
Belichtung von Wohn- und Arbeitsräumen im Dachgeschoß

Vorwort

Dieser Beitrag basiert auf der Schriftenreihe des Informationsdienstes für neuzeitliches Bauen e.V., Bonn

d-extrakt Arbeitsheft 11 „Belichtung von Wohn- und Arbeitsräumen im Dachgeschoß“.

Diese Veröffentlichung berücksichtigt die nicht unerheblichen Veränderungen auf Grund der Neuauflage DIN 5034 Teil 1, Okt. 99; Teil 3 und 4, Sept. 94; Teil 5, Jan. 93.

Das Thema gliedert sich in mehrere Abschnitte, wobei in den ersten elf Kapiteln die Unterschiede zwischen den Landesbauordnungen und der DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen aufgezeigt sind. Ferner werden einfache Regeln und Empfehlungen zum Erzielen einer psychisch und physiologisch richtigen Belichtung gegeben. Siehe Bild 1 „Dachflächenfenster bringen eine großzügige Belichtung“.

Im Anhang findet sich ein ausführliches Berechnungsbeispiel, in dem mit Hilfe des Tageslichtquotienten die richtige Belichtung und damit Fenstergröße bestimmt wird.



Inhaltsverzeichnis

Einleitung

- 1. Mindestbelichtung: Vorschriften der Landesbauordnungen**
 - 1.1 Was will die Landesbauordnung?
 - 1.2 Notwendige Fenster
- 2. Belichtung nach DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen**
 - 2.1 Was will DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen?
 - 2.2 Wie wird die Belichtung von Aufenthaltsräumen gemessen?
 - 2.2.1 Was ist ein Tageslichtquotient?
 - 2.2.2 Wo sind Meßpunkte für die Belichtungsmessung?
 - 2.3 Welche Helligkeit in Aufenthaltsräumen?
 - 2.3.1 Wohnräume
 - 2.3.2 Arbeitsräume
 - 2.4 Besonnung für Aufenthaltsräume?
 - 2.5 Sichtverbindung nach außen
- 3. Die Fensteroberkante ist entscheidend für die Lichtmenge**
- 4. Die Fensterunterkante ist entscheidend für den Ausblickkomfort**
- 5. Die Fensterlänge ist abhängig von der Dachneigung**
- 6. Die Fensteranordnung ist wichtig für ausgeglichene Helligkeit**
- 7. Planungsempfehlungen für Fenster in Senkrechträumen**
- 8. Planungsempfehlungen für Fenster im Dachgeschoß**
- 9. Drei Fenstersysteme – Ihre Vor- und Nachteile**
- 10. Fensterinnenfutter und Lichteinfall**
- 11. Farbe von Fensterinnenfutter und Raumausstattung**
- 12. Anhang**
 - 12.1 Ausführliches Berechnungsbeispiel mit graphischen Hilfsmitteln
 - 12.1.1 Situationsbeschreibung des Berechnungsbeispiels
 - 12.1.2 Errechnung der Höhen- und Breitenwinkel
 - 12.1.3 Errechnung des Himmelslichtanteils D_{Hr}
 - 12.1.4 Errechnung des Außenreflexionsanteils D_{Vr}
 - 12.1.5 Ermittlung des Innenreflexionsanteils D_{Rr}
 - 12.1.6 Tageslichtquotient D: Ergebnis ermittelt mit graphischen Hilfsmitteln
 - 12.2 Ausführliches Berechnungsbeispiel mit Formeln der Integralrechnung
 - 12.3 Warum ist eine psychisch richtige Belichtung erforderlich?
 - 12.4 Sonderfall – Geneigtes Dach
 - 12.5 Himmelslichtdiagramm und Himmelslichtanteil
 - 12.5.1 Außenreflexionsanteil und Verbauung
 - 12.5.2 Innenreflexionsanteil und Reflexionsgrade
 - 12.6 Minderungsfaktoren
 - 12.6.1 Minderungsfaktor t für Transmissionsgrad
 - 12.6.2 Minderungsfaktor k_1 für Konstruktionsteile
 - 12.6.3 Minderungsfaktor k_2 für Verschmutzung
 - 12.6.4 Korrekturfaktor k_3 für nicht senkrechten Lichteinfall
 - 12.7 Sonnenschutz und Blendung
 - 12.8 Fenstersysteme im Belichtungsvergleich
- 13. Stichwortverzeichnis**

Einleitung

Die Belichtung von Aufenthaltsräumen wird in den jeweiligen Landesbauordnungen durch Mindestforderungen als notwendige Fenster definiert und beinhaltet keine Unterschiede für Dachflächenfenster und senkrecht stehende Fenster. Auch wird nicht unterschieden nach freiliegenden oder verschatteten Häusern. (Siehe Punkt 1 Mindestbelichtung: Vorschriften der Landesbauordnungen)

Anforderungen wie das psychische Wohlbefinden der Bewohner oder deren Wunsch nach mehr Helligkeit für höhere Sehaufgaben überlassen die Landesbauordnungen weiterführenden oder ergänzenden Maßnahmen bzw. technischen Richtlinien.

Die wichtigste Richtlinie ist die **DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen.**

DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ besteht aus 6 Teilen:

Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Teil 2: Grundlagen

Teil 3: Berechnung

Teil 4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume

Teil 5: Messung

Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen

Mit ihrer Hilfe lassen sich ausführliche Lichtberechnungen für Wohn- und Arbeitsräume durchführen. Dabei können Aufenthaltsräume senkrechte Wände haben, oder, wie Wohnungen unter dem geneigten Dach, schräge Wände. Auch werden Licht abhaltende oder Licht verschluckende natürliche Hindernisse wie Bäume oder Sträucher, Berge und die freie Sicht versperrende Gebäude berücksichtigt.

Wenn umfangreiche Berechnungen vermieden werden sollen, kann mit Hilfe einfacher Planungsempfehlungen die Belichtung festgelegt werden.

Diejenigen, die sich eingehender mit der Belichtung befassen wollen, finden im Anhang ein ausführliches Berechnungsbeispiel und nähere Erläuterungen.

DIN 5034, Teil 4, bietet vereinfachte Bestimmungen von Mindestfenstergrößen für Wohnräume, die aber für Aufenthaltsräume unter dem geneigten Dach nur bedingt anzuwenden sind, weil darin nur Tabellen für Raumhöhen ab 2,40 m enthalten sind.

(Siehe Punkte 7 und 8: Planungsempfehlungen für Fenster in Senkrechträumen für Fenster im Dachgeschoß)

1. Mindestbelichtung: Vorschriften der Landesbauordnungen

1.1 Was will die Landesbauordnung?

Die Landesbauordnung sorgt für eine

- Mindestbelichtung von Aufenthaltsräumen.

1.2 Notwendige Fenster

Die Gesetzestexte der Bauordnungen der Länder sind inhaltlich ähnlich, werden aber unter verschiedenen Paragraphen aufgeführt.

Auch weicht das lichte Maß der Fensteröffnung in den einzelnen Ländern teilweise voneinander ab.

(Siehe Tabelle „Notwendige Fenster“)

Tabelle:

Notwendige Fenster – Lichtes Maß der Fensteröffnung

(nach Landesbauordnung)

Stellvertretend für alle anderen Landesbauordnungen wird hier als Gesetzestext die Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) zitiert.

Lichtes Maß der Fensteröffnung			
Bundesland	mindestens Anteil der Raum- grundfläche	mindestens % der Raum- grundfläche	Fenstermaß als
Baden-Württemberg	1/10	10,0 %	Rohbaumaß
Bayern	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Berlin	ausreichend	ausreichend	–
Brandenburg	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Bremen	1/10	10,0 %	Rohbaumaß
Hamburg	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Hessen	1/10	10,0 %	Rohbaumaß
Mecklenburg-Vorp.	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Niedersachsen	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Nordrhein-Westfalen	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Rheinland-Pfalz	1/10	10,0 %	Rohbaumaß
Saarland	1/10	10,0 %	Rohbaumaß
Sachsen	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Sachsen-Anhalt	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Schlesw.-Holst.	1/8	12,5 %	Rohbaumaß
Thüringen	1/8	12,5 %	Rohbaumaß

Die Brandenburgische Bauordnung legt in § 48 Abs. 2 „Aufenthaltsräume“ fest:

2) Aufenthaltsräume müssen unmittelbar ins Freie führende und senkrecht stehende Fenster von solcher Zahl und Beschaffenheit haben, dass die Räume ausreichend mit Tageslicht beleuchtet und belüftet werden können (**notwendige Fenster**).

Das Rohbaumaß der Fensteröffnungen muss mindestens ein Achtel der Grundfläche des Raumes betragen; ein geringeres Maß kann gestattet werden, wenn wegen der Lichtverhältnisse Bedenken nicht bestehen. Geneigte Fenster sowie Oberlichte anstelle von Fenstern können gestattet werden, wenn keine Bedenken wegen des Brandschutzes bestehen.

Im Gegensatz zu Räumen mit senkrechten Wänden ist die Nutzfläche (sie ist ein Teil der Raumgrundfläche) bei Räumen im Dachgeschoß kleiner. Das wird von den Landesbauordnungen auch berücksichtigt. Siehe Bild 2 „Zur Berechnung der Fenstergröße maßgebende Raumgrundfläche“.

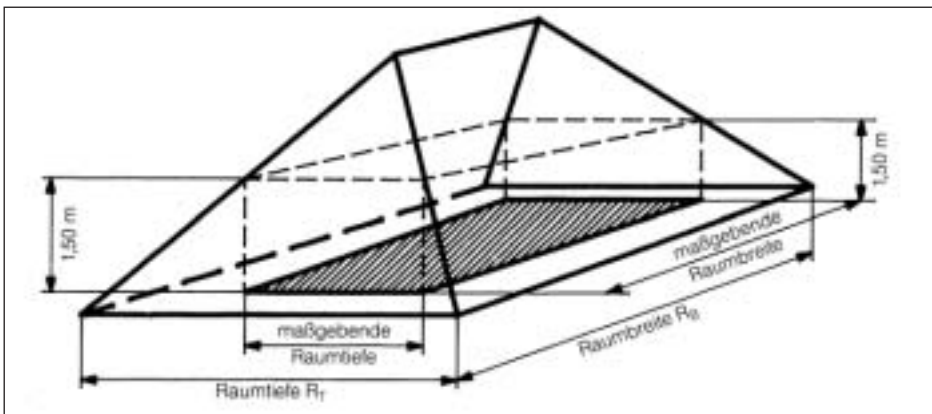


Bild 2:  = Zur Berechnung der Fenstergröße maßgebende Raumgrundfläche (Nutzfläche)

So bestimmt z. B. Art. 45 Abs. 4 Bay-BO (Bayerische Bauordnung) „Aufenthaltsräume“:

(4) Das lichte Maß der Fensteröffnungen von Aufenthaltsräumen muss mindestens ein Achtel der Nutzfläche des Raums betragen; hierbei sind die Rohbaumaße zugrunde zu legen.

Für **Aufenthaltsräume im Dachraum** ist von der Nutzfläche auszugehen, die sich bei einer angenommenen allseitig senkrechten Umschließung von 1,50 m Höhe ergibt. Die Fensteröffnungen

müssen größer sein, wenn das wegen der Art der Benutzung des Aufenthaltsraums oder wegen der Lichtverhältnisse erforderlich ist. Kleinere Fensteröffnungen sind zugelassen, wenn wegen der Lichtverhältnisse keine Bedenken bestehen.

Da die Landesbauordnungen lediglich statische Werte für Fensteröffnungen vorschreiben, sollte der Planer eine für den Bewohner günstigere Ermittlungsart anwenden.

2. Belichtung nach DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen

Wenn Fenstergrößen nach den Vorschriften der Landesbauordnung gewählt werden, ist für die Mindestbelichtung gesorgt.

Berücksichtigt aber werden weder schlechte Lichtverhältnisse, wie sie durch gegenüberliegende Häuser, Bäume oder andere Lichthindernisse entstehen, noch die unterschiedlichen Lichtmengen verschiedener Fenstersysteme, noch die berechtigten

lichtung ein und desselben Raumes durch Dachflächenfenster, Dachgauben oder Giebelfenster nach DIN 5034 miteinander verglichen.

2.1 Was will DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen?

DIN 5034 will

- für alle Bewohner eine psychisch und physiologisch richtige Innenraumbeleuchtung schaffen,
- nicht nur den direkten Lichteinfall in Aufenthaltsräume, sondern auch Lichtminderungen durch Lichthindernisse berücksichtigen wie
 - Verbauungen,
 - Lichtdurchlässigkeit von Glasscheiben und deren Verschmutzung,
 - dunkle oder helle Innenwände,
 - Decken, Böden wie auch
 - Raumausstattung und deren Lichtsteigerungen durch Reflexion, oder deren Lichtminderung durch Absorption.

2.2 Wie wird die Belichtung von Aufenthaltsräumen gemessen?

DIN 5034 bedient sich dazu einer vergleichenden Messung mit Hilfe eines Quotienten, dem Tageslichtquotienten.

2.2.1 Was ist ein Tageslichtquotient?

Der **Tageslichtquotient D (Daylight Factor)** wird in DIN 5034 Teil 1, Absatz 3.12 erläutert:

Der Tageslichtquotient ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p in einem Punkt einer gegebenen Ebene, 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 unverbauter Himmelshalbkugel.

$$\text{Tageslichtquotient } D = \frac{E_p}{E_a} \times 100 \text{ in } \%$$

Die durch direktes Sonnenlicht bewirkten Anteile beider Beleuchtungsstärken bleiben unberücksichtigt.

ANMERKUNG:

Einflüsse der Verglasung, der Verschmutzung und der Versprossung sind eingeschlossen. Für den Anwendungsbereich nach dieser Norm gilt der Tageslichtquotient für die Beleuchtung durch den bedeckten Himmel [II]. In diesem Fall ist der Tageslichtquotient für jeden Raumpunkt eine konstante Größe.

2.2.2 Wo sind Meßpunkte für die Belichtungsmessung?

Gemessen und berechnet wird jeweils an in DIN 5034 Teil 5, Absatz 5.2 definierten Meßpunkten.

Dabei ist es gleichgültig, ob der Raum Senkrechtwände oder Dachschrägen hat.

Bild 3 zeigt, wo Meßpunkte innerhalb eines Aufenthaltsraumes liegen und wo gemessen wird.

Die Meßebe, DIN 5034 sagt Bezugsebene, liegt bei Wohnräumen immer 85 cm über Oberkante fertigem Fußboden.

Gleiches gilt auch für Arbeitsräume, sofern nicht ausdrücklich eine andere Vereinbarung zwischen Auftraggeber und -nehmer vereinbart wurde.

Die Meßpunkte im Raum liegen immer

- bei Wohnräumen in halber Raumtiefe und in 1 m Entfernung von den Seitenwänden,
- bei Arbeitsräumen, mit Wohnräumen vergleichbar,

- in halber Raumtiefe und in 1 m Entfernung von den Seitenwänden,
- bei Arbeitsräumen, nicht mit Wohnräumen vergleichbar, in 1 m Abstand vor der Rückwand und in 1 m Entfernung von den Seitenwänden.

Auch wenn über Ort, Art und Ausführung einer Helligkeitsmessung Unklarheiten nicht bestehen, hilft diese Messung im Planungsstadium wenig, da sie zu diesem Zeitpunkt schlichtweg nicht möglich ist.

So kommt nur

- eine ausführliche Lichtberechnung in Frage,
- oder die Ermittlung der in Teil 4 aufgeführten Mindestfenstergrößen für Räume mit senkrecht stehenden Fenstern,
- oder die Anwendung von Planungsempfehlungen, bzw. einfacher Einbauregeln.

2.3 Welche Helligkeit in Aufenthaltsräumen?

DIN 5034 unterteilt Aufenthaltsräume in Wohn- und Arbeitsräume. Sie beschreibt im Teil 1 unter Punkt 4.3.1.1 Wohn- und unter Punkt 4.3.1.2 Arbeitsräume.

2.3.1 Wohnräume

Die Helligkeit in Wohnräumen, die von dem durch die Fenster eindringenden Tageslicht erzeugt wird, ist im Rahmen

ihrer psychischen Bedeutung ausreichend, wenn der Tageslichtquotient

- auf einer horizontalen Bezugsebene, gemessen in einer Höhe von 0,85 m über dem Fußboden in halber Raumtiefe und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden im Mittel **wenigstens 0,9 %** und
- am ungünstigsten dieser Punkte **wenigstens 0,75 %** beträgt.

In Wohnräumen mit Fenstern in zwei aneinander grenzenden Wänden muss der Tageslichtquotient am ungünstigeren Bezugspunkt mindestens 1 % betragen.

2.3.2 Arbeitsräume

Für Arbeitsräume, die in ihren Abmessungen Wohnräumen entsprechen, müssen wenigstens die in 2.4.1 festgelegten Tageslichtquotienten eingehalten werden.

Arbeitsräume sind in ihren Abmessungen Wohnräumen vergleichbar, wenn die folgenden Abmessungen nicht wesentlich überschritten werden:

- Raumhöhe 3,5 m;
- Raumtiefe 6,0 m;
- Raumfläche 50 m².

Für andere, mit Fenstern versehene Arbeitsräume gibt es bisher keine Anforderungen in Bezug auf ausreichende Helligkeit. Arbeitsräume mit Oberlichtern müssen auf der Nutzebene einen mittleren Tageslichtquotienten von $D > 4\%$ aufweisen; dieser ergibt sich...

Fenster in Arbeitsräumen und deren Größe werden durch die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) sowie durch die Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/1 geregelt.

Auch wenn die absolute Zahl des Prozentsatzes für Wohnräume mit 0,9 % klein erscheint, ist die im Raum real vorhandene Lichtmenge, verglichen mit dem insgesamt vorhandenen Licht des gesamten Himmels, groß.

