

Ein einfaches Modell zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Räumen mit Dachoberlichtern

Jan de Boer¹
Wolfgang Cornelius²
Simon Wössner¹

¹Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Institutsleitung: Prof. Dr. Gerd Hauser, Prof. Dr. Klaus Sedlbauer)
Nobelstraße 12
D-70569 Stuttgart

²Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V. (FVLR e.V.)
Geschäftstelle Detmold
Ernst-Hilker Strasse 2
32758 Detmold

Inhalt

1. Einleitung	2
2. Grundlagen	3
3. Randbedingungen	5
4. Modell zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung	8
4.1 Raumindex	8
4.2 Bestimmung des Raumwirkungsgrades	9
4.2.1 Lichtkuppeln und Lichtbänder	9
4.2.2 Sägezahndachoberlichter (Shedoberlichter)	11
4.3 Bestimmung des mittleren Tageslichtquotienten	13
4.4 Klassifizierung der Tageslichtversorgung	15
5. Verfahren zur Ermittlung des Beleuchtungsenergiebedarfs	16
5.1 Jahresverfahren	17
5.2 Monatsverfahren	21
6. Beispiel	21
6.1 Elektrische Anschlussleistung	22
6.2 Tageslichtversorgungsfaktor	22
6.3 Jährlicher und monatlicher Endenergiebedarf Beleuchtung	26
7. Zusammenfassung	28
8. Literatur	29

1. Einleitung

In der effizienten Nutzung des Tageslichtes in Funktionsgebäuden liegt ein großes energetisches Einsparpotential. Die von der EU-Kommission erlassene Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [8], die kurzfristig bis Anfang 2006 in allen Mitgliedsländern umgesetzt werden muss, soll dieses Potential freisetzen. Die Bewertungsmethode der Energieeinsparverordnung soll hierzu erweitert werden, um die Energieaufwendungen für Gebäudeklimatisierung und Beleuchtung primärenergetisch denen der Beheizung gegenüber zu stellen. Hierbei spielen neben effizienten künstlichen Beleuchtungssystemen Techniken der Tageslichtnutzung eine herausragende Rolle, da sie helfen sowohl die Beleuchtungsenergie als auch gleichzeitig den Kühlenergiebedarf zu reduzieren.

Die Energieeinsparverordnung 2006 wird aller Voraussicht nach die im Entwurf vorliegenden Normenreihe *DIN V 18599 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End-, und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Belüftung, Beleuchtung und Warmwasser* in Bezug nehmen. Ein neu entwickeltes Verfahren ermöglicht im Teil 4 der Normenreihe die Ermittlung des monatlichen und jährlichen Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke unter Berücksichtigung des künstlichen Beleuchtungssystems, der Tageslichtversorgung und der Beleuchtungskontrollsysteme (Präsenzdetektion und tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle).

Basierend auf dem in DIN 5034 Teil 3 [5] eingeführten Verfahren nach Rattunde [13] wird ein einfaches Nachweisverfahren zur Ermittlung des Beleuchtungsenergieeinsparpotentials für unterschiedlich ausgebildete Dachoberlichter zur Integration in DIN V 18599 Teil 4 vorgeschlagen. In diesem Beitrag wird der generelle Modellansatz dargestellt, Vereinfachungen eingebracht und die Korrelation mit Klimadaten durchgeführt. Beispiele illustrieren die Verfahrensanwendung. Analog dem Vorgehen für vertikale Fassaden [2] folgt auch dieser Ansatz einem mehrstufigen Verfahren: Klassifikation der Tageslichtversorgung mit daran anschließender Korrelation mit dem Beleuchtungsenergieeinsparpotential. Somit wird ein homogenes Vorgehen bei vertikalen Fassaden als auch bei Dachoberlichtern verfolgt.

2. Grundlagen

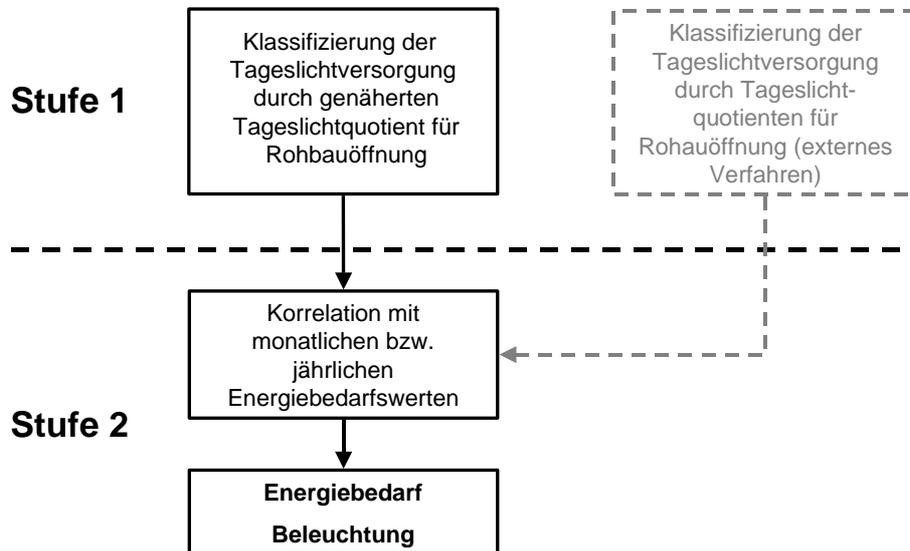


Bild 1: Zweistufiger Verfahrensansatz zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Innenräumen.

