

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:

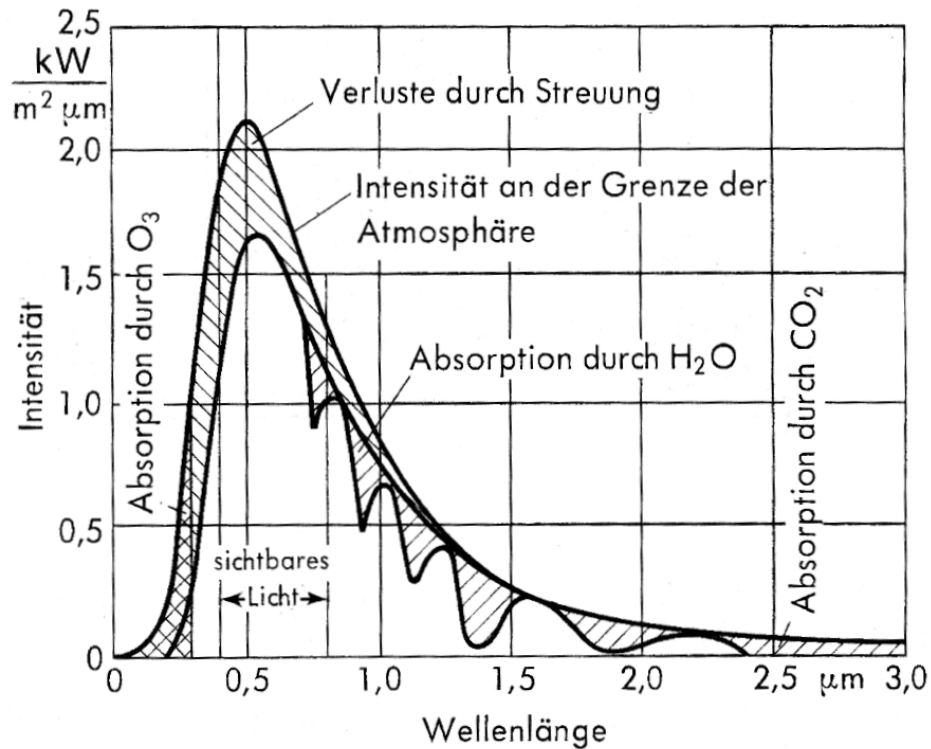


Bild 2.2: Intensität der Sonnenstrahlung [Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Recknagel Sprenger Schramek, Oldenbourg Verlag, München, 2001].

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.