2.4 Besonnung für Aufenthaltsräume?

Hier schreibt DIN 5034 Teil 1, Absatz 4.4 Besonnung:

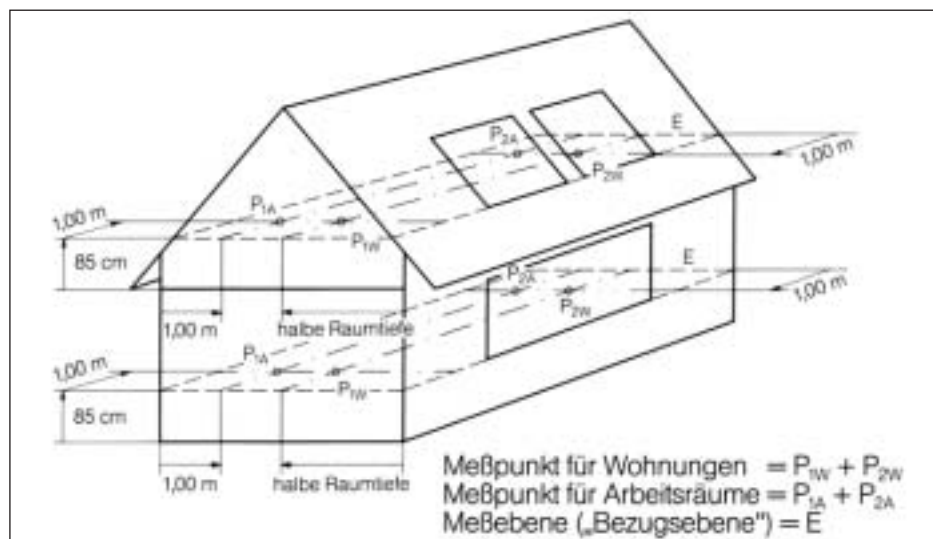


Bild 3: Meßpunkte in Senkrecht- und in Räumen unter dem geneigten Dach

Ob die Möglichkeit einer Besonnung eines Aufenthaltsraumes erwünscht oder unerwünscht ist, hängt in der Regel von dessen Verwendungszweck ab. Vor allem für Wohnräume ist ein Mindestmaß an Besonnung ein wichtiges Qualitätsmerkmal.

Ein Raum gilt als besonnt, wenn Sonnenstrahlen bei einer Sonnenhöhe von mindestens 6° in den Raum einfallen können. Als Nachweisort gilt die Fenstermitte in Brüstungshöhe und Fassadenebene. Die Besonnung eines Gebäudevorbaus, z. B. eines Erkers, gilt nicht als Besonnung des Raumes.

Ein Wohnraum gilt als ausreichend besonnt, wenn seine Besonnungsdauer am 17. Januar mindestens 1 h beträgt. Eine Wohnung gilt als ausreichend besonnt, wenn in ihr mindestens ein Wohnraum ausreichend besonnt wird.

2.5 Sichtverbindung nach außen

DIN 5034 Teil 1 Absatz 4.2.1 beschreibt:

Entwicklungsgeschichtlich ist der Mensch hauptsächlich auf visuelle Wahrnehmungen bei Tageslicht angepasst. Die Wahrnehmung des mit Tages- und Jahreszeit veränderlichen Hell-Dunkel-Wechsels, der wechselnden Lichtfarben und der Wettererscheinungen ist für sein Wohlbefinden förderlich. Deswegen ist es notwendig, Aufenthaltsräume mit durchsichtig, verzerrungsfrei und möglichst farbneutral verglasten Fenstern in Augenhöhe der im Raum sitzenden bzw. stehenden Personen auszustatten.

Oberlichter erlauben zwar eine Orientierung hinsichtlich Wetter und Tageszeit, tragen aber zur Sichtverbindung nach außen im allgemeinen nicht bei. Oberlichter können daher Fenster im Hinblick auf deren psychische Bedeutung nicht ersetzen, bewirken aber bei zweckmäßiger Anordnung eine gleichmäßigere Beleuchtung als Fenster.

Damit Wohnräume eine ausreichende Sichtverbindung nach außen besitzen, sollten Fenster in Wohnräumen bestimmte Anforderungen erfüllen.

3. Die Fensteroberkante ist entscheidend für die Lichtmenge

DIN 5034, Teil 1, erklärt in Absatz 5.1 Räume mit Fenstern:

Die Lage der Fensteroberkante beeinflusst wesentlich den Wert des Tageslichtquotienten. Werden gleiche Fensterflächen vorausgesetzt, ist der Tageslichtquotient um so größer, je höher die Fensteroberkante über dem Fußboden liegt. Fensterflächen unterhalb der Bezugsebene haben nur geringen Einfluß auf den Tageslichtquotienten.

Bauteile im Fensterbereich (z. B. Sonnenschutzvorrichtungen, Balkone, Lichten Systeme) beeinflussen ebenfalls den Wert des Tageslichtquotienten und die Lichtverteilung im Innenraum.

Empfehlung:

Je höher die Fensteroberkante, desto mehr Licht

Zu berücksichtigen ist aber, dass die bei Dachflächenfenstern bevorzugte Oberbedienung bei Höhen über 2,00 m nur schwer zu erreichen ist.

4. Die Fensterunterkante ist entscheidend für den Ausblickskomfort

DIN 5034 Teil 1, Absatz 4 weist zu Recht darauf hin, dass die Funktion von Fenstern nicht nur in der Belichtung und Belüftung von Räumen liegt, sondern auch in der Schaffung des Sichtkontaktes zur Umwelt.

Für einen zufriedenstellenden Sichtkontakt zwischen Innen- und Außenraum müssen die Fenster genügend groß sein.

Es gilt die Regel:

Je niedriger die Fensterunterkante, desto besser der Ausblickskomfort.

Bei Fenstern im Dach kommt es hier besonders auf einen guten Ausblick nach unten an, weil nur dadurch der Kontakt zur Umwelt entsteht. Siehe Bild 4 „Ausblick“.

5. Die Fensterlänge ist abhängig von der Dachneigung

Da die Höhe der Fensteroberkante (Außenkante Markisenkasten) bei 2,00m und die Fensterunterkante bei 0,90m bzw. 1,10m festliegt, ist die benötigte Fensterlänge abhängig von der Dachneigung. Sie ist bei flachen Dachneigungen größer als bei steilen.

Die nebenstehende Tabelle „Dachflächenfenster ohne Aufkeilrahmen“, zeigt, dass sich bei obenbedienten Fenstern unterhalb von 39°, bei untenbedienten Fenstern 30°, längenrichtige Fenster nicht mehr einbauen lassen, weil es Dachflächenfenster über 1,60m Länge konstruktionsbedingt nicht gibt.

Regel:

- Steilere Dächer erfordern kürzere Fenster
- Flachere Dächer erfordern längere Fenster

Abhilfe kann geschaffen werden durch die bekannten Aufkeilrahmen, durch die Fenster 10° steiler als die Dachneigung eingebaut werden.

Die Tabelle „Dachflächenfenster mit Aufkeilrahmen“ zeigt, dass längenrichtige Fenster mit Aufkeilrahmen noch bei Dachneigungen bis 29° (Oberbedienung), bzw. 20° (Untenbedienung), eingebaut werden können.

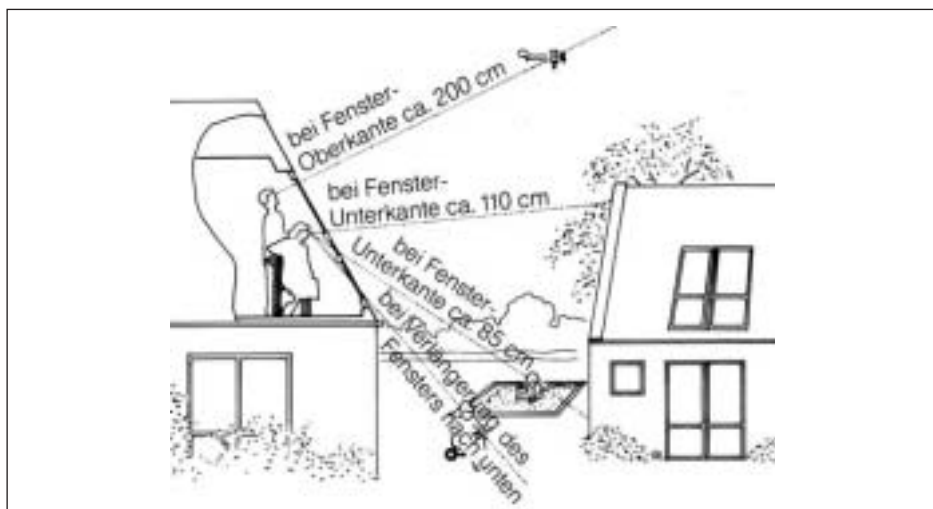


Bild 4: Ausblick

Dachflächenfenster ohne Aufkeilrahmen

Benötigte Fensterlänge in m bei Einbau der Fenster in der Ebene der Dachneigung								
Dachneigung in Grad	85	60	50	45	40	35	30	20
Fenster mit <u>O</u> benbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 0,90m	1,09	1,20	1,34	1,44	1,57	1,75	1,99	2,89
Fenster mit <u>U</u> ntenbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 1,10m	0,89	0,97	1,07	1,15	1,26	1,40	1,59	2,30

Dachneigung in Grad bei Einbau der Fenster in der Ebene der Dachneigung					
bei Fensterlänge (cm)	78	98	118	140	160
Fenster mit <u>O</u> benbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 0,90m	Fenster zu kurz	Fenster zu kurz	62	47	39
Fenster mit <u>U</u> ntenbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 1,10m	Fenster zu kurz	59	44	35	30

Dachflächenfenster mit Aufkeilrahmen

Benötigte Fensterlänge in m bei Einbau der Fenster mit 10° Aufkeilrahmen								
Dachneigung in Grad	75	50	40	35	30	25	20	10
Fenster mit <u>O</u> benbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 0,90m	1,09	1,20	1,34	1,44	1,57	1,75	1,99	2,89
Fenster mit <u>U</u> ntenbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 1,10m	0,89	0,97	1,07	1,15	1,26	1,40	1,59	2,30

Dachneigung in Grad bei Einbau der Fenster mit 10° Aufkeilrahmen					
bei Fensterlänge (cm)	78	98	118	140	160
Fenster mit <u>O</u> benbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 0,90m	Fenster zu kurz	Fenster zu kurz	52	37	29
Fenster mit <u>U</u> ntenbedienung Fensteroberkante 2,00m Fensterunterkante 1,10m	Fenster zu kurz	49	34	25	20

Eine Erhöhung des Ausblickkomforts nach unten kann geschaffen werden durch Elemente, die das **Fenster nach unten verlängern**.

Hier bietet die Industrie Lösungen mit fest angebauten Elementen und Zusatzelementen, die unterhalb des Fensters montiert werden.

Solche Zusatzelemente gibt es sowohl zur Verlängerung der Fenster in der Dachschräge als auch in einer senkrechten Wand (Drempel/Kniestock).

6. Die Fensteranordnung ist wichtig für ausgeglichene Helligkeit

DIN 5034 Teil 1, Absatz 5.1 erläutert zur Anordnung der Fenster in der senkrechten Wand:

Durch eine gleichmäßige Verteilung der Fenster in der Außenwand ergibt sich eine größere Gleichmäßigkeit der Beleuchtung als bei Anordnung der Fenster am Rand der Fensterwand. In Räumen mit nur einem Fenster wird die Gleichmäßigkeit am größten, wenn das

Fenster in der Mitte der Außenwand angeordnet wird. In Räumen mit größerer Raumentiefe kann die Gleichmäßigkeit gegebenenfalls durch Anordnung von Fenstern in einander gegenüberliegenden Wänden verbessert werden. Siehe Bild 5 „Anordnung der Fenster im Raum“.

Neben der Größe der Fenster für die Ausleuchtung ist aber auch ihre Anordnung im Raum für die architektonischen Belange von größter Wichtigkeit; exakt genau in der Mitte und symmetrisch ist oft langweilig.

Wenn DIN 5034 (2,00 m, 0,90 m und 55 %) beachtet wird, erbringen Dachflächenfenster so viel Licht, dass eine symmetrische Anordnung meist nicht erforderlich ist.

Empfehlung:

Dachflächenfenster können und sollten aufgrund ihrer günstigen Lichtwerte so eingebaut werden, wie es architektonisch gewünscht wird.

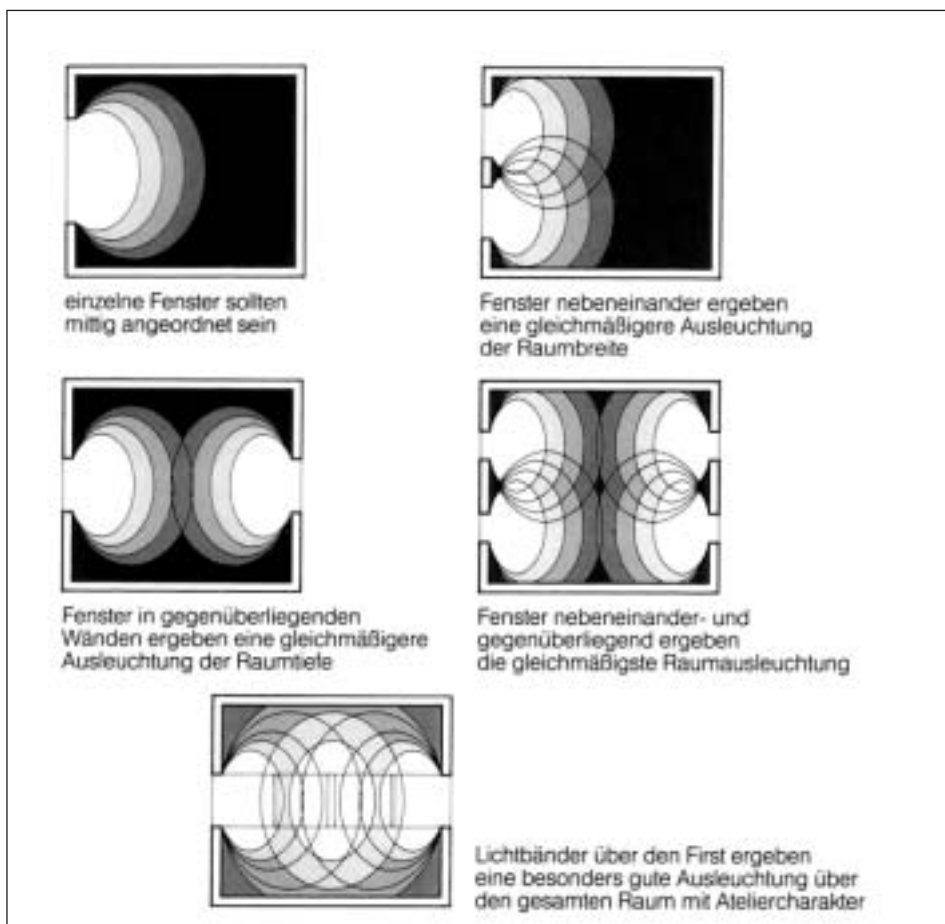


Bild 5: Anordnung der Fenster im Raum

7. Planungsempfehlungen für Fenster in Senkrechträumen

DIN 5034 Teil 1 schreibt unter 4.1 Allgemeines:

Fenster haben zwei Hauptaufgaben, woraus unterschiedliche Anforderungen resultieren. Sie ermöglichen einen Sichtkontakt zwischen Innen- und Außenraum und erzeugen bei Tage ein angenehmes Helligkeitsniveau im Innenraum. Für beide Zwecke müssen die Fenster genügend groß sein. Unberührt davon bleibt die Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht für bestimmte Sehaufgaben.

Während DIN 5034 Teil 3 sich mit der ausführlichen Lichtberechnung befaßt, lassen sich in Teil 1, Absatz 4.2.2 vereinfachte Empfehlungen für die richtige Bemessung von Fenstergrößen für Fenster in Räumen mit senkrechten Wänden ablesen, die nach aller Erfahrung den geforderten Tageslichtquotienten sicherstellen:

- Die Oberkante der durchsichtigen Fläche des Fensters (bzw. der Fenster) sollte mindestens 2,20 m über dem Fußboden liegen.
- Die Oberkante der Fensterbrüstung sollte höchstens 0,90 m, die Unterkante der durchsichtigen Fensterteile höchstens 0,95 m über dem Fußboden liegen.
- Die Breite des durchsichtigen Teils des Fensters (bzw. die Summe der Breiten aller vorhandenen Fenster) muss mindestens 55 % der Breite des Wohnraumes betragen.“

Empfohlene Fenstermaße nach DIN 5034 für Fenster in Räumen mit senkrechten Wänden:

- durchsichtige Fensteroberkante mindestens **2,20 m** über dem Fußboden,
- durchsichtige Fensterunterkante höchstens **0,95 m** über dem Fußboden,
- Durchsichtige Fensterbreite mindestens **55 %** der Raumbreite.

Die nebenstehende Tabelle schlüsselt die Anforderungen an Fenster in Aufenthaltsräumen und Arbeitsräumen $\leq 50 \text{ m}^2$ aus lichttechnischer Sicht auf.

Fenster in Aufenthaltsräumen

Anforderungen aus lichttechnischer Sicht

Räume mit senkrechten Wänden / Senkrechtfenster
Räume unter dem geneigten Dach / liegende Fenster

Anforderung	Aufenthaltsraum	
	Wohnraum	Arbeitsraum nur für Räume mit Raumhöhe $\leq 3,5$ m Raumtiefe ≤ 6 m Raumfläche ≤ 50 m ²
Sichtverbindung nach außen	<ul style="list-style-type: none"> • (Gesamt-) Breite der durchsichtigen Fensterteile mindestens 55% der Breite der Fensterwand, • Brüstungshöhe maximal 0,9 m, • Unterkante der durchsichtigen Fensterteile maximal 0,95 m über dem Fußboden, • Fensteroberkante mindestens 2,20 m über dem Fußboden 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Höhe der Rohbaufensteröffnung $\geq 1,3$ m, auch bei Raumhöhen über 3,5 m. • Breite des durchsichtigen Teils jeden Fensters ≥ 1 m, • Mindestfläche des durchsichtigen Fensterteils für Raumtiefen unter 5 m: 1,25 m², für größere Raumtiefen: 1,5 m², • durchsichtige (Gesamt-) Fensterfläche mindestens 30% des Produktes aus Raumbreite und Raumhöhe und mindestens 10% der Raumfläche
Ausreichende Helligkeit	<p>D (Tageslichtquotient) soll in halber Raumtiefe, in 0,85 m über dem Fußboden und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden betragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • im Mittel der beiden Punkte mindestens 0,9%, an einem der beiden Punkte mindestens 0,75%; • bei Räumen mit Fenstern in zwei benachbarten Wänden 1,0%. Möglichst hohe Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen. 	
Erforderliche Beleuchtungsstärke	keine Anforderungen formuliert	Am ungünstigsten Arbeitsplatz minimal 0,6fache Werte der Vorgaben für Beleuchtung mit Kunstlicht in DIN 5035-2.
Schutz gegen Blendung, Wärmeinstrahlung, -verluste	z.B. Sonnenschutzeinrichtungen, Rolläden, Jalousien, Vorhänge, Gardinen	
Besonnungsdauer	Ein Fenster eines Wohnraumes jeder Wohnung soll am 17. Januar in Brüstungshöhe in seiner Mitte wenigstens 1 h besonnbar sein.	keine Anforderungen formuliert
Lüftung	in ausreichendem Maße vorsehen	
Schallschutz	in ausreichendem Maße vorsehen	

8. Planungsempfehlungen für Fenster im Dachgeschoß

Die Empfehlung für Aufenthaltsräume mit senkrechten Wänden kann sinnvoll für die Belichtung von Aufenthaltsräumen unter dem geneigten Dach übertragen werden, wobei jedoch die Oberkante der Fenster nicht 2,20 m betragen muss, sondern 2,00 m zu empfehlen ist, weil

- Dachräume in der Regel niedrigere Raumhöhen haben (2,20 bis 2,30 m, statt 2,40 bis 2,50 m),
- ein ausreichender Ausblick nach oben in den Himmel wegen der schrägen Lage der Fenster auch bei Sturzhöhe von 2,00 m gesichert ist,
- die bei Dachflächenfenstern bevorzugte Oberbedienung bei einer zu hohen Oberkante nur schwer zu erreichen ist.