Der diskutierte zweistufige Ansatz ist in Bild 1 dargestellt.

1. In der ersten Stufe wird die Tageslichtversorgung rein auf Grundlage geometrischer Parameter unabhängig von Klima und Lage der zu betrachteten Gebäudezone durch den Tageslichtquotienten klassifiziert. Eine einfache Öffnung des Verfahrens ist vorgesehen, so dass neben dem im folgenden abgeleiteten einfachen Model, auch detaillierte Berechnungsergebnisse (beispielsweise für komplexe Raumgeometrien) als Bewertungsgrundlage einfließen können.
2. In einer zweiten Stufe wird die gemäß Stufe 1 ermittelte Tageslichtversorgung mit monatlichen bzw. jährlichen Energiebedarfswerten für Beleuchtungszwecke korreliert. An dieser Stelle fließen weitere Verfahrensparameter wie Klima, Lage und das künstliche Beleuchtungssystem mit ein.

Anforderungen

Die Anforderungen, die an ein derartiges Verfahren zu stellen sind, müssen der in der frühen Planungsphase vorliegenden Datenbasis Rechnung tragen. Die Informationen zur Geometrie des Gebäudekörpers liegen im allgemeinen vor. Dagegen sind beispielsweise für die durch die Innenausstattung (Reflexionsgrade der Raumumschließungsflächen) zu treffenden Vorgaben plausible - an der gängigen Planungspraxis orientierte - Annahmen zu treffen. Die Verfahrensnutzung sollte bei ausreichender Genauigkeit auf Grundlage der verfügbaren Informationen für typische Oberlichtkonfigurationen einfach möglich sein. Detaillierte lichttechnische Kenntnisse sollen nicht erforderlich sein. Darüber hinaus ist eine abgestimmte Verfahrensstruktur mit der Herangehensweise bei vertikalen Fassaden [2] anzustreben. Dies umfasst die angesetzten Randbedingungen und die bereits dargestellte Verfahrensmethodik.

Bestehende Ansätze

Es existieren zahlreiche analytische, grafische und teilweise auch tabellenbasierte Verfahren zur Bestimmung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse in Räumen mit Dachoberlichtern. Dies erlauben zumeist nur die statische Analyse der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse. Mit heutzutage verfügbaren detaillierten numerischen Berechnungsverfahren [7] können sowohl die statischen Beleuchtungsverhältnisse als auch die zeitlich integralen Auswirkungen variierender Außenbeleuchtungsverhältnisse auf den Endenergiebedarf für Beleuchtungszwecke über beispielsweise monatliche und jährliche Zeiträume bestimmt werden.

Planungspraktisch kam bis dato zur Auslegung von Dachoberlichtern im allgemeinen das vereinfachte Verfahren nach DIN 5034-Teil 6 [6] zur Anwendung. Das Verfahren ermöglicht bei einem vorzugebenden Tageslichtquotienten die Ermittlung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtern in Dachöffnungen. Berechnungen sind möglich für folgende Dachoberlichttypen: Kuppel, Gewölbe, Sattel, 60°- und 90°-Shed . Die Orientierung der Lichteintrittsöffnungen findet keinen Eingang in die Methode. Das Verfahren erlaubt damit keine unmittelbare Korrelation mit dem Endenergiebedarf für Beleuchtungszwecke, dessen Ermittlung den zeitlich je nach Fassadenorientierung variierenden Beleuchtungsverhältnissen auf der Lichteintrittsöffnung Rechnung tragen muss.

DIN 5034 Teil 3 enthält ein Tabellenverfahren basierend auf Arbeiten von Rattunde [13]. Es ermöglicht die Bestimmung des Tageslichtquotienten für Lichtkuppeln und geometrisch unterschiedlich ausgebildete und orientierte Shedoberlichter. Das Verfahren basiert auf dem für die Auslegung von künstlichen Beleuchtungsanlagen entwickelten Wirkungsgradverfahren [11]. In Abhängigkeit der Ausbildung der Dachoberlichter (Geometrie und Reflexionsgrade) sind daher unterschiedliche Raumwirkungsgrade in den Berechnungen anzusetzen. Es wird die Analogie zwischen Dachoberlichtern und einer direktstrahlenden Leuchte in der Decke gebildet.

Im folgenden wird der Ansatz nach Rattunde weiterverfolgt. Diese Wahl erfolgt vor allem aufgrund einer Verfahrenseigenschaft, die es ermöglicht auf einfache Weise die benötigte Korrelation mit dem Endenergiebedarf Beleuchtung herzustellen.