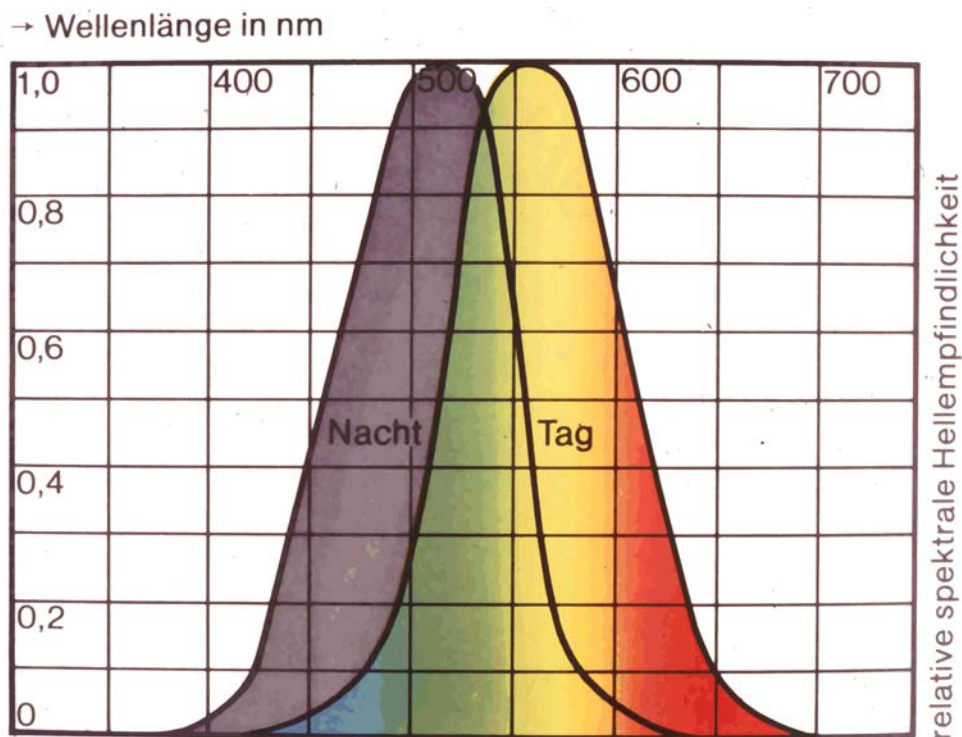


Bild 2.3

3 Lichttechnische Grundlagen

Lichtstrom Φ [Lumen] [lm]

ist die gesamte Lichtleistung einer Lichtquelle.

Lichtstrom = Lichtstärke · Raumwinkel

1 lm = 1 cd · sr

sr - Raumeinheitswinkel, Steradian

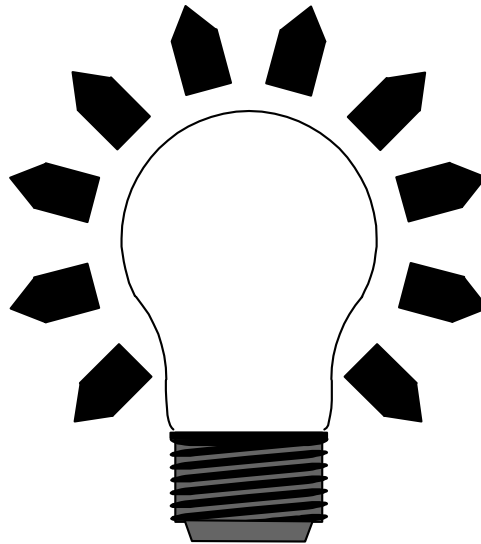


Bild 3.1

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.

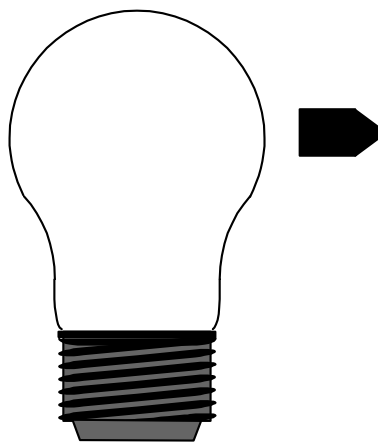


Bild 3.2

Die Lichtstärke wird meist in einem Polardiagramm dargestellt.

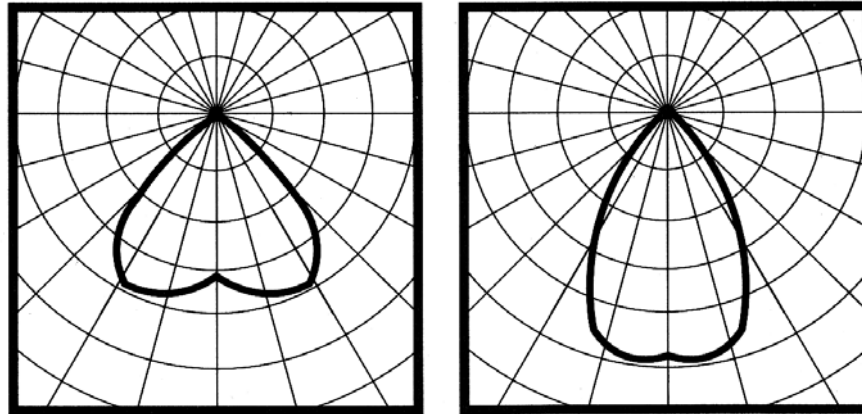


Bild 3.3 Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer breitstrahlenden (links) und einer tiefstrahlenden Leuchte (schematisch)
 [Energiesparende Beleuchtungsanlagen in Gewerbe, Handel und mittelständischen Unternehmen, ie Informationszentrum
 Energie, Mai 1998, Landesgewerbeamt Baden- Württemberg]

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.