Bild 6 „Fenstermaße nach DIN 5034 (für Dachgeschoß abgeleitet)“ zeigt die Fenstermaße nach DIN 5034 für Wohnräume mit senkrechten Wänden, sowie die hiervon für Wohnräume unter dem geneigten Dach abgeleiteten Fenstermaße für Dachflächenfenster.

Empfohlene Fenstermaße für Aufenthaltsräume im Dachgeschoß

abgeleitet von DIN 5034 für Fenster in Räumen mit senkrechten Wänden:

- Fensteroberkante 2,00 m über dem Fußboden,
- Fensterunterkante 0,90 m über dem Fußboden*,
- Durchsichtige Fensterbreite 55% der Raumbreite.

*) Die nach DIN 5034 empfohlene durchsichtige Fensterunterkante von 0,95 m sollte bei Dachflächenfenstern mit Untenbedienung auf ca. 1,10 m korrigiert werden, weil die Bedienung von Fenstern mit Untenbedienung bei einer zu niedrigen Fensterunterkante unbequem ist



Bild 6: Fenstermaße nach DIN 5034 (für Dachgeschoß abgeleitet)

Die Empfehlung, Fensterunterkante von 1,10 m für Fenster mit Untenbedienung, ist ein Kompromiß zwischen dem Wunsch nach gutem Ausblick nach unten und einer bequemen Bedienung.

Wird bei Fenstern mit Untenbedienung trotzdem der volle Ausblickkomfort gewünscht, empfiehlt sich die Verlängerung der Fenster nach unten durch Zusatzelemente.

9. Drei Fenstersysteme – Ihre Vor- und Nachteile: Dachflächenfenster, Dachgaube oder Giebelfenster?

In den Landesbauordnungen und der Literatur wird zwischen stehenden und liegenden Fenstern unterschieden.

Zu der Gruppe der stehenden Fenster zählen Fenster, die senkrecht eingebaut sind, wie z. B. Fenster in senkrechten Wänden, Giebelfenster oder auch Fenster in Gauben.

Zu der Gruppe der liegenden Fenster werden Fenster gerechnet, deren Einbaulage von der Senkrechten abweicht. Alle in der geneigten Dachfläche eingebauten Fenster werden folgerichtig als liegende Fenster bezeichnet; wie z. B. Dachflächenfenster oder Oberlichte in Flachdächern, Sheddächern oder Pultdächern.

Stehende und liegende Fenster haben eines gemeinsam: Sie belichten und belüften Wohn- und Arbeitsräume. Damit erschöpfen sich aber auch die Gemeinsamkeiten, denn bei dem Wie gibt es große Unterschiede.

Für Dachwohnräume kommen alle drei Fenstertypen zum Einsatz:

- Dachflächenfenster,
- Dachgauben,
- Giebelfenster.

Siehe Bild 7 „Lichteinfall bei Dachflächenfenster, Dachgaube und Giebelfenster“.

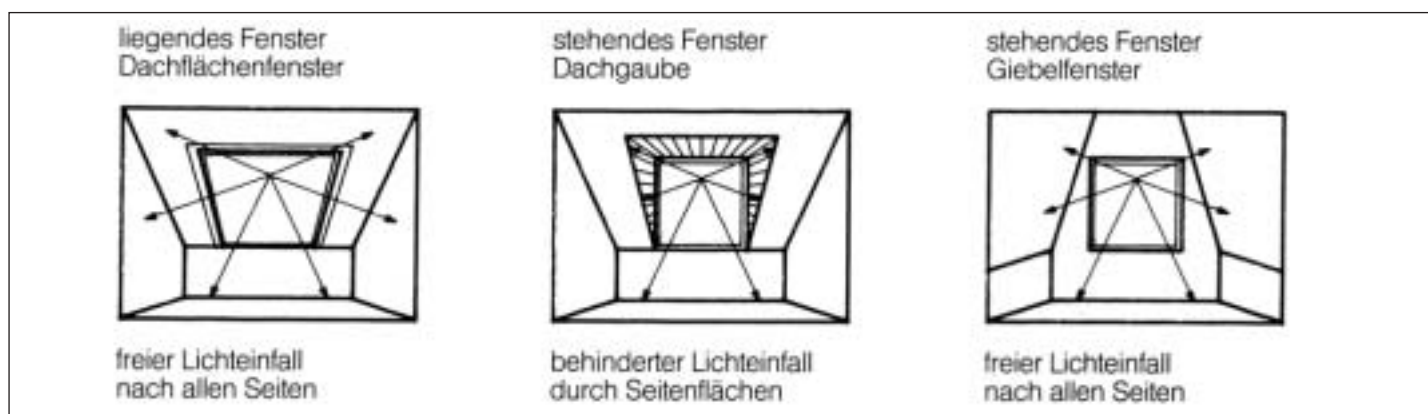


Bild 7: Lichteinfall bei Dachflächenfenster, Dachgaube und Giebelfenster

Vor- und Nachteile der drei Fenstersysteme

	Dachflächenfenster	Dachgaube	Giebelfenster
Lichtmenge	groß	gering	normal
Lichteinfall	frei nach allen Seiten	behindert durch nichtverglaste Seitenwangen	frei nach allen Seiten
Anordnung	Einbau an fast jeder beliebigen Stelle wenig auffallend	Größe und Anzahl abhängig von der architektonischen Gestaltung	Größe und Anzahl abhängig von der architektonischen Gestaltung
Anschaffungskosten	sehr niedrig , durch industrielle Großserienfertigung	hoch bei handwerklicher Einzelfertigung niedrig bei industrieller Kleinserienfertigung	hoch bei handwerklicher Einzelfertigung niedrig bei industrieller Kleinserienfertigung
Einbau- und Einbaukosten	sehr einfach und sehr preisgünstig durch Montagewinkel und Eindeckrahmen	aufwendig bei handwerklicher Ausbildung der Anschlüsse günstiger bei vorgefertigten Elementen	einfach und preiswert aber Sturz erforderlich
Wärmedämmung	einfach einzubauen	aufwendig einzubauen	einfach einzubauen
Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung	hoch	gering	gering
Sommerlicher Wärmeschutz	erreichbar durch Beschattung z. B. Rolll, Jalousie, Rolläden	günstig bei hochstehender Sonne	günstig bei hochstehender Sonne
Baugenehmigung	meist genehmigungsfrei	meist genehmigungspflichtig	meist genehmigungspflichtig
Stellmöglichkeit der Möbel	Giebelwände frei	Giebelwände frei	Giebelwände verbaut

Vor- und Nachteile der drei Fenstersysteme

Die Vor- und Nachteile dieser drei Fenstersysteme werden aufgeschlüsselt nach Lichtmenge, Lichteinfall, Anordnung im Gebäude, Anschaffungskosten, Einbau und Einbaukosten, Wärmedämmung, Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung, sommerlicher Wärmeschutz, Baugenehmigung und Stellmöglichkeit der Möbel. Sie sind in der obenstehenden Tabelle aufgeführt und zusammengefaßt.

Bild 8 „Lichtmenge durch direkte Sonnenstrahlen“ zeigt den Lichteinfall für liegende und stehende Fenster, für Dachflächenfenster und Dachgauben in Abhängigkeit vom Einfallswinkel:

- bei auf- und untergehender Morgen- und Abendsonne: beide Fenstersysteme bringen gleich viel Licht;
- bei geneigter Vor- und Nachmittags-sonne: das liegende Fenster bringt mehr Licht;
- bei steilstehender Mittagssonne: das liegende Fenster bringt viel

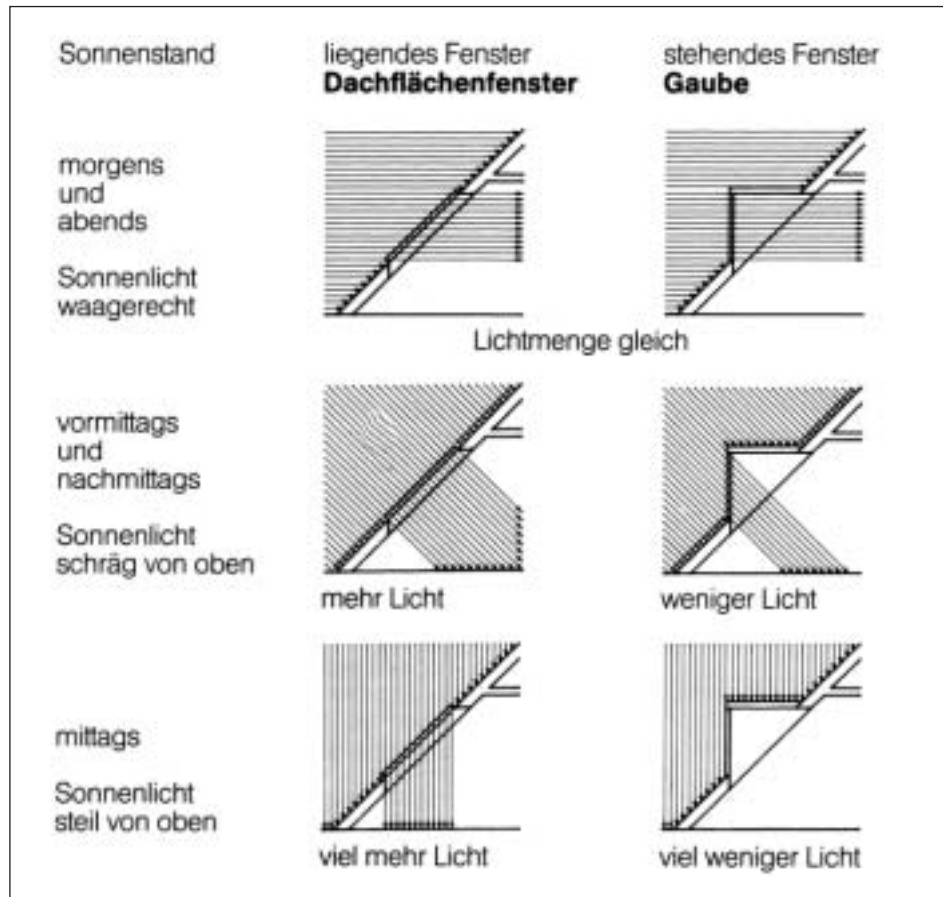


Bild 8: Lichtmenge durch direkte Sonnenstrahlen

Empfehlung:

- Wo der Stil des Hauses es erfordert, sollten Dachgauben eingebaut werden. Dachgauben vergrößern die nutzbare Wohnfläche.
- Giebelfenster sollten nur dann zum Einsatz gelangen, wenn ausreichend Senkrechtwände für hohe Möbel vorhanden sind.
- Dachflächenfenster ergeben die besten Lichtwerte und sind darüberhinaus auch noch die kostengünstigste Lösung.

10. Fensterinnenfutter und Lichteinfall

Der Lichteintritt und die Lichtmenge für Aufenthaltsräume im Dachgeschoß ist abhängig von der Konstruktion des Fensterinnenfutters.

- Kastenfutter engen den Lichteinfall ein.
- Oben waagerechte und unten senkrechte Fensterinnenfutter vergrößern den Lichteinfall.
- Eine hochgezogene obere Kante vergrößert den Lichteinfall um vieles mehr als eine vergleichsweise gleichgroße Verbreiterung des Fensters. Siehe Bild 9: „Fensterinnenfutter, Lichteinfall“.

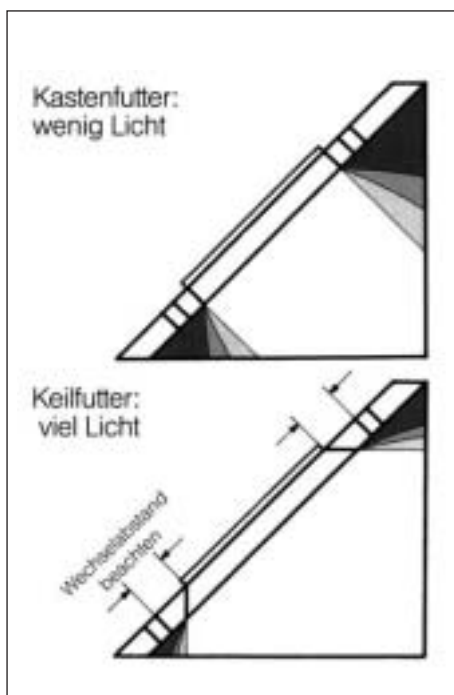


Bild 9: Fensterinnenfutter, Lichteinfall

Empfehlung:

- Statt kastenförmiger Fensterinnenfutter
- das Innenfutterteil über dem Fenster waagrecht und
 - das Teil unter dem Fenster senkrecht konstruieren.
- Achtung: Dafür ist ein ausreichend großer Wechselabstand erforderlich.

11. Farbe von Fensterinnenfutter und Raumausstattung

Licht wird an helleren Flächen stärker reflektiert als an dunklen Flächen. So erhellen Innenfutter mit weißer Oberfläche den Innenraum zusätzlich und erbringen gleichmäßigere Ausleuchtung der Wohnräume. Gleiches gilt auch für Innenwände, Decken, Fußböden, Innenausstattung, Gardinen und Möbel

Empfehlung:

- Innenfutter mit weißer Oberfläche und
- helle Raumausstattung bringen mehr Licht.

12 Anhang

12.1 Ausführliches Berechnungsbeispiel

DIN 5034, Teil 3, Berechnung, Ausgabe September 1994 errechnet den Tageslichtquotienten mit Hilfe von **Integralen**. Das setzt die Beherrschung der Integralrechnung voraus und ist nicht jedermanns Sache.

So hat die neue Ausgabe denn auch die Ermittlung des Tageslichtquotienten weiterhin nach alter Verfahrensweise zugelassen.

Auf Seite 5 wird angemerkt: D_{Hr} und D_{Vr} (r für Rohbau) kann auch mit **graphischen Hilfsmitteln** bestimmt werden. Verwendet werden vor allem das **Himmelslichtdiagramm**.

Anwendungsbeispiel siehe:

- Fischer, U., Tageslichttechnik, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1982;
- die stereographische Projektion nach Tonne:
Tonne, F., Besser bauen mit Beson-

nungs- und Tageslichtplanung, -1, Verlag Karl Hoffmann, Schorndorf, 1954;

- der sogenannte Daylight Protractor: Langmore, J., The BRS Daylight Protractor, H.M.S.O., London 1986.

Zunächst wird in diesem Anhang die Berechnung mit den für alle einfach anzuwendenden graphischen Hilfsmitteln, dem Himmelslichtdiagramm, Raumwirkungsgraddiagramm und einem Nomogramm durchgeführt, danach erfolgt die Berechnung mit Hilfe von Integralen. Anschließend werden die Punkte 12.3 bis 12.8 behandelt.

Das Berechnungsbeispiel ist gedacht für diejenigen, die sich eingehender mit dem Thema Lichtberechnung befassen und Lichtberechnungen selbst durchführen wollen.

Die Belichtung eines Aufenthaltsraums wird nach DIN 5034, Teil 3 mit Hilfe des Tageslichtquotienten D an Hand der Rohbaumaße und der lichten Fenstermaße (Index r für Rohbau) ermittelt nach der Formel:

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

wobei

- D der Tageslichtquotient des fertigen, möblierten Aufenthaltsraumes ist,
- D_{Hr} der Himmelslichtanteil für Rohbaumaße,
- D_{Vr} der Außenreflexionsanteil für Rohbaumaße,
- D_{Rr} der Innenreflexionsanteil für Rohbaumaße,
- τ_{D65} der Transmissionsgrad der Scheibe,
- k_1 ein Faktor für Konstruktionsteile,
- k_2 Faktor für Scheibenverschmutzung und
- k_3 ein Korrekturfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall.