3. Randbedingungen

Betrachtungen für mittleren Tageslichtquotienten

Da aufgrund einer im allgemeinen regelmäßigen Anordnung auf der Dachfläche die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsverhältnisse bei Räumen mit Dachoberlichtern meist erheblich besser ist als bei Räumen mit Fenstern (siehe hierzu auch Richtwerte aus DIN 5034-6), erscheint der Ansatz des mittleren Tageslichtquotienten D als die Größe, über die dann die internen Beleuchtungsverhältnisse in Abhängigkeit der Außenbeleuchtungsverhältnisse ermittelt werden kann, gerechtfertigt.

Von einer regelmäßigen und mit Bezug auf die Beleuchtungsverhältnisse gleichmäßigen Anordnung kann erfahrungsgemäß insbesondere bei Oberlichtern in Form von Lichtkuppeln oder Lichtbändern dann gesprochen werden, wenn das Verhältnis f des Achsabstandes e in Längsrichtung der Dachoberlichter untereinander zur Raumhöhe h nicht größer als 1:1,7 ist.

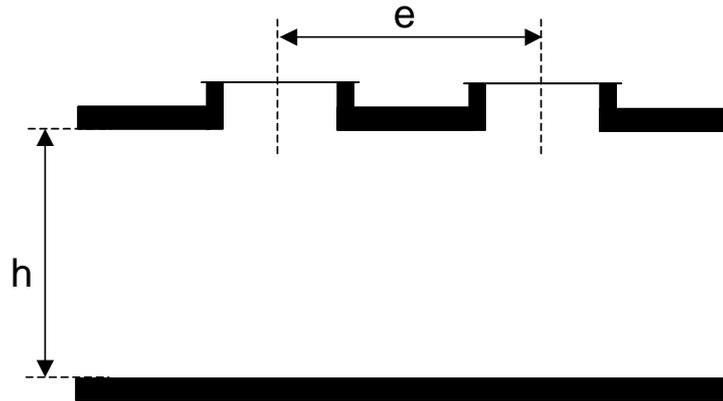


Bild 2: Darstellung zur Anordnung von Dachoberlichtern untereinander.

f = e / h D _{min} /D _{max}	Schachtneigung			Bemerkungen
	45°	60°	90°	
~ 1:1	< 1 ... 1,1			} anzustreben
~ 1:1,5	1,4	1,3	1,2	
~ 1:2	1,7	1,5	1,4	üblich
~ 1:2,5	2	1,8	1,6	kritisch

Tabelle 1: Verhältnis f zwischen dem Abstand in Längsrichtung e der Lichtöffnungen untereinander (Achismaß) und der Raumhöhe h nach [12]

Klimadaten

Die Außenbeleuchtungsverhältnisse wurden mit dem nach [10] modifizierten Himmelsmodell nach [4] für den Standort Frankfurt basierend auf TRY Wetterdaten [1] (TRY = Test-Referenz-Jahr) ermittelt. Der Standort Frankfurt stellt das beleuchtungstechnische Mittel nach dem gewählten Modell für die verschiedenen TRY Wetterstationen dar.

Verbauungen

Im Verfahren wird von unverbauten Dachoberlichtern ausgegangen, was im allgemeinen die Regel darstellt. Bei Verbauungen, die den in den Raum eindringenden Lichtstrom signifikant beeinflussen, ist auf andere, detailliertere Berechnungsverfahren zurückzugreifen.

Verglasungsarten

Das Verfahren nach Rattunde [13] bietet bei der zugrunde liegenden Annahme von ideal diffusen Verglasungen, wie sie in Dachoberlichtern zumeist ein-

gesetzt werden, die Möglichkeit, bei bekannten Beleuchtungsstärken auf der Lichteintrittsfläche über den ermittelten Tageslichtquotienten, unmittelbar die Innenbeleuchtungsstärken zu ermitteln. Der Tageslichtquotient kann nur bei Diffusverglasung auch für Außenbeleuchtungsstärken, die sich aufgrund anderer – d.h. nicht ideal bedeckter – Himmelzustände einstellen, zur Bestimmung der Innenbeleuchtungsverhältnisse genutzt werden. *„Bei der Verwendung gut lichtstreuender Materialien, d.h. ausreichendem Streuvermögen und keinem merklich gerichteten Anteil der Transmission, ändern sich im Innenraum die relative Beleuchtungsstärken- bzw. Leuchtdichtevertelung auf den Raumumgrenzungsflächen bei direkter Besonnung nicht, jedoch werden Leuchtdichte der Oberlichtverglasung und Niveau von Beleuchtungsstärken und Wandleuchtdichten proportional größer“ [13].* Da es auch bei Einsatz von Klarverglasungen häufig an den Oberflächen der Shedkonstruktionen zu Lichtstreuungen kommt und Shedoberlichter im allgemeinen nach Norden orientiert werden und somit fast ausschließlich Diffuslicht eindringt, wird das Verfahren im folgenden genähert auch für Klarverglasungen angenommen.

Statische Fassade

Es werden abweichend von vertikalen Fassadensystemen keine beweglichen bzw. verfahrbaren Sonnen- und/oder Blendschutzsysteme betrachtet. Dies erscheint gerechtfertigt, da die meisten Dachoberlichter bislang ohne derartige Systeme ausgeführt werden.