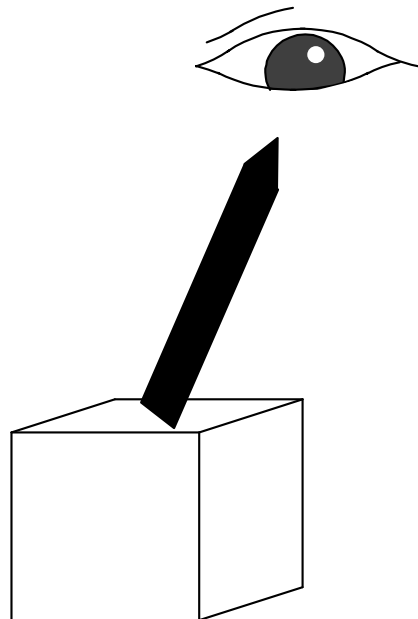


Bild 3.4

Beleuchtungsstärke E [Lux] [lx]

ist ein Maß für das auf eine Fläche treffende Licht.

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

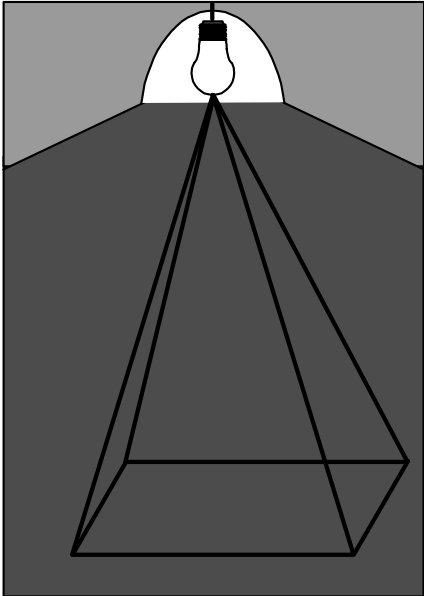


Bild 3.5

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

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

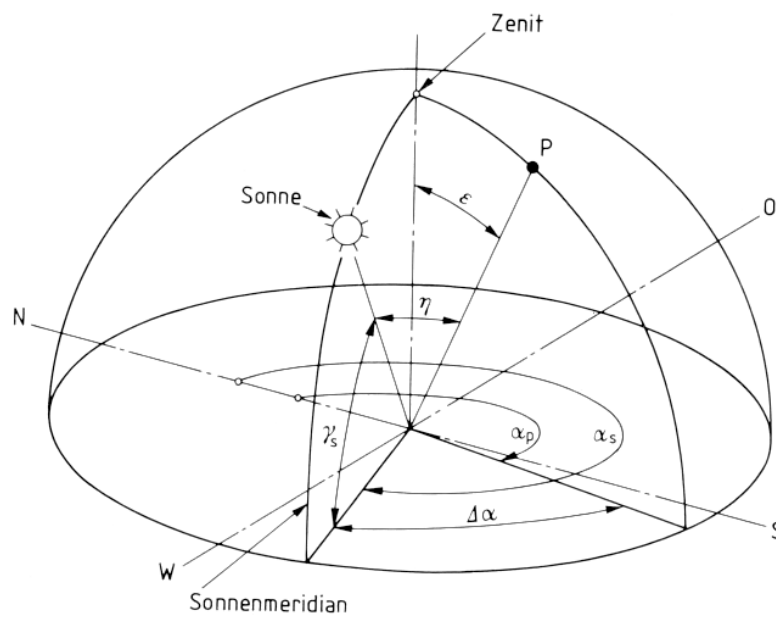


Bild 4.1: Winkelbezeichnung bei der Beurteilung der Leuchtdichteverteilung des klaren Himmels