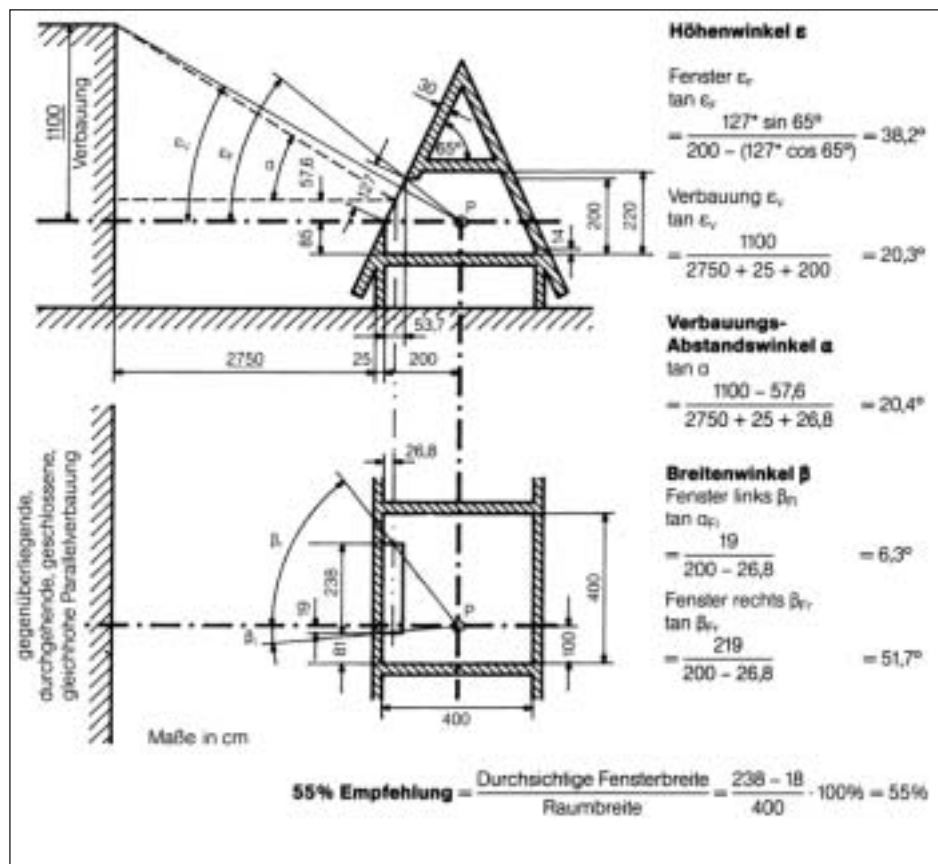


Bild 10: Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße – Berechnungswerte

12.1.1 Situationsbeschreibung des Berechnungsbeispiels

Gegeben:

Dachwohnraum mit Dachflächenfenster

Raummaße (Rohbau):

Breite 400 cm, Tiefe 400 cm, Höhe 220 cm, Wanddicke 25 cm, Dachdicke 30 cm, innere Abseitenhöhe 14 cm.

Dachneigung:

geneigtes Dach mit Dachschräge 65°.

Dachöffnung (Rohbau):

Gesamt-Breite 238 cm*, Gesamt-Länge 127 cm*, Fensterfläche (Rohbaumaß) 3,02 m².

Fenster:

ein Dachflächenfenster mit Normisolierglasscheibe,

- Dachneigung = Fensterneigung = 65°,
- Fensterscheibe = Außenseite Dacheindeckung,
- senkrechter Höhenabstand OK-Fenster bis OK fertiger Fußboden 200 cm,

- waagerechte Abstandstiefe* OK-Fenster im Schnittpunkt mit OK-Dacheindeckung bis Innenkante Außenwand 53,7 cm,
- Fensterabstand links bis Innenwand 81 cm (Draufsicht).

Fenstermaße: (lichte Maße)

Breite 238 cm, Länge 127 cm, Dicke der Fensterrahmen umlaufend 9 cm, Rohbau-Fensterfläche 3,02 m², Lichtfläche 2,40 m².

Verbauung:

gegenüberliegende, durchgehende, geschlossene, gleichhohe Parallelverbauung:

Höhe 1100 cm, Abstand 2750 cm.

* Die Fenstermaße sind nach DIN 5034-Empfehlung festgelegt:

- Fensteroberkante 200 cm, Fensterunterkante 85 cm (hier identisch mit Höhe Bezugsebene),
- Durchsichtige Fensterbreite mindestens 55 % der Raumbreite,
- Durchsichtige Fensterbreite / Raumbreite = $(238 - (2 \cdot 9)) / 400 \cdot 100\% = 55\%$.

12.1.2 Errechnung der Höhen- und Breitenwinkel

Bild 10 „Dachwohnraum mit Dach-

flächenfenster, Maße – Berechnungswerte“ zeigt neben den Maßen der Bauzeichnung die bereits errechneten Winkel-Werte bezogen auf den linken Bezugspunkt P. In der Praxis wird nach Bauplan, Skizze, Vorlage oder EDV-Programm berechnet.

Weil das Fenster mittig in der Dachfläche liegt, erhält jeder Bezugspunkt die gleiche Lichtmenge. Daher hätte auch der rechte Bezugspunkt gewählt werden können.

Der Fensterhöhenwinkel liegt zwischen oberer Fensterbegrenzung und Bezugsebene.

Der Verbauungshöhenwinkel liegt zwischen Bezugsebene und Oberkante der Verbauung.

Der Verbauungswinkel (Verbauungs-Abstandswinkel) wird gemessen von der Außenseite des Fensters und einer durch die Fenstermitte verlaufenden, waagerechten Bezugsebene sowie der Oberkante der Verbauung.

Da der Bezugspunkt – rechtwinklig zum Fenster gesehen – zur Fensteröffnung asymmetrisch liegt, ergeben sich unterschiedliche linke und rechte Fenster- und Verbauungsbreitenwinkel.

Bei der Errechnung der Verbauungsbreitenwinkel ist zu beachten, dass vom Bezugspunkt die Enden der (in diesem Beispiel) durchgehenden, gleichhohen Verbauung nicht gesehen werden können.

Da das Fenster den Ausblick rechts und links begrenzt, nehmen die Verbauungsbreitenwinkel folgerichtig die Werte der Fensterbreitenwinkel an.

In diesem Fallbeispiel sind also **Fenster- und Verbauungsbreitenwinkel** gleich.

Wäre die Verbauung kleiner und/oder läge sie innerhalb des Fensterausblicks, ergäben sich andere Verbauungsbreitenwinkel und die Berechnung müßte mit diesen Verbauungsbreitenwinkeln durchgeführt werden.

12.1.3 Errechnung des Himmelslichtanteils D_{Hr}

Zur Ermittlung des Himmelslichtanteils wird das Himmelslichtdiagramm benötigt, das ausführlich unter Punkt 12.5 „Himmelslichtdiagramm und Himmelslichtanteil“ erläutert wird.

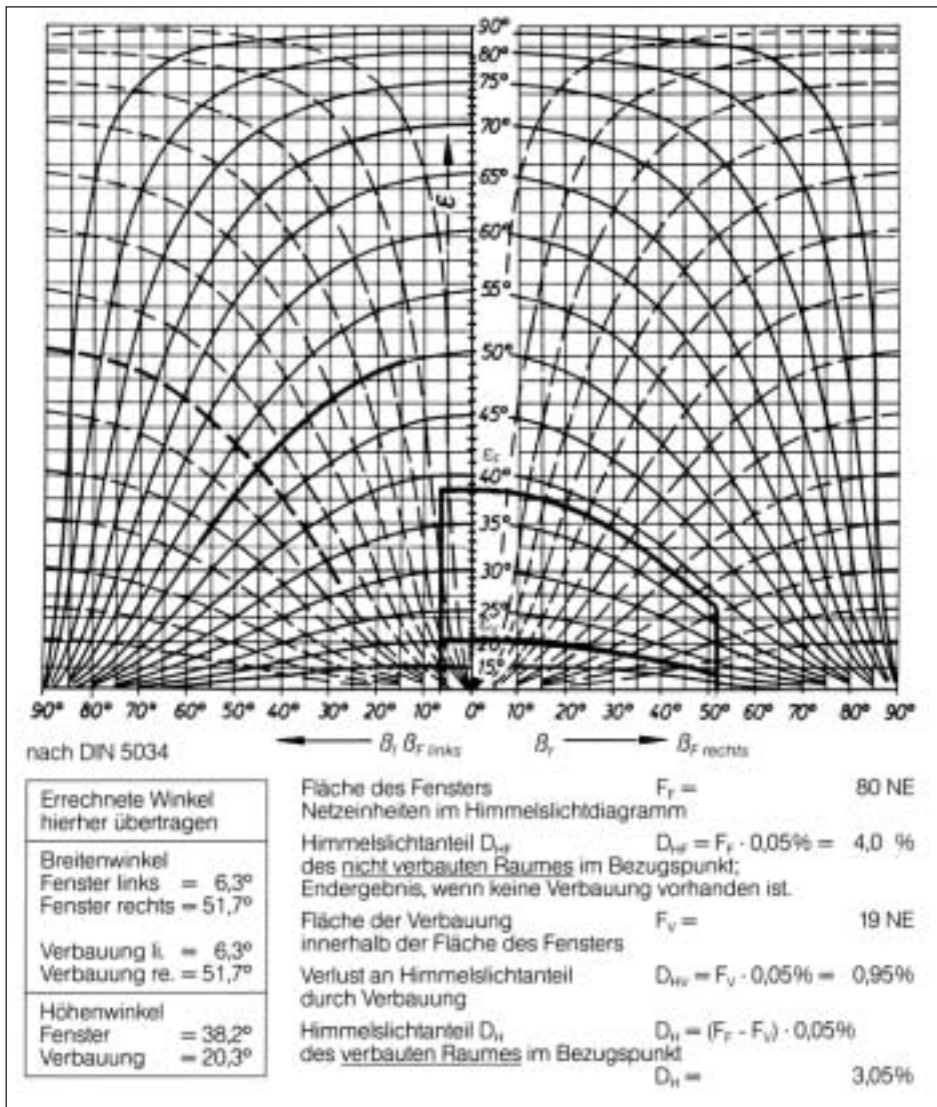


Bild 11: Himmelslichtanteil, Flächen im Himmelslichtdiagramm

In Bild 11 „Himmelslichtanteil, Flächen im Himmelslichtdiagramm“ sind die Netzeinheiten und das Ergebnis des Himmelslichtanteils zusammengestellt.

Für die Ermittlung des Himmelslichtanteils D_{Hr} werden zunächst die errechneten Höhen- und Breitenwinkel in das Himmelslichtdiagramm übertragen:

Breitenwinkel:

Fensterbreitenwinkel links β_{Fl}	6,3°
Fensterbreitenwinkel rechts β_{Fr}	51,7°
Verbaugungsbreitenwinkel links β_{Vl}	6,3°
Verbaugungsbreitenwinkel rechts β_{Vr}	51,7°

Höhenwinkel:

Fensterhöhenwinkel ϵ_F	38,2°
Verbaugungshöhenwinkel ϵ_V	20,3°

Im Himmelslichtdiagramm werden nun diese Winkel markiert:

- links der Fensterbreitenwinkel links β_{Fl} mit **6,3°** und von diesem Punkt

eine Linie senkrecht nach oben gezogen.

- rechts der Fensterbreitenwinkel rechts β_{Fr} mit **51,7°** und von hier ebenfalls eine Linie senkrecht nach oben gezogen.
- Der Fensterhöhenwinkel ϵ_F beträgt **38,2°**. Er wird auf der senkrechten Mittellinie markiert und die Höhenlinie für das Fenster parallel zu den vorhandenen, durchgehenden Kurven bis zu den bereits eingezeichneten Senkrechten der Fensterbreitenwinkel gezogen.

Innerhalb der drei Linienbegrenzungen und der Grundlinie werden die Kästchen, das heißt die Netzeinheiten ausgezählt. Es sind **80 NE**.

Der vom Bezugspunkt P aus sichtbare Himmelsausschnitt entspricht im Himmelslichtdiagramm also der durch die Fläche des Fensters F_F einfallenden

Lichtmenge mit 80 Netzeinheiten.

Der Himmelslichtanteil des nicht verbaugten Raumes ergibt sich unter Berücksichtigung des für dieses Himmelslichtdiagramm zu verwendenden Umrechnungsfaktors

$M = 0,05\%$ (siehe 12.5):

$$D_{HFr} = F_F \cdot M = 80 \cdot 0,05 = 4,0\%$$

Dieser Wert D_{HFr} (r für Rohbau) vermindert sich aber durch den Verbaugungsanteil.

Die in die Ermittlung einzusetzenden Verbaugungsbreitenwinkel sind die gleichen wie die Fensterbreitenwinkel (siehe 12.1.2). Zu markieren sind:

- links der Verbaugungsbreitenwinkel links β_{Vl} mit **6,3°**. Die von hier zu ziehende senkrechte Linie existiert bereits.
- rechts der Verbaugungsbreitenwinkel rechts β_{Vr} mit **51,7°**. Auch diese von hier zu ziehende senkrechte Linie existiert bereits.
- Der Verbaugungshöhenwinkel beträgt **20,3°**. Dieser Wert wird ebenfalls auf der senkrechten Mittellinie markiert und parallel zu den vorhandenen Kurven die Höhenlinie für die Verbaugung gezogen.

Innerhalb dieser drei Linienbegrenzungen und der Grundlinie werden die Kästchen bzw. die Netzeinheiten ausgezählt. Es sind **19 NE**.

Die vom Bezugspunkt P aus sichtbare Verbaugung entspricht im Himmelslichtdiagramm also der durch die Fläche der Verbaugung F_V verminderten Lichtmenge mit 19 Netzeinheiten.

Der Himmelslichtanteil D_{Hv} (r für Rohbau), der durch die Verbaugung abgeschirmt wird, ergibt sich aus der Formel:

$$D_{Hv} = F_V \cdot M = 19 \cdot 0,05 = 0,95\%$$

Der reine Himmelslichtanteil D_{Hr} , der im Bezugspunkt P zu sehen ist, errechnet sich:

$$D_{Hr} = (F_F - F_V) \cdot M = (80 - 19) \cdot 0,05 = 3,05\%$$

oder aus der Differenz beider Himmelslichtanteile:

$$D_{Hr} = D_{HFr} - D_{Hv} = 4,0\% - 0,95\% = 3,05\%$$

$$D_{Hr} = 3,05\%$$

12.1.4 Errechnung des Außenreflexionsanteils D_{Vr}

Der Außenreflexionsanteil D_{Vr} (r für Rohbau) errechnet sich nach der Formel:

$$D_{Vr} = F_V \cdot M \cdot L_D / 100 \text{ in } \%$$

wobei

- F_V die Fläche der Verbauung im Himmelslichtdiagramm in NE,
- M der Umrechnungsfaktor in % für dieses Himmelslichtdiagramm und
- L_D die Leuchtdichte der Verbauung mit 15% ist.

$$D_{Vr} = 19 \cdot 0,05 \cdot 15 / 100 \approx 0,14 \%$$

Der Außenreflexionsanteil ist der Anteil der Beleuchtung, der als Reflexion von der Verbauung in den Aufenthaltsraum strahlt.

12.1.5 Ermittlung des Innenreflexionsanteils D_{Rr}

Der **Innenreflexionsanteil D_{Rr}** wird an Hand eines Diagramms und Nomo-gramms ermittelt, wobei Fensterfläche F_F , Wandfläche F_W , Raumbo-berfläche F_R sowie die Quotienten Fensterfläche zu Raumbo-berfläche und Wandfläche zu Raumbo-berfläche zu errechnen sind.

Zur Wandfläche zählen Innenflächen von Rückwand, beide Seitenwände und Vorderwand, also alle Seitenwände, wobei die Fensterfläche mitgerechnet wird.

Zur Raumboberfläche werden Wandflächen plus Innenflächen von Decke und Boden gerechnet.

Errechnete **Flächen** (Rohbaumaße):

- 3,02 m² Fenster
- 9,64 m² Rückwand (Abseite und Schräge)
- 9,64 m² Vorderwand (Abseite und Schräge)
- 13,64 m² beide Seitenwände
- 16,00 m² Boden
- 8,32 m² Decke
- 32,92 m² Wandfläche (Rück-, Vorder- u. Seitenwände)
- 57,24 m² Raumboberfläche (Wandflächen, Boden und Decke)

Daraus **Quotienten**:

- 0,0528 Quotient F_F / F_R
- Fensteröffnung zu Raumbo-berfläche

- 0,5751 Quotient F_W / F_R
- Wandfläche zu Raumbo-berfläche

Für diesen Wohnraum wurden mittelhelle Wände, dunkler Boden und Möblierung sowie helle Decke mit einem durchschnittlichen Reflexionsgrad von $\rho_W = 0,3$ festgestellt.

Zur Ermittlung des Raumwirkungsgrades dient das Diagramm in Bild 12 „Raumwirkungsgrad, für Verhältnis Wandfläche zu Raumbo-berfläche“.

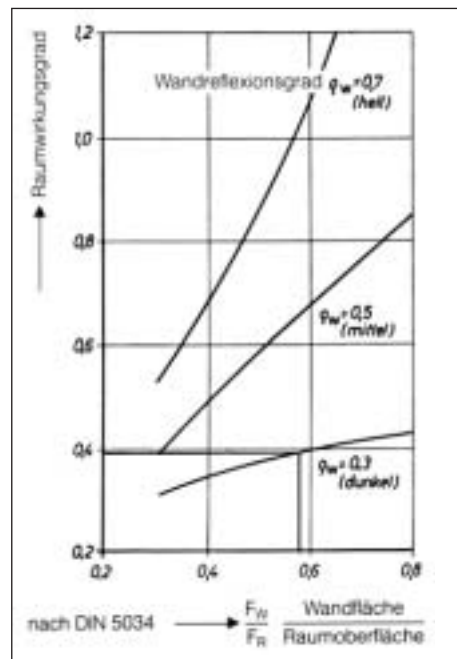


Bild 12: Raumwirkungsgrad, für Verhältnis Wandfläche zur Raumbo-berfläche

Der Quotient Wandfläche zu Raumbo-berfläche mit 0,5751 wird auf der Abszisse des Diagramms in Bild 12 markiert und eine Senkrechte nach oben gezogen, bis sie die Parameterkurve Wandreflexionsgrad $\rho_W = 0,3$ (für dunkle Flächen) trifft.

Der **Raumwirkungsgrad η_R** wird mit 0,39 interpolierend abgelesen.

In Bild 13 „Innenreflexionsanteil für einseitig befensterte Aufenthaltsräume“ (siehe Seite 20) wird in dem Nomo-gramm der Raumwirkungsgrad η_R mit 0,39 auf der Skala „Raumwirkungsgrad“ markiert und mit 1 bezeichnet.

Auf der Skala „Fensteröffnung zu Raumbo-berfläche“ wird der Quotient Fensteröffnung zu Raumbo-berfläche F_F/F_R mit **0,0528** markiert und mit 2 bezeichnet.

Beide Markierungspunkte werden miteinander verbunden und der Schnitt-

punkt mit der mittleren Skala mit 3 bedacht.

Wenn keine Verbauung vorhanden wäre, würde hier der Innenreflexionsanteil ohne Verbauung mit 0,9 % abgelesen.