Reflexionsgrade

In Abstimmung mit den Reflexionsgradkombinationen, die dem generellen Nachweisverfahren zugrunde liegen sollen, wird von denen in Tabelle 2 aufgeführten Randbedingungen ausgegangen:

Parameter		Wert
		[-]
Lichtreflexionsgrad ρ	Rauboden ρ_B	0,2
	Raumwand ρ_W	0,5
	Raumdecke ρ_D	0,7
	Lichtschachtinnenwand ρ_S	0,7
	Außenraum ρ_B	0,2

Tabelle 2: Zugrunde gelegte Lichtreflexionsgrade ρ .

Hierzu sind, wie weiter unter Ziffer 4 dargestellt werden wird, neue Werte aus den vorliegenden Tabellen in DIN 5034 Teil 3 [5] zu interpolieren.

4. Modell zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung

Über den Tageslichtquotienten erfolgt zunächst die Klassifikation der Tageslichtversorgung (gemäß Stufe 1, Bild 1). Folgende Schritte sind erforderlich:

1. Bestimmung des Raumindexes,
2. Bestimmung des Raumwirkungsgrades,
3. Bestimmung des mittleren Tageslichtquotienten,
4. Klassifizierung der Tageslichtversorgung.

4.1 Raumindex

Aus den Raumabmessungen wird der Raumindex k ermittelt:

$$k = \frac{a \cdot b}{(h - h_{Ne}) \cdot (b + a)} \quad (1)$$

mit

a	Raumtiefe [m]
b	Raumbreite [m]
h	Raumhöhe [m]
h_{Ne}	Nutzebene [m].

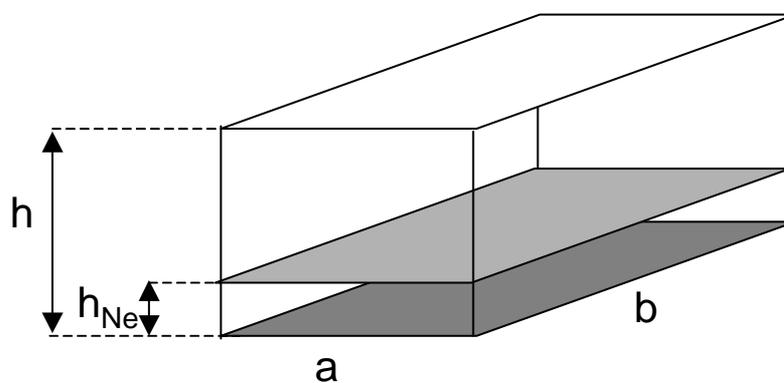


Bild 3: Zur Ermittlung des Raumindexes k .

4.2 Bestimmung des Raumwirkungsgrades

In Abhängigkeit des Oberlichttyps, der Oberlichtgeometrie und des Raumindex k werden für das Gesamtverfahren bei den gewählten Reflexionsgradkombinationen die Raumwirkungsgrade η_R bestimmt. Die Werte werden aus den Tabellen in DIN 5034, Teil 3 interpoliert, da Raumwirkungsgrade für diese Reflexionsgradkombination nicht aufgeführt sind. Der Einfluss anderer Raumreflexionsgrade auf den Raumwirkungsgrad kann gemäß der Tabellen in DIN 5034, Teil 3 [5] berücksichtigt werden.

4.2.1 Lichtkuppeln und Lichtbänder

Die Raumwirkungsgrade in Abhängigkeit des Raumindex nach Gleichung (1) und der Geometrieparameter nach Bild 4 sind Tabelle 3 zu entnehmen. Für Lichtbänder, die größere Verhältniswerte a_s/b_s aufweisen, wurden Raumwirkungsgrade aufgrund der vorliegenden Daten extrapoliert. Die extrapolierten Werte wurden durch detaillierte Simulationen [7] für ausgewählte Raumgeometrien validiert. Somit liegen Raumwirkungsgrade auch für $a_s/b_s = 5$ vor, die auch für längere Lichtbänder mit $a_s/b_s > 5$ in guter Näherung angesetzt werden können.

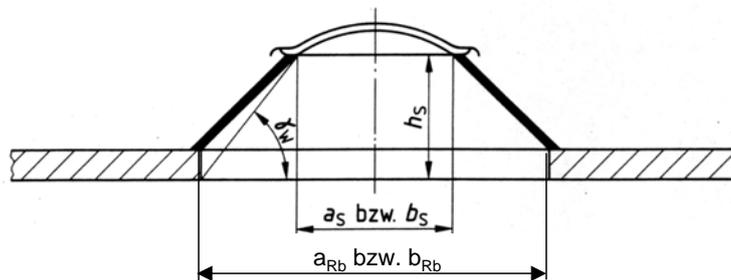


Bild 4: Größen zur Tageslichtberechnung für Räume mit Lichtkuppeln.