Horizontale Beleuchtungsstärke im Freien ohne Verbauung E_a

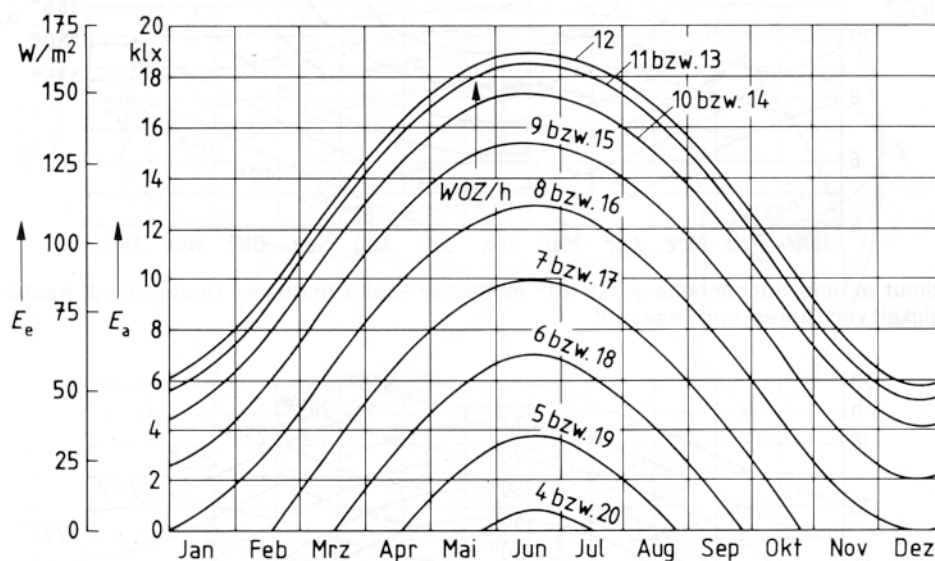


Bild 4.2: Horizontale Beleuchtungsstärke E_a und horizontale Bestrahlungsstärke E_e bei bedecktem Himmel für 51° nördlicher Breite in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit

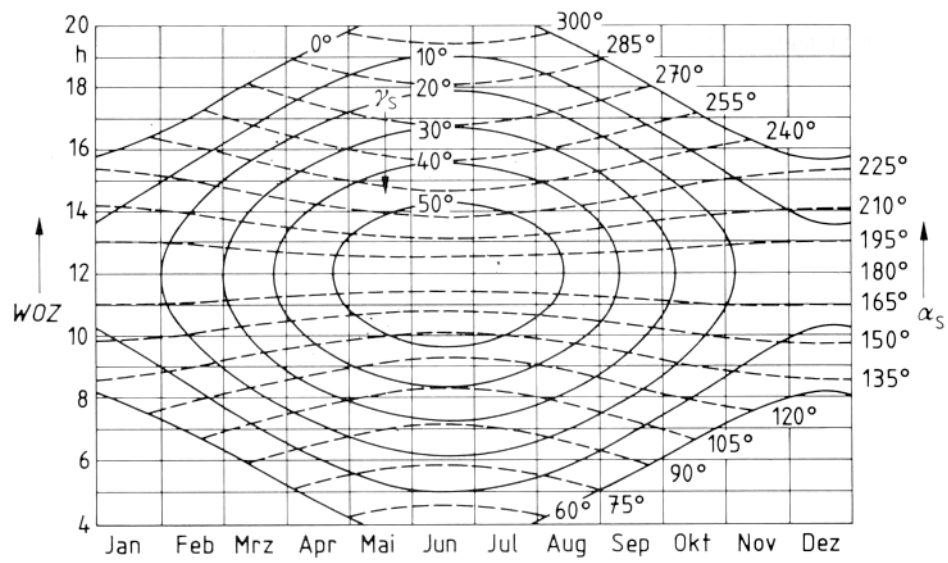


Bild 4.3 Sonnenazimut α_s und Sonnenhöhe γ_s für 54° nördlicher Breite (nördliches Deutschland, Cuxhaven-Lübeck) in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit

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	Raubhöhe
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)	