Es gibt aber eine Verbauung; deswegen muss der wirkliche Innenreflexionsanteil, der Innenreflexionsanteil mit Verbauung, noch ermittelt werden.

Dabei hilft der in Bild 10 „Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße - Berechnungswerte“ errechnete Verbauungswinkel:

Verbauungsabstandswinkel $\alpha = 20,4^\circ$.

Er wird auf der Skala „Verbauungsabstandswinkel α “ markiert und mit 4 bezeichnet.

Von diesem Punkt 4 wird durch Punkt 3 dem Schnittpunkt auf der mittleren Skala eine Verlängerung zur linken Skala „Innenreflexionsanteil mit Verbauung“ gezogen, die diese im Punkt 5 trifft.

Hier wird der gesuchte Innenreflexionsanteil mit Verbauung (r für Rohbau) abgelesen.

$$D_{Rr} = 0,76 \%$$

12.1.6 Tageslichtquotient D Ergebnis ermittelt mit graphischen Hilfsmitteln

Nun bleibt noch die Einzelergebnisse zu addieren und mit Minderungs- bzw. Schwächungsfaktoren zu korrigieren, weil das Licht im bewohnten Raum nicht durch die Rohbauöffnung, sondern durch die kleinere Lichtfläche des Fensters dringt und verschmutzte Scheiben Licht schlucken.

Diese Faktoren sind:

τ_{D65} Transmissionsgrad der Scheibe, für Norm-Isolierglasscheibe: 0,8. Infolge der Anforderungen der WSV werden heute nur beschichtete Glasscheiben für Aufenthaltsräume eingesetzt, deren Transmissionsgrad niedriger (z. B. **0,76**) liegt.

k_1 Verminderungsfaktor für Rahmen und Sprossenwerk: 0,79; siehe Bild 14 „Schwächungsfaktor k_1 “

k_2 Verminderungsfaktor für Scheibenverschmutzung 0,9;

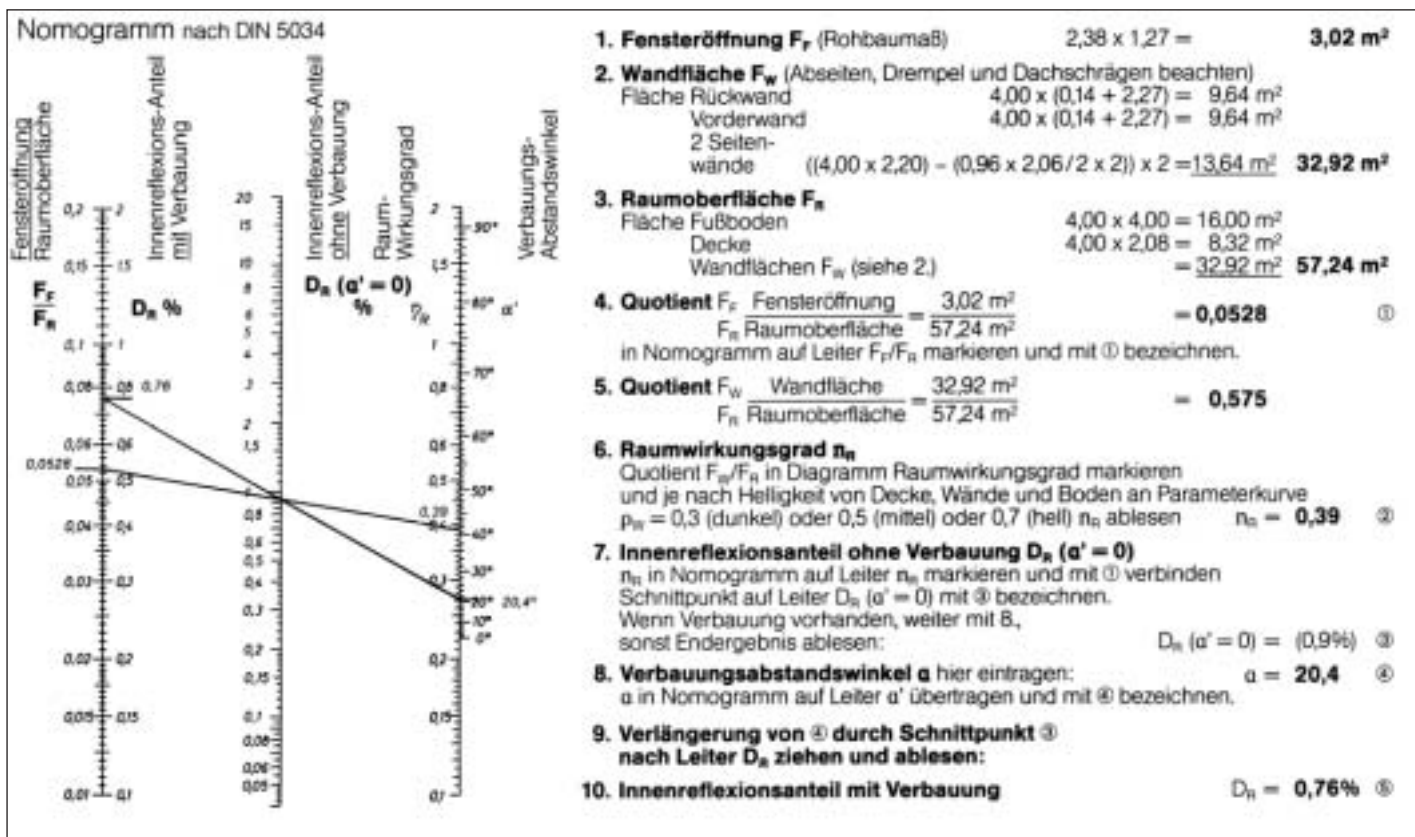


Bild 13: Innenreflexionsanteil für einseitig befensterte Aufenthaltsräume

aus DIN 5034-3, Seite 4, Tabelle 1: Abhängigkeit des Verminderungsfaktors k_2 vom Maß der Verschmutzung,

k_3 Korrekturfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall. Für die übliche Doppelverglasung pauschal 0,85.

In der früher geltenden Norm 5034 gab es diesen Korrekturfaktor k_3 für nicht senkrechten Lichteinfall noch nicht. Daher differieren alle früher errechneten Tageslichtquotienten auch um diesen Anteil.

Frühere Ergebnisse sind also nicht direkt mit den heute ermittelten zu vergleichen, es sei denn, sie werden um diesen k_3 -Wert angepaßt.

Der Tageslichtquotient D wird errechnet:

$$D = (D_{HR} + D_{VR} + D_{RR}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

$$D = (3,05 + 0,14 + 0,76) \cdot 0,76 \cdot 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,85$$

$$D = 1,81 \%$$

Da der Tageslichtquotient im vorgegebenen Bezugspunkt im Mittel der beiden Bezugspunkte mindesten 0,9 %

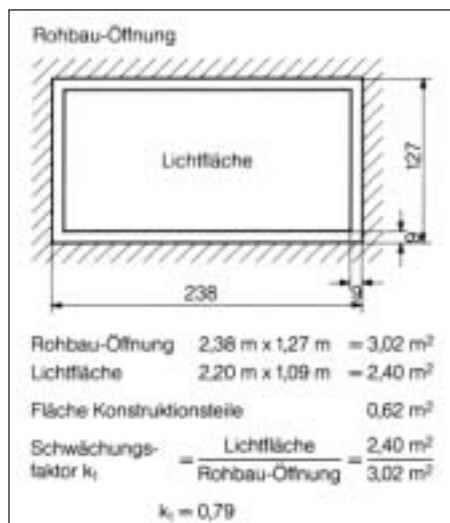


Bild 14: Schwächungsfaktor k_1

und an einem der Bezugspunkte mindestens 0,75 % betragen soll (in diesem Raum erhalten beide Bezugspunkte die gleiche Lichtmenge), ist die vom Tageslicht in diesem Wohnraum erzeugte Helligkeit im Rahmen ihrer psychischen Bedeutung ausreichend und das Rauminnere gut beleuchtet.

Da sowohl die gesetzlichen Vorschriften, wie auch die Vorgaben der DIN 5034 erfüllt sind, ist dieser Raum vorbildlich ausgestattet.

Im nächsten Kapitel 12.2 wird der Tageslichtquotient mit Formeln der Integralrechnung ermittelt.

Nach Bewertung beider Methoden und nach Abwägung aller Vor- und Nachteile kann sich jeder für die für ihn günstigere Methode der Ermittlung entscheiden.

12.2 Ausführliches Berechnungsbeispiel mit Formeln der Integralrechnung

In den Kapiteln 12.1 bis 12.1.6 wurde die Ermittlung des Tageslichtquotienten mit graphischen Hilfsmitteln aufgezeigt.

In diesem Kapitel soll, entsprechend DIN 5034, Teil 3 vom September 1994, der Tageslichtquotient mit Hilfe von Integralen für ein und denselben Wohnraum errechnet werden.

In Punkt 12.1.1 „Situationsbeschreibung des Berechnungsbeispiels“ und in Bild 10 „Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße – Berechnungswerte“ wird der Dachwohnraum mit einem Dachflächenfenster und einer gegenüberliegenden, durchgehenden Verbaueung zeichnerisch dargestellt und verbal beschrieben.

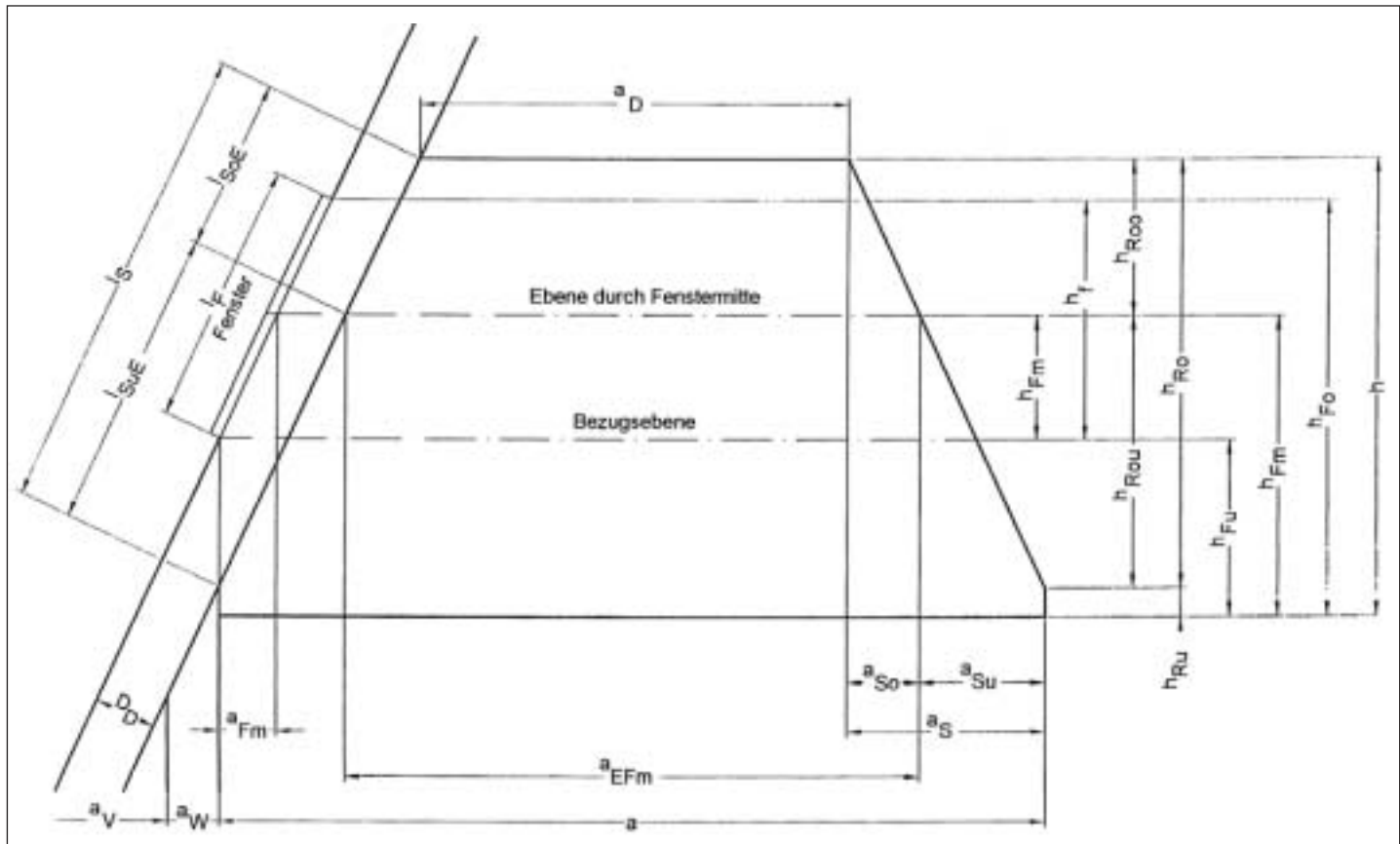


Bild 15: Maßbezeichnungen für Berechnung nach DIN 5034-3, Stand Sept. 1994

Der Tageslichtquotient D setzt sich, wie früher schon erwähnt, aus drei Anteilen zusammen:

- dem Himmelslichtanteil D_H ,
- dem Außenreflexionsanteil D_V und
- dem Innenreflexionsanteil D_R ,

wobei nach heute gültiger Norm diese Anteile mit Indizes versehen sind, da sie zunächst im Rahmen der Bauplanung mit den Rohbaumaßen (daher Index r) ermittelt werden:

$$D_r = D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}$$

Die abschließende Errechnung des Tageslichtquotienten D für den fertigen, möblierten Wohnraum berücksichtigt die Lichtreduktion durch Verglasung, Konstruktionsteile des Fensters und die Verschmutzung der Scheiben durch Multiplikation mit Minderungsfaktoren. Nach heute gültiger DIN kommt zusätzlich ein Korrekturfaktor k_3 für nicht senkrechten Lichteinfall hinzu, der für Doppelverglasungen gilt und pauschal mit 0,85 angenommen wird. Alle Berechnungen wurden mit Hilfe des EDV-Mathematik-Programms Mathcad 2000 durchgeführt. Mathcad führt Berechnungen in einem Arbeitsblatt durch. Darin werden zunächst alle benötigten Vorgaben aufgeführt.

Diese Vorgaben stammen zum Teil aus der Rohbauzeichnung siehe Bild 10 „Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße – Berechnungswerte“, zum Teil aus Bild 15 „Maßbezeichnungen für Berechnung nach DIN 5034-3, Stand Sept. 1994“. Der Aufbau eines Arbeitsblattes ist immer gleich: Vorgaben, Berechnung, Ergebnis. Eine Eigenart des eingesetzten Programms ist zu beachten: Statt z. B. $\sin^3\alpha$ schreibt Mathcad $\sin(\alpha)^3$.

Himmelslichtanteil D_{Hr}

In den auf den Seiten 22 und 23 abgedruckten Mathcad Arbeitsblättern werden für den linken Bezugspunkt P errechnet:

- alle Zwischenmaße,
- Höhen- sowie linke und rechte Breitenwinkel
 - der Fenster ϵ_F , β_{F1} und β_{F2}
 - der Verbauung ϵ_V , β_{V1} und β_{V2}
- der Himmelslichtanteil D_{Hr} bei bedecktem Himmel.

Das Ergebnis der Berechnung lautet:

$$D_{Hr} = 3,00 \%$$

Das Ergebnis des mit graphischen Hilfsmitteln erzielten Wertes lautet:

$$DH = 3,05 \%$$

Beide Ergebnisse unterscheiden sich, aber erst auf der zweiten Stelle hinter dem Komma.

Die Unterschiede ergeben sich durch Rechengenauigkeit, die im Mathcad-programm mit dessen vollständiger Genauigkeit (bis zu 15 Ziffern), bei der Ermittlung mit graphischen Hilfsmitteln mit meist nur einer Stelle hinter dem Komma erfolgt.

Die Übereinstimmung der Ergebnisse ist daher mit gut zu bezeichnen.

Außenreflexionsanteil D_{Vr}

Der Außenreflexionsanteil D_{Vr} wird bei bedecktem Himmel für eine vom Bezugspunkt P

- unter den Winkeln ϵ_V , β_{V1} und β_{V2} gesehene Verbauung

auf den abgedruckten Mathcad-Arbeitsblättern, berechnet (Seite 57 und 58).

Außenreflexionsanteil D_{Vr} (r für Rohbau) für die beschriebene Rohbauwohnung errechnet sich zu

$$D_{Vr} = 0,14 \%$$

Ergebnis wie mit graphischen Hilfsmitteln.

Innenreflexionsanteil D_{Rr}

Für die Berechnung des Innenreflexionsanteils werden Wand-, Boden- und Deckenoberflächen sowie die Raumbegrenzungsfläche benötigt.

Weiter gehen die Reflexionsgrade für mittelhelle Wände, dunklem Boden und heller Decke in die Rechnung ein.

Ein Wohnraum unter dem geneigten Dach unterscheidet sich aber grundsätzlich von Senkrechtträumen. Während die Raumbober- und Raumbegrenzungsflächen von Senkrechtträumen auf Grund ihrer Winkeligkeit schnell und einfach errechnet sind, müssen diejenigen von Dachwohnungen mit schrägen Wänden erst durch Rechenfunktionen ermittelt werden. Außerdem ist die Deckenfläche kleiner als die des Bodens.

Der Innenreflexionsanteil (siehe Mathcad-Berechnungsblätter auf den Seiten 59, 60 und 61) – beträgt:

$$D_{Rr} = 0,76 \%,$$

Ergebnis wie mit graphischen Hilfsmitteln

Tageslichtquotient D

Der Tageslichtquotient D wird zunächst als Tageslichtquotient für den Rohbau D_r errechnet.

$$D_r = D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}$$

Ein bewohnter Aufenthaltsraum hat Fenster, deren Scheiben einen Teil des Lichtes schlucken τ_{D65} , Doppelverglasungen (Klarglas) lassen nur 80 % des Lichtes herein. Scheiben können zusätzlich verschmutzt sein k_2 und das Fenster selbst verkleinert die Rohbauöffnung durch Rahmen und Sprossen k_1 .

DIN 5034, Teil 3, Stand September 1994 gibt noch einen weiteren Faktor vor: k_3 , Korrekturfaktor für nicht senkrecht einfallendes Licht.