- γ_W Neigung der Wand des Aufsetzkranzes [°]
- h_s Höhe des Aufsetzkranzes [m]
- a_s Länge der oberen Öffnung des Aufsetzkranzes [m]
- b_s Breite der oberen Öffnung des Aufsetzkranzes [m]
- a_{RB} Länge der Rohbauöffnung [m]
- b_{RB} Breite der Rohbauöffnung [m].

a_s/b_s	[-]	1			2			5			1			2			5		
h_s/b_s	[-]	0,25			0,25			0,25			0,5			0,5			0,5		
γ_w	[°]	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
k																			
	[-]																		
0,6		0,40	0,41	0,38	0,40	0,40	0,39	0,41	0,41	0,40	0,40	0,41	0,36	0,40	0,41	0,37	0,42	0,43	0,39
0,8		0,53	0,54	0,50	0,53	0,54	0,51	0,54	0,55	0,52	0,53	0,55	0,46	0,53	0,55	0,49	0,55	0,57	0,51
1,0		0,59	0,60	0,56	0,59	0,60	0,57	0,60	0,61	0,59	0,60	0,61	0,51	0,60	0,61	0,54	0,62	0,66	0,56
1,25		0,68	0,69	0,64	0,68	0,69	0,66	0,69	0,70	0,67	0,69	0,69	0,58	0,69	0,70	0,62	0,71	0,72	0,64
1,5		0,75	0,75	0,69	0,75	0,75	0,71	0,76	0,76	0,72	0,76	0,75	0,63	0,76	0,76	0,67	0,78	0,78	0,69
2,0		0,83	0,83	0,77	0,83	0,83	0,79	0,84	0,84	0,80	0,84	0,82	0,69	0,84	0,83	0,73	0,87	0,85	0,75
2,5		0,89	0,88	0,81	0,89	0,88	0,84	0,90	0,89	0,85	0,90	0,87	0,73	0,90	0,88	0,77	0,92	0,90	0,79
3,0		0,93	0,92	0,85	0,93	0,92	0,87	0,94	0,93	0,88	0,94	0,90	0,76	0,94	0,91	0,81	0,96	0,93	0,86
4,0		0,98	0,96	0,90	0,98	0,97	0,92	0,99	0,98	0,93	0,99	0,95	0,80	0,98	0,96	0,85	1,00	0,98	0,87
5,0		1,02	1,00	0,92	1,02	1,00	0,95	1,03	1,01	0,96	1,02	0,97	0,82	1,02	0,99	0,87	1,04	1,01	0,89

Tabelle 3: Raumwirkungsgrade η_R für Lichtkuppeln als Funktion des Raumindexes und der Geometrieparameter der Dachoberlichtaufsetzkranzausbildung für Reflexionsgradkombination der Raumumschließungsflächen von $\rho_B = 0,2$; $\rho_W = 0,5$ und $\rho_D = 0,7$ (= $\rho_S = 0,7$).

4.2.2 Sägezahndachoberlichter (Shedoberlichter)

Die Raumwirkungsgrade η_R in Abhängigkeit des Raumindex k nach Gleichung (1) und der Geometrieparameter nach Bild 5 sind Tabelle 4 zu entnehmen. Für häufig vorkommende Dachreiter (45°-Sheds) wurden aus den bestehenden Raumwirkungsgraden zusätzliche Werte interpoliert.

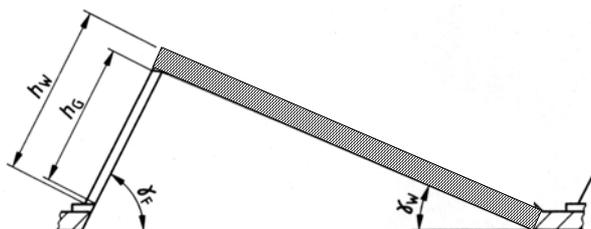


Bild 5: Größen zur Tageslichtberechnung für Räume mit Sägedachoberlichtern (Shedoberlichter).

- γ_F Neigung des Shedschenkels mit Verglasung [°]
- γ_W Neigung des Shedschenkels ohne Verglasung [°]
- h_W Höhe der Fläche in der die Lichteintrittsöffnung liegt [m]
- h_G Höhe der Lichteintrittsöffnung [m].