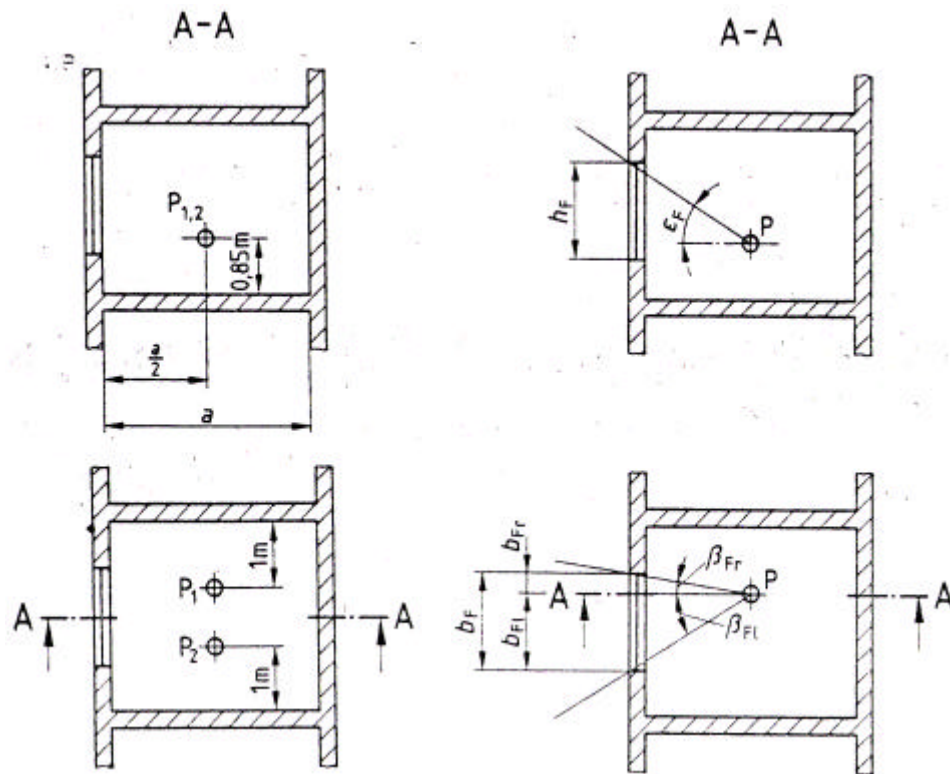


Bild 4.4: Lage der Bezugspunkte P_1 und P_2 Bild 4.5: Geometrische Kenngrößen eines Fensters

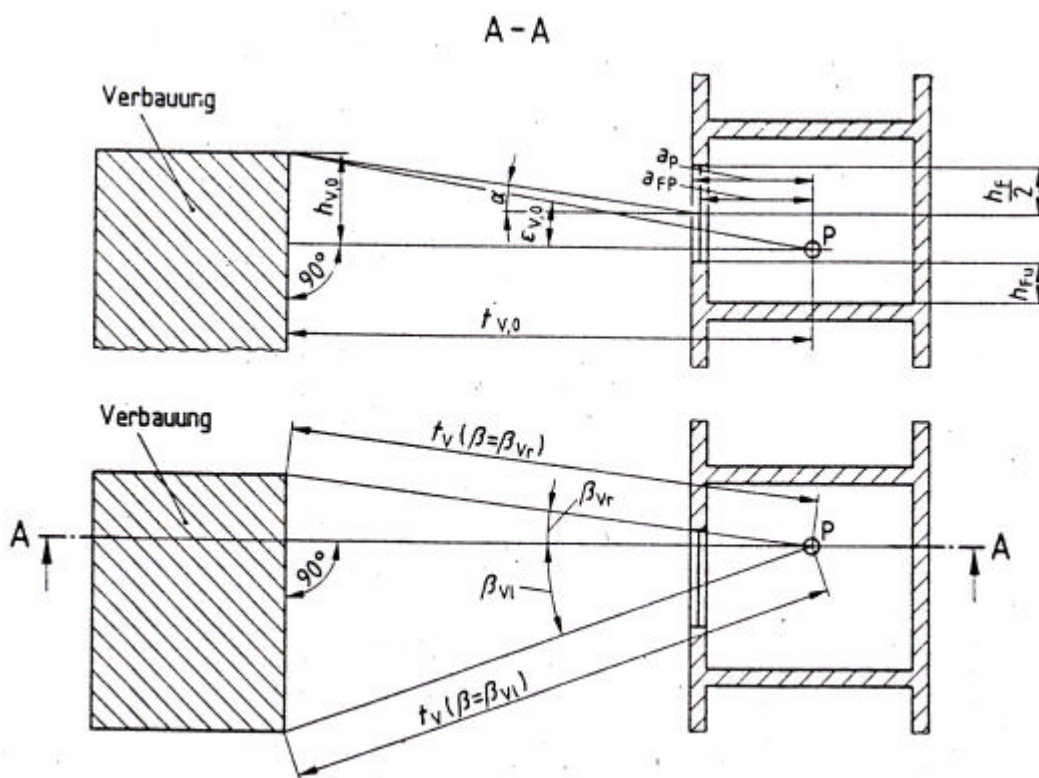


Bild 4.6: Formelzeichen zur geometrischen Darstellung bei Berücksichtigung einer Verbauung