Der Tageslichtquotient D_r (r für den Rohbau) wird mit diesen vier Faktoren multipliziert und dadurch reduziert.

So errechnet sich der endgültige Tageslichtquotient für den fertigen, möblierten Aufenthaltsraum, separat aufzurufen unter „Tageslichtquotient.mcd“ nach der Formel:

$$D = D_r \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$
$$D = 1,80 \%$$

und differiert damit zu dem Ergebnis durch graphische Hilfsmittel von $D = 1,81 \%$ um $0,01 \%$, eine kaum meßbare Differenz.

Die Ergebnisse stimmen nicht nur hinreichend genau überein, sondern sind fast gleich.

So kann sowohl die Methode

- Ermittlung des Tageslichtquotienten mit graphischen Hilfsmitteln,
- als auch die Errechnung mit Hilfe von Integralen

bedenkenlos eingesetzt werden.

Berechnung des Himmelslichtanteils

Dachwohnraum mit Dachflächenfenster und gegenüberliegender, durchgehender Bebauung

Der Himmelslichtanteil D_{Hr} (r für Rohbau) wird bei bedecktem Himmel für ein vom Bezugspunkt P unter den Winkeln ϵ_F , β_{Fl} und β_{Fr} gesehenes Fenster berechnet.

Vorgaben

Erläuterungen zu den einzelnen Vorgaben und Rechenwerten

Siehe auch Bild 10 Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße - Berechnungswerte und Bild 15 Maßbezeichnungen für Berechnung nach DIN 5034-3, Stand Sept. 1994

$b_l := .19$	Abstand links von rechtwinkliger Mittellinie durch Punkt P auf Fenster in m
$b_r := 2.19$	Abstand rechts von rechtwinkliger Mittellinie durch Punkt P auf Fenster in m
$a_p := 2.00$	Abstand Bezugspunkt von Innenfläche Vorderwand in m
$h_{Fo} := 2.00$	Fensteroberkante in m
$h_{Fu} := .85$	Fensterunterkante in m
$h_F := h_{Fo} - h_{Fu}$	$h_F = 1.15$ Fensterhöhe senkrecht gemessen in m
$l_F := \frac{h_F}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_F = 1.2689$ Fensterlänge in der Dachschräge gemessen in m
$a_{Fm} := \frac{l_F}{2} \cdot \cos(65 \cdot \text{Grad})$	$a_{Fm} = 0.2681$ Abstand Fenstermitte von vorderer Innenwand in m
$a_{Fo} := l_F \cdot \cos(65 \cdot \text{Grad})$	$a_{Fo} = 0.5363$ Abstand Fensteroberkante von vord. Innenw. in m
$h_v := 11.00$	Verbauungshöhe über Bezugsebene bzw. über Fensterunterkante in m
$a_v := 27.50$	Verbauungsabstand bis Außenkante Wohnung in m
$a_w := .25$	Wanddicke in m

Breitenwinkel β für Fenster und Verbauung

$\beta_{Fl} := \text{atan}\left(\frac{-b_l}{a_p - a_{Fm}}\right)$	$\beta_{Fl} = -6.26 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Fenster links in Grad
$\beta_{Fr} := \text{atan}\left(\frac{b_r}{a_p - a_{Fm}}\right)$	$\beta_{Fr} = 51.66 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Fenster rechts in Grad
$\beta := 0 \cdot \text{Grad}$		Breitenwinkel bei 0 Grad

Die Breitenwinkel für Verbauung sind die gleichen wie die für Fenster.

$\beta_{vL} := \beta_{Fl}$	$\beta_{vL} = -6.26 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Verbauung links in Grad
$\beta_{vR} := \beta_{Fr}$	$\beta_{vR} = 51.66 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Verbauung rechts in Grad

Höhenwinkel ε für Fenster und Verbauung

$$\varepsilon_F := \operatorname{atan}\left(\frac{h_F}{a_P - a_{F0}}\right) \quad \varepsilon_F = 38.16 \text{ Grad} \quad \text{Höhenwinkel Fenster in Grad}$$

$$\varepsilon_V := \operatorname{atan}\left[\frac{h_V}{(a_V + a_W + a_P)}\right] \quad \varepsilon_V = 20.292 \text{ Grad} \quad \text{Höhenwinkel Verbauung in Grad}$$

$$\gamma_F := \operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_F) \cdot \cos(\beta)) \quad \gamma_F = 38.155 \text{ Grad}$$

$$\gamma_V := \operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)) \quad \gamma_V = 20.292 \text{ Grad}$$

$$D_{Hr} = \frac{3}{7\pi} \cdot \int_{\beta_{F1}}^{\beta_{F2}} \left[\frac{2}{3} \cdot (\sin(\gamma_F)^3 - \sin(\gamma_V)^3) + \frac{1}{2} \cdot (\sin(\gamma_F)^2 - \sin(\gamma_V)^2) \right] d\beta \cdot 100\%$$

Achtung: Für den Ausdruck z.B: $\sin^3 \gamma_F$ schreibt das Rechenprogramm Mathcad: $\sin(\gamma_F)^3$

Um die Formel-Berechnung leserlich auf diese Seitenbreite schreiben zu können, wird sie geteilt:

$$D_{Hr} = \frac{3 \cdot 100}{7\pi} \cdot (D_{Hr1} + D_{Hr2}) \%$$

$$D_{Hr1} := \frac{2}{3} \cdot \int_{\beta_{F1}}^{\beta_{F2}} \left((\sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_F) \cdot \cos(\beta)))^3 - \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^3) \right) d\beta$$

$$\frac{2}{3} \cdot \int_{\beta_{F1}}^{\beta_{F2}} \left((\sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_F) \cdot \cos(\beta)))^3 - \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^3) \right) d\beta = 0.105$$

$$D_{Hr2} := \frac{1}{2} \cdot \int_{\beta_{F1}}^{\beta_{F2}} \left((\sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_F) \cdot \cos(\beta)))^2 - \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^2) \right) d\beta$$

$$\frac{1}{2} \cdot \int_{\beta_{F1}}^{\beta_{F2}} \left((\sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_F) \cdot \cos(\beta)))^2 - \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^2) \right) d\beta = 0.115$$

$$D_{Hr} := (D_{Hr1} + D_{Hr2}) \cdot \frac{3 \cdot 100}{7\pi} \quad D_{Hr} = 2.999$$

$$D_{Hr} = 3,00 \%$$

Berechnung des Außenreflexionsanteils

Dachwohnraum mit Dachflächenfenster und gegenüberliegender, durchgehender Bebauung

Der Außenreflexionsanteil D_{Vr} (r für Rohbau) wird bei bedecktem Himmel für eine vom Bezugspunkt P unter den Winkeln ε_V , β_{Vl} und β_{Vr} gesehene Verbauung berechnet.

Vorgaben

Erläuterungen zu den einzelnen Vorgaben und Rechenwerten

Siehe auch Bild 10 Dachwohnraum mit Dachflächenfenster, Maße - Berechnungswerte und Bild 15 Maßbezeichnungen für Berechnung nach DIN 5034-3, Stand Sept. 1994

$b_l := .19$	Abstand links von rechtwinkliger Mittellinie durch Punkt P auf Fenster in m
$b_r := 2.19$	Abstand rechts von rechtwinkliger Mittellinie durch Punkt P auf Fenster in m
$a_p := 2.00$	Abstand Bezugspunkt von Innenfläche Vorderwand in m
$h_{Fo} := 2.00$	Fensteroberkante in m
$h_{Fu} := .85$	Fensterunterkante in m
$h_F := h_{Fo} - h_{Fu}$	$h_F = 1.15$ Fensterhöhe senkrecht gemessen in m
$l_F := \frac{h_F}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_F = 1.2689$ Fensterlänge in der Dachschräge gemessen in m
$a_{Fm} := \frac{l_F}{2} \cdot \cos(65 \cdot \text{Grad})$	$a_{Fm} = 0.2681$ Abstand Fenstermitte von vorderer Innenwand in m
$h_V := 11.00$	Verbauungshöhe über Bezugsebene bzw. über Fensterunterkante in m
$a_V := 27.50$	Verbauungsabstand bis Außenkante Wohnung in m
$a_W := .25$	Wanddicke in m

Breitenwinkel β für Verbauung

$\beta_{Vl} := \text{atan}\left(\frac{-b_l}{a_p - a_{Fm}}\right)$	$\beta_{Vl} = -6.26 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Verbauung links in Grad
$\beta_{Vr} := \text{atan}\left(\frac{b_r}{a_p - a_{Fm}}\right)$	$\beta_{Vr} = 51.66 \text{ Grad}$	Breitenwinkel Verbauung rechts in Grad
$\beta := 0 \cdot \text{Grad}$		Breitenwinkel bei 0 Grad

Höhenwinkel ε für Verbauung

$$\varepsilon_V := \operatorname{atan}\left[\frac{h_V}{(a_V + a_W + a_P)}\right] \quad \varepsilon_V = 20.29 \text{ Grad} \quad \text{Höhenwinkel Verbauung in Grad}$$

$$\gamma_V := \operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)) \quad \gamma_V = 20.29 \text{ Grad}$$

$$\rho_V := .2 \quad \text{Reflexionsgrad der Verbauung}$$

$$c := .75 \cdot \rho_V \quad c = 0.15 \quad \text{Faktor}$$

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

Achtung: Für den Ausdruck z.B: $\sin^3 \gamma_V$ schreibt das Rechenprogramm Mathcad: $\sin(\gamma_V)^3$

$$D_{Vr} := c \cdot \frac{3 \cdot 100}{7 \cdot \pi} \cdot \int_{\beta_{Vt}}^{\beta_{Vw}} \left(\frac{2}{3} \cdot \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^3 + \frac{1}{2} \cdot \sin(\operatorname{atan}(\tan(\varepsilon_V) \cdot \cos(\beta)))^2 \right) d\beta$$

$$D_{Vr} = 0.1435$$

$$D_{Vr} = 0,14 \%$$

Berechnung des Innenreflexionsanteils

Dachwohnraum mit Dachflächenfenster und gegenüberliegender, durchgehender Bebauung

Der Innenreflexionsanteil D_{Rr} (r für Rohbau) wird bei bedecktem Himmel mit Hilfe des Verbauungswinkels α berechnet.

Raubbegrenzungsflächen und Raumboberfläche eines Senkrechttraumes lassen sich schnell errechnen. Für Dachwohnräume unter dem geneigten Dach müssen jedoch etwas aufwendiger Trapezflächen und Flächen in der Schräge ermittelt werden. Darüberhinaus ist die Deckenfläche kleiner als die Bodenfläche. Siehe Bild 15 Maßbezeichnungen für Berechnung nach DIN 5034-3, Stand Sept. 1994

Vorgaben	Erläuterung zu den einzelnen Vorgaben und Rechenwerten	
$a := 4.00$	Raumtiefe am Boden in m	
$b := 4.00$	Raumbreite am Boden in m	
$h := 2.20$	Raumhöhe in m	
$h_{Fo} := 2.00$	Fensteroberkante in m	
$h_{Fu} := .85$	Fensterunterkante in m	
$h_F := h_{Fo} - h_{Fu}$	$h_F = 1.15$	Fensterhöhe senkrecht gemessen in m
$l_F := \frac{h_F}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_F = 1.27$	Fensterlänge in der Dachschräge gemessen in m
$b_F := 2.38$	Fensterbreite in m	
$F_F := b_F \cdot l_F$	$F_F = 3.02$	Fensterfläche (Rohbau) in m^2
$h_{Ru} := .14$	Raumhöhe mit senkrechter Abseite in m	
$h_{Ro} := 2.06$	Raumhöhe mit schräger Dachfläche in m	
$h_{Roo} := h - h_{Fu} - \frac{h_F}{2}$	$h_{Roo} = 0.775$	Raumhöhe mit schräger Dachfläche oberhalb der Ebene durch die Fenstermitte in m
$h_{Rou} := h - h_{Ru} - h_{Roo}$	$h_{Rou} = 1.285$	Raumhöhe mit schräger Dachfläche unterhalb Ebene durch Fenstermitte und oberhalb senkrechter Abseite
$a_S := \frac{h_{Ro}}{\tan(65 \cdot \text{Grad})}$	$a_S = 0.96$	Tiefe (Länge) unter einer der schrägen Dachflächen von der Vorderwand bis Lot Schnittpunkt Dachschräge mit Decke in m
$a_{So} := \frac{h_{Roo}}{\tan(65 \cdot \text{Grad})}$	$a_{So} = 0.36$	Tiefe (Länge) von Lot aus der Fenstermitte bis Schnittpunkt Dachschräge mit Decke in m
$a_{Su} := \frac{h_{Rou}}{\tan(65 \cdot \text{Grad})}$	$a_{Su} = 0.60$	Tiefe (Länge): von Vorderwand bis zum Lot aus der Fenstermitte in m
$a_D := a - (2 \cdot a_S)$	$a_D = 2.08$	Raumtiefe der Decke in m
$a_{EFm} := a - (2 \cdot a_{Su})$	$a_{EFm} = 2.80$	Raumtiefe in der Ebene durch die Fenstermitte in m
$l_S := \frac{h_{Ro}}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_S = 2.27$	Länge Schräge (Dachschräge) gesamt in m
$l_{SoE} := \frac{h_{Roo}}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_{SoE} = 0.86$	Länge Schräge (Dachschräge) oberhalb der Ebene durch die Fenstermitte bis Decke in m
$l_{SuE} := \frac{h_{Rou}}{\sin(65 \cdot \text{Grad})}$	$l_{SuE} = 1.42$	Länge Schräge (Dachschräge) unterhalb der Ebene durch die Fenstermitte bis Oberkante Abseite in m

$F_{Vw} := b \cdot h_{Ru} + b \cdot l_S$	$F_{Vw} = 9.65$	Fläche Vorderwand einschließlich Fensterfläche in m ²
$F_{Rw} := b \cdot h_{Ru} + b \cdot l_S$	$F_{Rw} = 9.65$	Fläche Rückwand in m ²
$F_{Rwo} := b \cdot l_{SoE}$	$F_{Rwo} = 3.42$	Fläche Rückwand oberhalb Ebene durch Fenstermitte in m ²
$F_{Rwu} := b \cdot h_{Ru} + b \cdot l_{SuE}$	$F_{Rwu} = 6.23$	Fläche Rückwand unterhalb Ebene durch Fenstermitte in m ²
$F_G := a \cdot h - \left(2 \cdot \frac{a_S \cdot h_{Ro}}{2} \right)$	$F_G = 6.82$	Fläche einer Giebelwand in m ²
$F_{Go} := \left(\frac{a_{EFm} + a_D}{2} \right) \cdot h_{Roo}$	$F_{Go} = 1.89$	Fläche einer Giebelwand oberhalb der Ebene durch die Fenstermitte in m ²
$F_{Gu} := \left(\frac{a + a_{EFm}}{2} \right) \cdot h_{Rou} + a \cdot h_{Ru}$	$F_{Gu} = 4.93$	Fläche einer Giebelwand unterhalb der Ebene durch die Fenstermitte in m ²
$F_{Woe} := 2 \cdot \left[(b \cdot l_{SoE}) + \left(\frac{a_{EFm} + a_D}{2} \right) \cdot h_{Roo} \right]$	$F_{Woe} = 10.62$	Wandflächen oberhalb der Ebene durch die Fenstermitte in m ²
$F_{Wue} := \left[2 \cdot [(a + b) \cdot h_{Ru}] \right] + 2 \cdot \left[(b \cdot l_{SuE}) + \left(\frac{a + a_{EFm}}{2} \right) \cdot h_{Rou} \right]$	$F_{Wue} = 22.32$	Wandflächen unterhalb der Ebene durch die Fenstermitte in m ²
$F_B := a \cdot b$	$F_B = 16.00$	Fläche Boden in m ²
$F_D := b \cdot a_D$	$F_D = 8.32$	Fläche Decke in m ²
$A_W := F_{Vw} + F_{Rw} + (2 \cdot F_G)$	$A_W = 32.95$	Fläche Wände einschließl. Fensterfläche
$A_R := F_{Vw} + F_{Rw} + (2 \cdot F_G) + F_B + F_D$	$A_R = 57.26$	Fläche aller Raumbegrenzungsflächen (Oberflächen)
$\rho_W := .6$	Reflexionsgrad der Wände	
$\rho_B := .3$	Reflexionsgrad des Bodens	
$\rho_D := .8$	Reflexionsgrad der Decke	
$\rho_m := \frac{\rho_W \cdot (A_W - F_F + .15 \cdot F_F) + \rho_B \cdot F_B + \rho_D \cdot F_D}{A_R}$		mittlerer Reflexionsgrad aller Raumbegrenzungsflächen
$\rho_m = 0.5183$		

$$\rho_{BW} := \frac{\rho_B \cdot F_B + \rho_W \cdot (F_{RWu} + 2 \cdot F_{Gu})}{F_B + (F_{RWu} + 2 \cdot F_{Gu})}$$

mittlerer Reflexionsgrad von Fußboden und Wandunterteil ohne Fensterwand bis zu einer Ebene durch die Fenstermitte

$$\rho_{BW} = 0.45$$

$$\rho_{DW} := \frac{\rho_D \cdot F_D + \rho_W \cdot (F_{RWo} + 2 \cdot F_{Go})}{F_D + (F_{RWo} + 2 \cdot F_{Go})}$$

mittlerer Reflexionsgrad von Decke und Wand ohne Fensterwand oberhalb einer Ebene durch die Fenstermitte

$$\rho_{DW} = 0.707$$

$$h_V := 11.00 \quad \text{Verbauungshöhe über Bezugsebene in m}$$

$$a_V := 27.50 \quad \text{Verbauungsabstand bis Außenkante Wohnung}$$

$$a_W := .25 \quad \text{Wanddicke in m}$$

$$a_{Fm} := \frac{l_F}{2} \cdot \cos(65 \cdot \text{Grad})$$

$$a_{Fm} = 0.268$$

Abstand Fenstermitte von Innenwand in m

$$h_{Fm} := \frac{h_F}{2}$$

$$h_{Fm} = 0.575$$

Abstand Fenstermitte über Bezugsebene in m

$$\alpha := \text{atan}\left(\frac{h_V - h_{Fm}}{a_V + a_W + a_{Fm}}\right)$$

$$\alpha = 20.41 \text{ Grad}$$

Verbauungswinkel von Außenkante Fenstermitte in Grad

$$\alpha' := \text{atan}(2 \cdot \tan(\alpha))$$

$$\alpha' = 36.66 \text{ Grad}$$

$$f_o := 0.3188 - 0.1822 \cdot \sin(\alpha) + 0.0773 \cdot \cos(2 \cdot \alpha)$$

$$f_o = 0.3138$$

$$f_u := 0.03286 \cdot \cos(\alpha') - 0.03638 \cdot \frac{\alpha'}{\text{rad}} + 0.01819 \cdot \sin(2\alpha') + 0.06714$$

$$f_u = 0.0877$$

$$D_{Rr} := \frac{b_F \cdot l_F}{A_R} \cdot \frac{\rho_m}{(1 - \rho_m^2)} \cdot (f_o \cdot \rho_{BW} + f_u \cdot \rho_{DW}) \cdot 100$$

$$D_{Rr} = 0.7599$$

$$D_{Rr} = 0,76 \%$$

Berechnung des Tageslichtquotienten

Dachwohnraum mit Dachflächenfenster und gegenüberliegender, durchgehender Bebauung

Der Tageslichtquotient D_r (r für Rohbau) setzt sich aus drei Einzel-Anteilen zusammen, dem Himmelslichtanteil, Außenreflexionsanteil und Innenreflexionsanteil.

$$D_r = D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}$$

Vorgaben	Erläuterungen zu den einzelnen Vorgaben und Rechenwerten	
$D_{Hr} := 3.00$	Himmelslichtanteil in %	
$D_{Vr} := 0.14$	Außenreflexionsanteil in %	
$D_{Rr} := 0.76$	Innenreflexionsanteil in %	
$D_r := D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}$	$D_r = 3.90$	Tageslichtquotient für Rohbau in %

Die Lichtminderung durch Verglasung, Konstruktionsteile und Verschmutzung wird durch Minderungsfaktoren berücksichtigt. Hinzu kommt ein Korrekturfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall, der für die üblichen Doppelverglasungen pauschal mit 0,85 angesetzt wird.