h_G/h_W	[-]	1												0,5													
γ_F	[-]	30				45	60				90				30				45	60				90			
γ_W	[°]	30	45	60	75	45	30	45	60	75	30	45	60	75	30	45	60	75	45	30	45	60	75	30	45	60	75
k	[-]																										
0,6		0,39	0,39	0,41	0,40	0,37	0,34	0,35	0,36	0,35	0,29	0,30	0,31	0,31	0,38	0,39	0,39	0,40	0,36	0,33	0,34	0,35	0,36	0,29	0,29	0,30	0,30
0,8		0,51	0,52	0,53	0,50	0,49	0,44	0,45	0,46	0,44	0,37	0,39	0,39	0,38	0,50	0,51	0,52	0,51	0,48	0,43	0,44	0,45	0,44	0,37	0,37	0,38	0,38
1,0		0,57	0,58	0,58	0,55	0,55	0,50	0,52	0,51	0,49	0,44	0,45	0,45	0,44	0,56	0,57	0,57	0,56	0,53	0,49	0,50	0,51	0,50	0,43	0,44	0,44	0,44
1,25		0,66	0,66	0,65	0,62	0,62	0,58	0,59	0,58	0,55	0,51	0,51	0,51	0,49	0,65	0,65	0,65	0,64	0,61	0,57	0,58	0,58	0,56	0,50	0,51	0,50	0,50
1,5		0,72	0,72	0,71	0,67	0,68	0,64	0,64	0,63	0,60	0,56	0,56	0,56	0,54	0,71	0,71	0,71	0,69	0,67	0,62	0,63	0,63	0,61	0,55	0,56	0,55	0,55
2,0		0,80	0,79	0,77	0,73	0,75	0,72	0,71	0,69	0,66	0,64	0,63	0,62	0,60	0,79	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,71	0,70	0,68	0,62	0,63	0,62	0,61
2,5		0,85	0,84	0,81	0,77	0,80	0,77	0,76	0,73	0,70	0,69	0,68	0,66	0,64	0,84	0,84	0,83	0,80	0,80	0,76	0,76	0,75	0,72	0,68	0,68	0,67	0,65
3,0		0,88	0,88	0,84	0,80	0,83	0,81	0,79	0,76	0,72	0,72	0,71	0,69	0,67	0,88	0,88	0,86	0,83	0,84	0,80	0,80	0,78	0,75	0,72	0,71	0,70	0,68
4,0		0,94	0,92	0,88	0,84	0,87	0,85	0,83	0,80	0,76	0,77	0,75	0,73	0,70	0,93	0,93	0,91	0,87	0,88	0,85	0,84	0,82	0,79	0,77	0,76	0,75	0,72
5,0		0,97	0,95	0,91	0,87	0,90	0,89	0,86	0,82	0,78	0,80	0,78	0,75	0,73	0,97	0,96	0,93	0,90	0,92	0,89	0,88	0,85	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75

Tabelle 4: Raumwirkungsgrade η_R für Säggedachoberlichter (Shedoberlichter) als Funktion des Raumindexes und der Geometrieparameter für die Reflexionsgradkombination der Raumumschließungsflächen von $\rho_B = 0,2$; $\rho_W = 0,5$ und $\rho_D = 0,7$ ($=\rho_S = 0,7$).

4.3 Bestimmung des mittleren Tageslichtquotienten

Der mittlere Tageslichtquotient ergibt sich zu:

$$\bar{D} = D_a \cdot \tau_{D65} \cdot k_{Obl,1} \cdot k_{Obl,2} \cdot k_{Obl,3} \cdot \frac{\sum A_{Rb}}{A_{RG}} \cdot \eta_R \quad [\%]. \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

A_{Rb}	Fläche der Dachoberlichtöffnungen (Rohbaumaße) [m ²]
A_{RG}	Grundfläche des Berechnungsbereiches [m ²]
D_a	Außentageslichtquotient [%]
τ_{D65}	Lichttransmissionsgrad der lichtstreuenden Dachverglasung für Normlichtart D65 [-]
$k_{Obl,1}$	Minderungsfaktor für Versprossung [-]
$k_{Obl,2}$	Minderungsfaktor für Verschmutzung [-]
$k_{Obl,3}$	Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall (0,85 i.A. ausreichend) [-]
η_R	Raumwirkungsgrad [-].

Der Außentageslichtquotient D_a ist wie folgt definiert:

$$D_a = \frac{E_F}{E_a} \quad [\%]. \quad (3)$$

Dabei sind:

E_F	Beleuchtungsstärke auf der Außenseite des Oberlichts bei vollkommen bedecktem Himmel [lx]
E_a	horizontale Außenbeleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel [lx].

Der Minderungsfaktor für Versprossung $k_{Obl,1}$ kann nach

$$k_{Obl,1} = 1 - \frac{\text{Fläche der Konstruktionsteile}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}} = \frac{\text{lichtdurchlässige Fläche}}{\text{Fläche der Rohbauöffnung}} \quad (4)$$

bestimmt werden. Bei Lichtkuppeln sind unter Konstruktionsteilen auch die Aufsetzkränze zu verstehen. $k_{Obl,1}$ stellt somit das Verhältnis aus der Lichteintrittsfläche $A_{Fs} = a_s \cdot b_s$, d.h. der oberen Öffnung des Aufsetzkranzes, abzüg-

lich weiterer opaker Konstruktionsteile innerhalb der Lichtkuppeln oder Lichtbänder, zur Fläche der Rohbauöffnung $A_{Rb} = a_{Rb} \cdot b_{Rb}$ gemäß Bild 4 dar.

Bei Sägezahndachoberlichtern (Shedoberlichter) gemäß Bild 5 entspricht dagegen die Rohbauöffnung nicht der Schnittfläche des Shedaufbaus mit der eigentlichen Dachfläche. Hier bestimmt sich die Fläche der Rohbauöffnung zu $A_{Rb} = h_G \cdot b_{Rb}$, wobei h_G der Höhe der Lichteintrittsöffnung und b_{Rb} der Breite der Lichteintrittsöffnung entspricht. Der Minderungsfaktor für Versprossung $k_{Obl,1}$ berücksichtigt weitere opake Konstruktionsteile in der so definierten Rohbauöffnung.

