3-1 Nennbeleuchtungsstärke für verschiedene Sehaufgaben

für die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung gelten folgende Anforderungen:

- mit Fenstern in den Seitenwänden:

$$D_{\min} / D_{\max} \geq 1/6 \quad [-] \quad (3-8)$$

- mit Oberlicht:

$$D_{\min} / D_{\max} \geq 1/2 \quad [-] \quad (3-9)$$