$F_{Fd} := 2.40$	Lichtdurchlässige Fensterfläche	
$F_{Fr} := 3.02$	Fensterfläche der Rohbauöffnung	
$\tau_{D65} := 0.76$	Transmissionsgrad der Scheibe(n)	
$k_1 := \frac{F_{Fd}}{F_{Fr}}$	$k_1 = 0.79$	Verminderungsfaktor für Rahmen und Sprossenwerk des Fensters
$k_2 := 0.9$	Verminderungsfaktor für Verschmutzung der Innen- und Außenscheibe abgelesen in Tabelle 1 Seite 4 DIN 5034-3	
$k_3 := 0.85$	Korrekturfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall	

Damit errechnet sich der Tageslichtquotient D:

$$D := D_r \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \qquad D = 1.80$$

$$\boxed{D = 1,80 \%}$$

12.3 Warum ist eine psychisch richtige Belichtung erforderlich?

Jeder Mensch braucht den Wechsel von Tag und Nacht, damit sein Biorhythmus, seine innere Uhr nicht durcheinandergeraten. Daher müssen Aufenthaltsräume, wie Wohnräume, Schlafräume oder Arbeitsräume stets mit Tageslicht beleuchtet sein.

Fenster trennen Aufenthaltsräume von der Außenwelt. Sie schützen den Menschen aber auch vor den Unbilden der Witterung, vor Eis und Schnee, Hagel und Regen, Wind und Sturm.

Fenster sollen ein angenehmes Heiligkeitsniveau in Innenräumen erzeugen und die Voraussetzung für die unterschiedlichen Sehaufgaben schaffen (ein Uhrmacher braucht mehr Licht als ein Grobschmied; zum Lesen von Kleingedrucktem wird mehr Licht benötigt, als zum Lesen großer Überschriften). Je heller das Licht, desto besser die Stimmung, das Wohlbefinden, die Anregung. Dämmriges Licht deprimiert, in Ausnahmefällen kann es entspannen. Dunkelheit erzeugt Unsicherheit und Angst. Gefühlsbetonte, labile Menschen werden durch schwächeres Licht angeregt, wirklichkeitsnahe Pragmatiker entfalten ihre Leistungsfähigkeit eher bei großen Lichtstärken.

Das Sonnenlicht beeinflusst auch das natürliche Weiß, das unser Farbsehen bestimmt. Direktes Sonnenlicht erzeugt auch Schatten, erhöht den Kontrast und die Farbwirkung. Lichtarme, sonnenlose Wohnungen wirken trostlos und fördern den Trübsinn. Sonnendurchflutete Wohnungen stimmen fröhlich.

Der freie Ausblick läßt uns Menschen den Wechsel von Tag und Nacht, der für unseren Kräftehaushalt und unser Regenerationsvermögen verantwortlich ist, miterleben und läßt uns am Umweltgeschehen teilnehmen.

Die Besonnung, auf deren psychische und physiologische Auswirkungen wir in unseren Breiten viel zu oft verzichten müssen, ist in Innenräumen nur durch große Fenster in ausreichender Menge zu gewährleisten.

12.4 Sonderfall geneigtes Dach

Aufenthaltsräume unter dem geneigten Dach werden von DIN 5034 weder

textlich noch beispielhaft behandelt, obwohl die Ermittlung des Tageslichtquotienten in Räumen mit Oberlichtern wie Lichtkuppeln in Flachdächern oder Fenster in Sheddächern beschrieben wird. Man könnte so veranlaßt sein, die Berechnung entsprechend Räumen mit Oberlichtern DIN 5034, Teil 1, Abs. 5.2 oder Teil 3, Absatz 3.7 durchzuführen. Doch die Wohnraumhöhen unter geneigten Dächern sind niedrig und haben nur in Ausnahmefällen Überkopfverglasungen. Außerdem kommen in der Berechnung nach der Methode der Oberlichter die unterschiedlichen und keineswegs zu vernachlässigenden Lichtminderungen durch Verbauungen nicht vor. Die Berücksichtigung aber der unterschiedlichen Verbauungen und der Raumgeometrie insbesondere für Wohnräume unter dem geneigten Dach ist unverzichtbar. Nur so wird der Tageslichtquotient mit seinen Anteilen Himmelslicht, Außenreflexion und Innenreflexion ermittelt und die verschiedenen Gegebenheiten der Verbauung und der Raumgeometrie berücksichtigt.

In Senkrechträumen ist wegen der Rechtwinkligkeit der Raumbegrenzung in alle drei Richtungen eine Berechnung der Höhen- und Breitenwinkel einfach.

Bei Räumen unter dem geneigten Dach kommt jedoch die Neigung des Daches und Fensters als Variable hinzu. Siehe Bild 15 „Sonderfall geneigtes Dach“.

Die Rechtwinkligkeit in einer Richtung geht verloren! Die Länge des Dach-

flächenfensters wird größer, und die Winkelberechnung hat sich an der Neigung zu orientieren.

Jeder, der einmal unter einem Dachflächenfenster saß, stellte fest, dass das Fenster im oberen Teil sichtbar breiter ist als unten. Das aber kann wegen der Rechtwinkligkeit des Fensters nicht sein. Dennoch täuscht das Auge nicht! Es ist die Perspektive, die räumliche Geometrie, die oben einen größeren Winkel ergibt. Dieser Breitenwinkel wird zunehmend kleiner, je weiter er nach unten wandert. So ist der Lichteinfall in der oberen Fensterhälfte auch größer als in der unteren.

Ein hinreichend genauer Mittelwert ergibt sich durch den mittleren Breitenwinkel oder den Winkel, der sich in halber Höhe des Fensters ergibt. Durch die Aufteilung der Netzeinheiten im Himmelslichtdiagramm liegt man bei dieser Festlegung in der Berechnung auf der sicheren Seite.

Für Aufenthaltsräume unter dem geneigten Dach wird daher als maßgebender Breitenwinkel des Fensters der **mittlere Breitenwinkel β_F** zugrunde gelegt, der sich bei halber Fensterlänge ergibt und vom Bezugspunkt aus zu ermitteln ist. Alle weiteren für Senkrechtfenster gültigen Definitionen der DIN 5034 bleiben bestehen.

Der **obere Ausschnitt im Dach begrenzt den Fensterhöhenwinkel**, der bis zur Waagerechten gemessen wird.

ϵ_{F0} = oberer Fensterhöhenwinkel

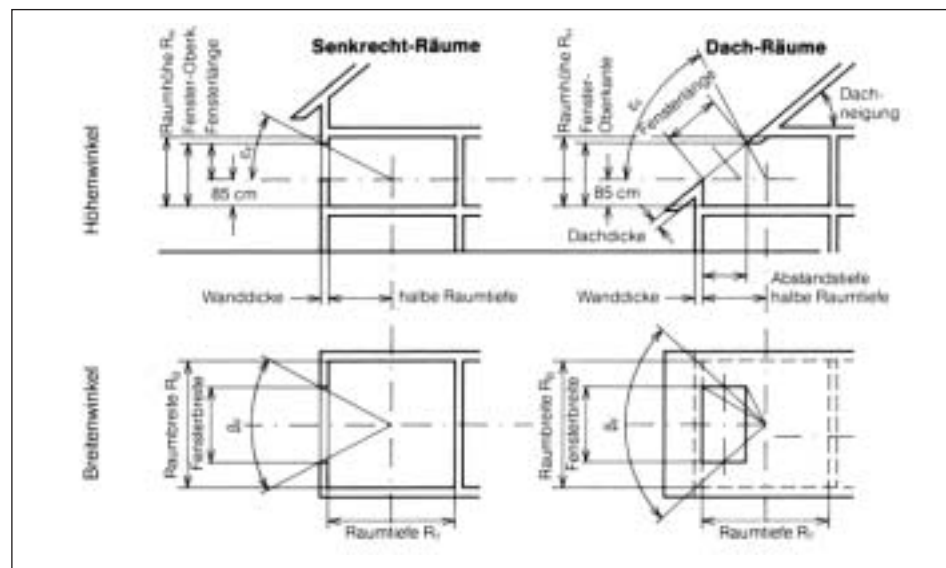


Bild 15: Sonderfall geneigtes Dach

Während die Fensteroberkante bei Senkrechtfenstern senkrecht über der Fensterunterkante in der Außenwand plaziert ist, liegt die **Fensteroberkante bei Dachflächenfenstern im Dachgeschoß** nicht mehr über der Fensterunterkante, sondern versetzt zum Rauminneren, **versetzt um die Abstandstiefe zum Bezugspunkt hin**.

Die Oberkante liegt umso näher am Bezugspunkt, je flacher das Dach und je länger das Fenster ist.

Dadurch wird der Lichteinfall bei Dachflächenfenstern auch günstiger als bei senkrecht stehenden Fenstern wie Gauben oder Giebefenster und der Himmelslichtanteil steigt stark an. Das ist die Ursache für die Aussage des Volksmunds: „Velux Fenster sind heller“.

Wird ein **Dachflächenfenster oder eine Dachgaube zu hoch oder zu tief eingebaut**, liegt die Fensterunterkante nicht mehr auf der Höhe der Bezugsebene von 85 cm. Es **entsteht ein unterer Höhenwinkel**.

ϵ_{Fu} = unterer Fensterhöhenwinkel

Liegt die Fensterunterkante höher als 85 cm, gelangt **weniger Licht** in den Raum, was in der Berechnung durch einen unteren Höhenwinkel und die dadurch **fehlenden Lichtanteile** zu berücksichtigen ist. Liegt die Fensterunterkante niedriger als 85 cm, gelangt zwar **mehr Licht** in den unteren Teil des Raums, verändert aber die wirksame Lichtmenge im oberen Teil nicht. So bleibt **dieser Lichtanteil unberücksichtigt**.

12.5 Himmelslichtdiagramm und Himmelslichtanteil

Vom Bezugspunkt ist der Himmel nur teilweise zu sehen, weil er durch Fensterrahmen, Zimmerwände und -decken oder die freie Sicht behindernde Berge, Gebäude oder Bäume abgedeckt ist. Nur dieser übrigbleibende, sichtbare Himmelsabschnitt beleuchtet den Aufenthaltsraum. Siehe Bild 16 „Himmelslichtanteil“.

Der Himmelslichtanteil D_H wird ermittelt durch die Beleuchtungsstärke, die der vom Bezugspunkt P aus sichtbare Himmelsabschnitt erzeugt.

Bei unverbaute Hanglage ist der Himmelslichtanteil am größten, im Gebirge wird er durch hohe Berge und Geländeerhebungen eingeschränkt, und in städtischen Bebauungsgebieten gibt es oft

durch gegenüberliegende, hohe, durchgehende Gebäude überhaupt keinen Himmelslichtanteil mehr. Dies alles wird in der Berechnung berücksichtigt.

In der Praxis wird die Berechnung mit Hilfe des Himmelslichtdiagramms durchgeführt.

In Bild 17 ist das Himmelslichtdiagramm dargestellt. Die Gesamtfläche des Himmelslichtdiagramms ist in 1000 Kästchen, die als Netzeinheiten (NE) bezeichnet werden, eingeteilt (36 waagrecht und 27,77 (Periode) senkrecht). Die Gesamtfläche entspricht dem halben Himmelsgewölbe und damit 50 % des Himmelslichtanteils D_H .

Hieraus ergibt sich für die Umrechnung von Flächen des Diagramms auf Himmelslichtanteile D_H ein Umrechnungsfaktor M.

$$M = (50 \% / 1000 \text{ NE}) = 0,05 \% \text{ je Netzeinheit}$$

Für ein Ergebnis werden die Netzeinheiten ausgezählt und ihre Summe mit 0,05 multipliziert.

Von der Mittellinie des Himmelslichtdiagramms ausgehend, sind nach links und rechts die Breitenwinkel β_l bzw. β_r zu erkennen (gleichförmige Teilung). Für das/die Fenster werden daraus β_{Fl} bzw. β_{Fr} und für die Verbauung β_{Vl} bzw. β_{Vr} .

Auf der Mittellinie sind von unten nach

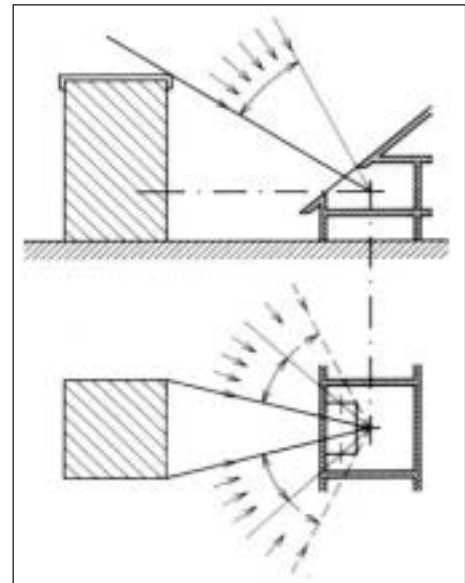


Bild 16: Himmelslichtanteil

oben die Höhenwinkel für das Fenster ϵ_F , für die Verbauung ϵ_V aufgetragen (ungleichförmige Teilung).

Die ausgezogenen Kurven a entsprechen horizontalen Kanten der Fenster oder der Verbauung, die parallel zur Fensterebene verlaufen. Die gestrichelten Kurven b entsprechen horizontalen Kanten, die senkrecht zur Fensterebene verlaufen.

Im Kapitel 12.1.3 „Errechnung des Himmelslichtanteils D_{hr} “ wird gezeigt, wie mit dem Himmelslichtdiagramm gearbeitet wird.

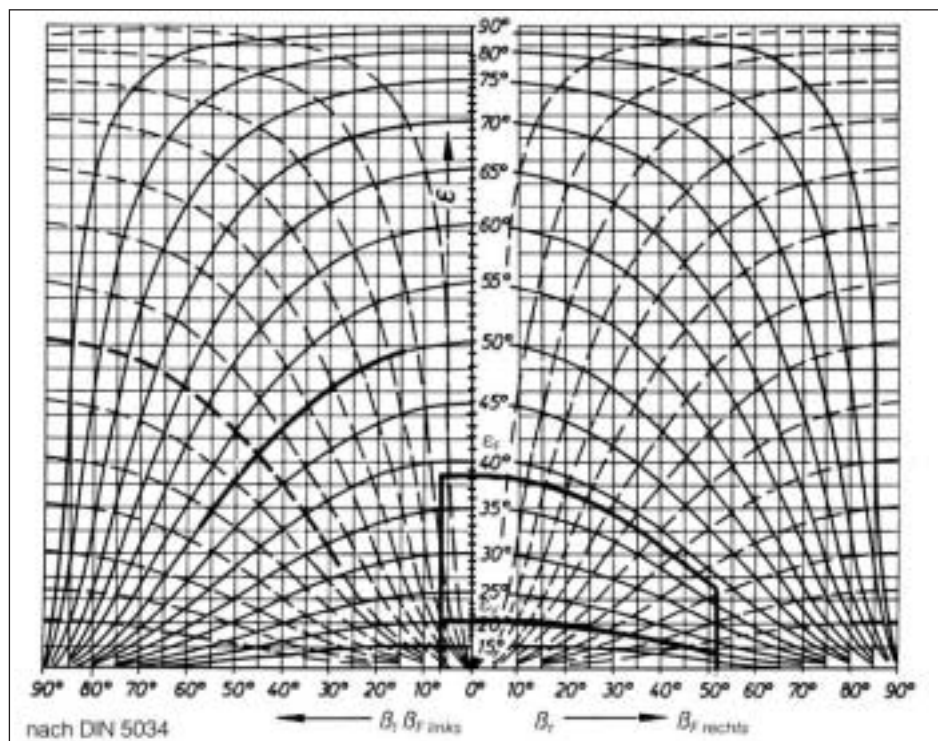


Bild 17: Himmelslichtdiagramm

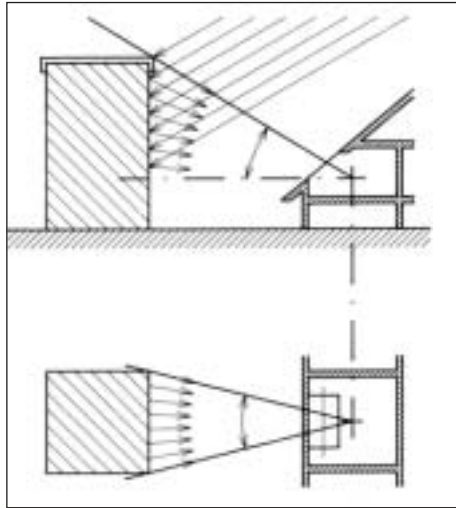


Bild 18: Außenreflexionsanteil

12.5.1 Außenreflexionsanteil und Verbauung

Licht, das auf Gebäudeflächen oder sonstige Sichthindernisse trifft, wird reflektiert. Siehe Bild 18 „Außenreflexionsanteil“.