Unterschiedliche Neigungen von Dachoberlichtern, wie sie z. B. bei Shedoberlichter vorkommen, werden analog DIN 5034 Teil 3 und Rattunde zunächst mit einem sogenannten Fassadentageslichtquotienten D_F berechnet, der die Innenbeleuchtungsstärke in Bezug zur Außenbeleuchtungsstärke auf der geneigten Fassaden- bzw. Verglasungsfläche setzt. Dieser wird dann mit Hilfe des Außentageslichtquotienten D_a umgerechnet in den planungspraktisch genutzten Tageslichtquotienten D (Bezug auf unverbaute horizontale Ebene):

$$D = D_F \cdot D_a \quad (5)$$

Tabelle 5 gibt den Außentageslichtquotienten D_a bei einem Bodenreflexionsgrad ρ_B von 0,2 für ausgewählte Neigungswinkel der Dachoberlichtverglasungen (Shedoberlichter) an.

Neigung γ_F	$D_a = E_F/E_a$
[°]	[%]
0	100
30	92
45	83
60	72
90	50

Tabelle 5: Außentageslichtquotient D_a als Funktion der Fassadenneigung γ_F bei einem Bodenreflexionsgrad ρ_B von 0,2 (ohne Verbauung).

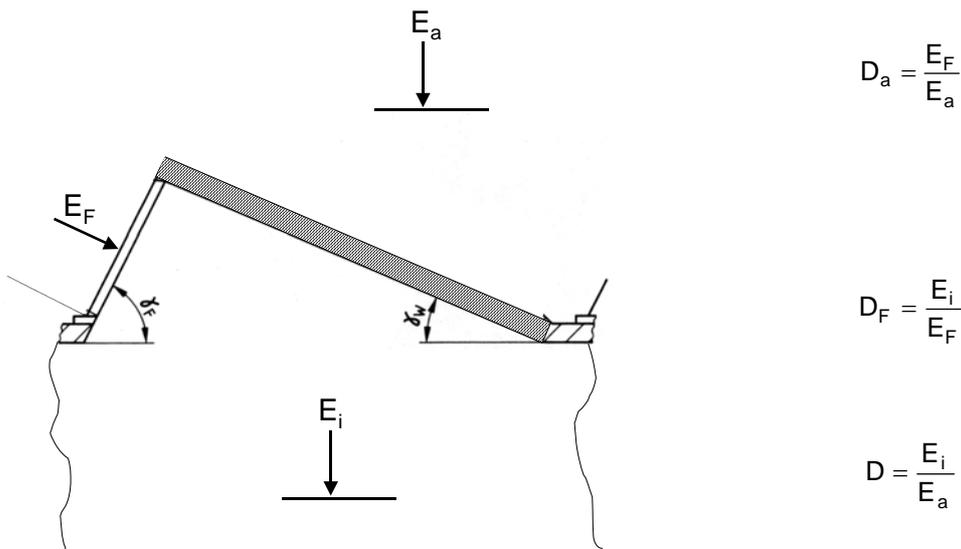


Bild 6: Zur Definition des Tageslichtquotienten D , des Außentageslichtquotienten D_a und des Fassadentageslichtquotienten D_F .

4.4 Klassifizierung der Tageslichtversorgung

Für einfache tabellarische Nachweisverfahren wird analog dem Ansatz in [14], wie auch schon bei vertikalen Fassaden, eine Einstufung der Tageslichtversorgung vorgeschlagen. Die Einstufungsgruppen gemäß Tabelle 6 orientieren sich prinzipiell an den Empfehlungen aus DIN 5034 Teil 6 [8].

Maßkriterium \bar{D}	Repräsentativer Wert \bar{D} für den jeweiligen Bereich	Klassifizierung der Tageslichtversorgung
$7 \leq \bar{D}^*$	8,5%	Gut
$4 \leq \bar{D} < 7\%$	5,5%	Mittel
$2 \leq \bar{D} < 4\%$	3%	Gering
$0 \leq \bar{D} < 2\%$	-	Keine

*wobei $\bar{D} > 10\%$ gemäß DIN 5034-6 wegen der Gefahrthermischer Überhitzung vermieden werden sollte

Tabelle 6: Klassifizierung der Tageslichtversorgung als Funktion des Tageslichtquotienten \bar{D} .

Liegt der Tageslichtquotient aus anderen validierten Verfahren vor, kann er ersatzweise an Stelle von Gleichung (2) zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung mit Tabelle 6 herangezogen werden. Der Tageslichtquotient ist hierbei als Mittelwert über der Nutzebene zu bestimmen.