Der Reflexionsgrad ist abhängig von der Helligkeit der Reflexionsflächen.

Der Außenreflexionsanteil D_V wird ermittelt durch die Beleuchtungsstärke, die durch reflektiertes Tageslicht erzeugt wird, das zu Flächen von Verbauungen wie Häusern, Bäumen, Sträuchern oder Bergen gehört, die vom Bezugspunkt P aus zu sehen sind.

Bei der Planung der Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht müssen die **lichtmindernden Einflüsse der vorhandenen oder baurechtlich möglichen und evtl. noch zu erwartenden Verbauungen berücksichtigt** werden; der lichttechnisch ungünstigere Fall ist einzusetzen.

Berge, Geländeerhöhungen und dichter Baumwuchs gehören ebenso dazu wie Einzelhäuser oder die mit ihren Höhenanteilen die gesamte Sicht versperrenden Reihenhäuser. Auch wenn Verbauungen im Augenblick noch nicht vorhanden sind, muss die Bemessung der Fenster so ausgelegt werden, dass die Belichtung dem Endzustand des vollendeten Ausbaus des Bebauungsplanes gerecht wird.

Vorbauten an Fenstern (z. B. Balkone, Loggien, feststehende Sonnenschutzblenden) schränken ebenfalls die für die Raumbeleuchtung wirksame Himmelsfläche ein; für die Fensterhöhen- und Fensterbreitenwinkel sind

deshalb die vom Bezugspunkt P aus sichtbaren Kanten dieser Lichthindernisse maßgebend. Auch eine Verbauung durch Bodenerhebungen, vorhandenen oder zu erwartenden Baumbestand ist zu berücksichtigen.

Bei dichter Bebauung kann sich der Verlust an direktem Himmelslicht durch helle Oberflächen im Raum und besonders an den gegenüberliegenden Gebäuden etwas ausgleichen; grellweiße, bzw. zu helle Außenflächen blenden bei Besonnung, so dass Blendschutzvorrichtungen erforderlich werden können.

Die Leuchtdichte der Verbauung ist vom Reflexionsgrad der Verbauung abhängig. So hat eine Backsteinwand z. B. eine Leuchtdichte von 15 %.

12.5.2 Innenreflexionsanteil und Reflexionsgrade

Licht, das in einen Raum fällt, wird an Wänden, Boden, Decke und Inneneinrichtung reflektiert. Siehe Bild 19 „Innenreflexionsanteil“.

Der **Innenreflexionsanteil** D_R wird ermittelt durch die Beleuchtungsstärke, die das reflektierte Tageslicht an Innenraumflächen erzeugt und das am Bezugspunkt P zu sehen ist.

Helle Decken und Seitenwände tragen zur Aufhellung des Raumes bei, verbessern die Gleichmäßigkeit der Tagesbeleuchtung bei Räumen mit Fenstern und verringern die Leuchtdichtekontraste zwischen den Wand- sowie den Deckenflächen und dem sichtbaren Himmelsausschnitt.

Der Einfluß des Reflexionsgrades des Fußbodens auf die Raumhelligkeit ist meist bedeutend, und zwar umso mehr, je größer der Raum ist. Auch ist der Einfluß des Reflexionsgrades der Einrichtungsgegenstände zu berücksichtigen.

Die Tageslichtverhältnisse werden durch Vorhänge, Gardinen oder Sonnenschutzvorrichtungen, auch in geöffnetem Zustand, beeinflusst. Oft wird eine Fensterfläche zusätzlich durch seitlich die freie Sicht stark einengende Vorhänge oder Stores verkleinert.

Vom Reflexionsgrad der Wände und den Raumproportionen ist der Raumwirkungsgrad ϵ_R abhängig. Wenn der

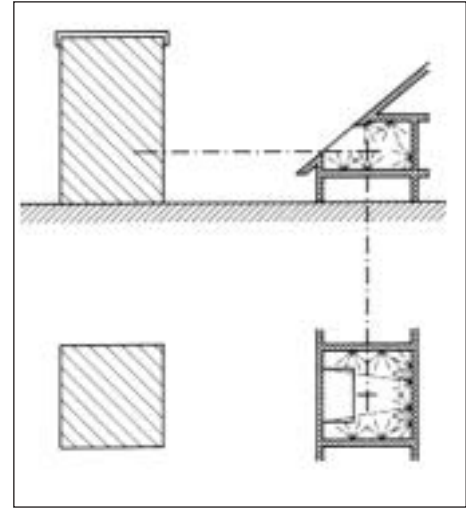


Bild 19: Innenreflexionsanteil

Reflexionsgrad ρ einer hellen Decke, eines dunklen Bodens und der der Fensterfläche mit 0,15 angenommen wird, ergibt sich für den Raumwirkungsgrad ϵ_R der Wert nach Bild 12 „Raumwirkungsgrad, für Verhältnis Wandfläche zu Raumoberfläche“.

Zur Ermittlung des Raumwirkungsgrades ist die Festlegung des Wandreflexionsgrades ρ_W erforderlich, wobei der Unerfahrene leicht zu hohe Werte ansetzt. Im Zweifel sollten daher besser niedrigere ρ_W -Werte gewählt werden, um auf der sicheren Seite zu liegen. Für Wohnräume empfiehlt sich wegen der nicht einkalkulierbaren Ausstattungsvielfalt der Inneneinrichtung $\rho_W = 0,3$ (dunkel).

12.6 Minderungsfaktoren

In DIN 5034 Teil 3, Absatz 3.2 werden Minderungsfaktoren behandelt.

Bei der Berechnung des Tageslichtquotienten D wird die Lichtminderung durch Verglasung, Konstruktionsteile und Verschmutzung berücksichtigt. Im Rahmen der Bauplanung werden jedoch zunächst 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.

$$D_r = D_{Hr} + D_{Vr} + D_{Rr}$$

Die Lichtminderung wird durch anschließende Multiplikation mit entsprechenden Korrekturfaktoren (Minderungsfaktoren), siehe 12.6.1 bis 12.6.4, berücksichtigt:

$$D = (D_{Hr} + D_{Vr} + D_{rr}) \cdot \tau_{D65} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

Der Tageslichtquotient D gilt dann für den fertig ausgebauten und möblierten Raum.

Wird der Tageslichtquotient durch Messung bestimmt, wird die Lichtschwächung durch Verglasung, Konstruktionsteile und Verschmutzung automatisch durch die Meßgeräte berücksichtigt.

Wird der Tageslichtquotient D durch Berechnung ermittelt, müssen Minderungsfaktoren – auch Schwächungsfaktoren genannt – für Verglasung, Konstruktionsteile, Verschmutzung und nicht senkrechten Lichteinfall berücksichtigt werden, weil infolge des Einbaus der Fenster Lichtverluste durch die Lichtdurchlässigkeit der Fensterscheiben, durch Konstruktionsteile wie Fensterrahmen, Pfosten, Kämpfer, Sprossen, Zwischenbauteile, durch Verschmutzung der Fensterscheiben von außen und innen sowie durch schrägen Lichteinfall entstehen

12.6.1 Minderungsfaktor τ_{D65} für Transmissionsgrad

Der Transmissionsgrad τ_{D65} , in der Glasindustrie auch mit Lichtdurchlässigkeit τ bezeichnet und in % angegeben, hängt von der Durchlässigkeit, Beschichtung und der Anzahl der Scheiben, nicht aber von deren Dicke ab.

Jeder namhafte Glashersteller gibt ein Glashandbuch heraus, in dem diese Werte für Norm- und Sonderscheiben zusammengestellt sind.

12.6.2 Minderungsfaktor k_1 für Konstruktionsteile

Der Minderungsfaktor k_1 für Konstruktionsteile wie Fensterrahmen, Pfosten, Kämpfer, Sprossen, Zwischenbauteile ergibt sich aus dem Verhältnis der lichtdurchlässigen Teile der Fensteröffnung (Lichtfläche) zur Gesamtfläche (Rohbaumaß der Fensteröffnung).

$$k_1 = \frac{\text{lichtdurchlässige Fläche}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}}$$

12.6.3 Minderungsfaktor k_2 für Verschmutzung

Der Minderungsfaktor k_2 berücksichtigt die Lichtreduktion, die durch Verschmutzung der Fensterscheiben entsteht. Je größer die Verschmutzung, umso größer die Lichtverluste. DIN 5034 Teil 3, Absatz 3.2 stellt eine Tabelle mit Verminderungsfaktoren k_2 bereit.

Minderungsfaktor k_2		
Abhängigkeit vom Maß der Verschmutzung (Anhaltswerte)		
Verschmutzung auf der Fensterscheibe		k_2
Außenfläche	Innenfläche	
gering	gering	0,9
gering	stark	0,7
mittel	gering	0,8
mittel	stark	0,7
stark	gering	0,7
stark	stark	0,5

Nach DIN 5034, Teil 3, Absatz 3.2 kann für Wohnräume im allgemeinen mit $k_2 = 0,95$ gerechnet werden.

Für Wohnräume ist im allgemeinen die Verschmutzung innen und außen sehr gering, so dass k_2 mit 0,9 bzw. 0,95 angesetzt werden kann.

12.6.4 Korrekturfaktor k_3 für nicht senkrechten Lichteinfall

Der Korrekturfaktor k_3 berücksichtigt den nicht senkrechten Lichteinfall. Für übliche Doppelverglasungen wird er pauschal mit 0,85 angenommen.

12.7 Sonnenschutz und Blendung

DIN 5034, Teil 1, Abs. 4.5 Sonnenschutz erläutert:

Gegen störende Einflüsse der Sonne, wie Erwärmung zur unerwünschten Zeit oder Blendung ist in der Regel ein baulich vorzusehender Schutz notwendig. Durch individuell einstellbaren Sonnenschutz kann zeitweise die grundsätzlich geforderte Sichtverbindung nach außen eingeschränkt sein.

Feststehender Sonnenschutz – auch der bewegliche bei maximaler Öffnung – und Tageslichtlenksysteme dürfen das Blickfeld der Sichtverbindung nach außen und den Tageslichteinfall nicht zu stark einschränken.

Räume sind gegen Sonnenstrahlungswärme im Sommer möglichst durch außen vor der Verglasung liegende, abschirmende Vorrichtungen zu schützen.

Die Aufheizung der Innenräume resultiert aus der Absorption der Globalstrahlung an den Gegenständen in den Räumen und den Begrenzungsflächen der Räume. Die absorbierte Strahlung wird in langwellige Infrarot-Strahlung umgewandelt, für die alle Verglasungsmaterialien nahezu undurchlässig sind; das führt zu der im Sommer in der Regel unerwünschten Erwärmung des Raumes.

Als abschirmende Vorrichtungen geeignet sind Vorsprünge über den Fenstern (z. B. Dächer oder Balkone) sowie waagrecht ausladende Raster oder tafelförmige Blenden über oder vor den Fenstern sowie bewegliche Lamellen, Rollos oder Markisen.

Sonnenschutzverglasungen können ebenfalls den Eintritt der Strahlungsleistung in den Raum vermindern, verringern jedoch den Tageslichteinfall und damit die Nutzungszeit; sie bedürfen im allgemeinen der Ergänzung durch einen beweglichen Sonnenschutz.

12.8 Fenstersysteme im Belichtungsvergleich: Dachflächenfenster, Dachgaube, Giebelfenster

Für diesen Vergleich werden gleiche Rahmenbedingungen zugrunde gelegt: Siehe Werte in der nebenstehenden Tabelle.

Je nach Fenstersystem und -anordnung ist die Lichtausbeute unterschiedlich. Die dem Vergleich zugrunde liegenden Daten sind aus der folgenden Tabelle zu entnehmen: Alle Berechnungen wurden mit EDV-Programmen durchgeführt. Aus Platzgründen werden jedoch weder Ausdrücke noch Rechenoperationen, sondern lediglich die Ergebnisse aufgeführt.

Ausgang des Vergleichs ist das Giebelfenster, das als 100 % gesetzt wird. Ergebnisse, siehe nebenstehende Tabelle.

Giebelfenster belichten Aufenthaltsräume ausreichend.

Dachgauben bringen etwas weniger Licht als Giebelfenster. Dachgauben sind durch ihren Licht einengenden Aufbau benachteiligt. Die sich bei Dachgauben ergebenden Begrenzungen des Lichteinfalls sind um so größer, je weiter die Seitenwangen in den Raum reichen und je weiter sie vom Bezugspunkt entfernt sind.

Dachflächenfenster machen Räume in Abhängigkeit von der Dachneigung etwa doppelt so hell wie andere Fenstersysteme.

Raum- u. Dachmaße	
4,00 m	Raumbreite
4,00 m	Raumtiefe
2,20 m	Raumhöhe
0,25 m	Wanddicke
0,30 m	Dachdicke
65°	Dachneigung
Fenstermaße, Bezugspunkt und Verbauung	
2,00 m	Oberkante des Fensters im Raum
0,85 m	Unterkante des Fensters im Raum = Höhe Bezugsebene
1,15 m	Giebelfenster- u. Dachgaubenlänge auch mit Höhe bezeichnet
1,27 m	Dachflächenfensterlänge (wegen Dachneigung = Projektion)
2,20 m	Durchsichtige Fensterbreite gesamt = 55% der Raumbreite
1,00 m	Entfernung Bezugspunkt von Seitenwand
2,00 m	Entfernung Bezugspunkt in halber Raumtiefe von Vorderwand
11,00 m	Verbauungshöhe
27,50 m	Verbauungsabstand

Dachflächenfenster und Dachgaube liegen mittig in der Dachfläche, das Giebelfenster mittig in der senkrechten Stirnfläche des Hauses, alle Fenster haben eine umlaufende Rahmenholzdicke von 9 cm, die Verbauung ist gegenüberliegend, durchgehend, geschlossen, gleichhoch und parallel.

Fenstersysteme im Belichtungsvergleich

Dachflächenfenster, Dachgaube, Giebelfenster

Fenster-system	Lichtanteile			Tageslicht-quotient einschl. Minderungs-faktoren %	Vergleich %
	Himmelslicht %	Außen-reflexion %	Innen-reflexion %		
Giebelfenster	1,26	0,14	0,69	1,01	100
Dachgaube	1,26	0,14	0,64	0,99	97
Dachflächenfenster	3,05	0,14	0,76	1,81	179

Der Ausgangswert für den Vergleich wurde mit 100 % für das Giebelfenster festgesetzt.

Giebelfenster

belichten Aufenthaltsräume ausreichend.

Dachgauben

bringen etwas weniger Licht als Giebelfenster, sind aber durch ihren Licht einengenden Aufbau benachteiligt. Die sich bei Dachgauben ergebenden Begrenzungen des Lichteinfalls sind umso größer, je weiter die Seitenwangen in den Raum reichen und je weiter sie vom Bezugspunkt entfernt sind.

Dachflächenfenster

machen Räume in Abhängigkeit von der Dachneigung fast **doppelt so hell** wie andere Fenstersysteme

13. Stichwortverzeichnis

Begriff	Kapitel	Begriff	Kapitel
Arbeitsräume	2.3.2	Lichtmenge	Bild 8
Aufenthaltsräume	2.3.1	Maßbezeichnungen	12.2
Ausblick	4	Meßpunkte	2.2.2
Außenreflexionsanteil	12.1.4 und 12.5.1	Minderungsfaktor k_1	12.1.6 und 12.6.2
Belichtung	Bild 1	Minderungsfaktor k_2	12.6.3
Belichtungsmessung	2.2	Minderungsfaktor t_{D65}	12.6.1
Belichtungsvergleich	12.8	Minderungsfaktoren	12.6
Berechnungsbeispiel	12.1 und 12.2	Mindestbelichtung	1
Besonnung	2.4	Netzeinheiten	12.5
Blendung	12.7	Nutzfläche	1.2
Dachneigung	5	Planungsempfehlungen für Dachflächenfenster	8
Dachwohnraum	12.1	Planungsempfehlungen für Senkrechtfenster	7
Daylight Factor	2.2.1	psychisch richtige Belichtung	12.3
DIN 5034	Einleitung	Raumgrundfläche	1.5
DIN 5034	2.1	Raumwirkungsgrad	12.1.5
Fenster, lichttechnische Anforderungen	7 und 8	Sichtverbindung	2.5
Fenster, notwendige	1.2	Sonderfall – Geneigtes Dach	12.4
Fensteranordnung	6	Sonnenschutz	12.7
Fensterbreite	7	Tageslicht in Innenräumen	2
Fensterbreitenwinkel	12.1.2 und 12.1.3	Tageslichtquotient	2.2.1 und 12.1.6
Fensterhöhenwinkel	12.1.2 und 12.1.3	Umrechnungsfaktor M	12.5
Fensterlänge mit Aufkeilrahmen	5	Verbauung	12.1.2
Fensterlänge ohne Aufkeilrahmen	5	Verbauungsabstandswinkel	12.1.2
Fenstermaße nach DIN	7 und 8	Verbauungsbreitenwinkel	12.1.2 und 12.1.3
Fensteroberkante	3	Verbauungshöhenwinkel	12.1.2 und 12.1.3
Fenstersysteme	9 und 12.8	Wohnräume	2.3.1
Fensterunterkante	4		
Geneigtes Dach – Sonderfall	12.4		
graphische Hilfsmittel	12.1		
Helligkeit	2.3		
Himmelslichtanteil	12.5		
Himmelslichtanteil – Errechnung	12.1.3		
Himmelslichtdiagramm	12.5		
Innenfutter Farbe	11		
Innenfutter für Fenster	10		
Innenreflexionsanteil-Nomogramm	12.1.5		
Innenreflexionsanteil-Reflexionsgr.	12.5.2		
Integralrechnung	12.2		
Korrekturfaktor k_3	12.6.4		
Landesbauordnungen	1		
Lichteinfall	Bild 7		
Lichteinfall – Innenfutter	Bild 9		