5. Verfahren zur Ermittlung des Beleuchtungsenergiebedarfs

Der Übergang von dem ermittelten Tageslichtquotienten zu einem Maßkriterien des Energiebedarfs erfolgt in Anlehnung an DIN 5034 Teil 3 [5] und Ratunde [13] unter der erläuterten zentralen Annahme, dass die Oberlichter diffus verglast sind bzw. dass das Licht durch die Oberlichter diffus in den Raum eindringt. Somit können die internen Beleuchtungsstärken ergänzend zu dem bedeckten Himmel auch für alle anderen Himmelszustände mittels des Tageslichtquotienten ermittelt werden. Bei Klarverglasungen ist allerdings zu beachten, dass allgemein anerkannte Planungsgrundsätze wie Vermeidung des Direktlichteinfalls in Nutzbereiche, Schlagschattenbildung und Blendung beachtet werden.

Mit Himmelsmodellen, die es ermöglichen, auf stündlicher Basis die realen Beleuchtungsverhältnisse auf den Verglasungen zu nähern, können somit einfach über den Tageslichtquotienten die Innenbeleuchtungsverhältnisse ermittelt und jährliche (monatlich) integrale Maßzahlen für das Einsparpotential für Tageslicht ermittelt werden. So ergibt sich die relative Nutzbelichtung

$$H_{\text{Nutz,rel}} = \frac{H_{\text{Nutz}}}{E_m \cdot t_A} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

mit

\bar{E}_m Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464-1 [lx]
 t_A Betriebszeit im betrachteten Zeitraum (im allgemeinen monatlich oder jährlich) [h].

als Maßzahl für das mögliche Einsparpotential. Hierbei ist die Nutzbelichtung H_{Nutz} nach

$$H_{\text{Nutz}} = \int_{t=0}^{t=t_A} E_{\text{TL}} \cdot dt \quad [\text{lxh}] \quad \text{wobei} \quad E_{\text{TL}} = \begin{cases} E_{\text{TL}} & \text{für } E_{\text{TL}} < \bar{E}_m \\ E_m & \text{sonst} \end{cases} \quad (7)$$

mit

E_{TL} Beleuchtungsstärke durch Tageslicht [lx].

in einem gegebenen Punkt durch Integration der Beleuchtungsstärke E_{TL} aufgrund Tageslicht über den Betrachtungszeitraum t_A zu ermitteln. E_{TL} kann unter der getroffenen Annahme einer Diffusverglasung direkter aus der Beleuch-

tungsstärke auf der Lichteintrittsöffnung und dem Tageslichtquotienten D bestimmt werden:

$$E_{TL} = E_F \cdot D \quad (8)$$

Die Nutzbelichtung gibt somit den Belichtungsanteil an, der von einem gedimmten künstlichen Beleuchtungssystem zum Erreichen der für die Erfüllung der Sehaufgabe erforderlichen Belichtung, der Nennbelichtung, nicht beigesteuert werden muss. Die Nutzbelichtung ist abhängig vom Wert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m . Sie ist ein Maß für das im Idealfall zu erreichende Einsparpotential elektrischer Beleuchtungsenergie aufgrund Tageslichtnutzung und soll in das diskutierte Nachweisverfahren als sogenannter Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers} = H_{Nutz,rel}$ für den jeweils betrachteten Berechnungsbereich mit einfließen. Bei „Ein/Aus“ geregelten Beleuchtungsanlagen ist statt der relativen Nutzbelichtung mit der Größe der relativen Nutzungszeit [5] zu arbeiten. Das Vorgehen kann entsprechend übertragen werden. Die Ermittlung der Beleuchtungsverhältnisse erfolgt, wie unter Ziffer 3 bereits erläutert, mit dem Modell des mittleren Himmels nach DIN 5034 Teil 3 [5] modifiziert nach [10] für den Standort Frankfurt.

Da, wie unter Ziffer 3 bereits erwähnt, bei Oberlichtern bislang in der Regel keine verfahrenbaren Verschattungs- oder Sonnenschutzsysteme eingesetzt werden, kann für zeitlich integrale Betrachtungen mit einem Modell - daher auch mit einem Tageslichtquotienten - gearbeitet werden.

5.1 Jahresverfahren

Da verschieden orientierte und geneigte Lichteintrittsflächen der Oberlichter unterschiedlich belichtet werden, müssen jeweils separat die Abhängigkeiten zwischen relativer Nutzbelichtung $H_{Nutz,rel}$ (bzw. $C_{TL,Vers}$) und dem Tageslichtquotienten D bereitgestellt werden. Hierzu werden analog der bisherigen thermischen Modellbildung in DIN 4108 Teil 6 [3], die strukturell auch in dem korrespondierenden neuen Normteil 18599-2 fortgeschrieben werden soll, 8 Orientierungen [*Süd, Süd-West, West, Nord-West, Nord, Nord-Ost, Ost, Süd-Ost*] und 5 Neigungen [*0, 30, 45, 60, 90*] betrachtet. Darüber hinaus ist die relative Nutzbelichtung abhängig vom Wert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m . Dieser wird mit *300 lx, 500 lx, 750 lx und 1000 lx* analog der Betrachtung

vertikaler Fassaden variiert. Aus den relativen Nutzbelichtungen kann dann analog dem Vorgehen bei vertikalen Fassaden auf den Beleuchtungsenergiebedarf geschlossen werden. Exemplarisch sind in Bild 7 für Südorientierung und vertikal angestellte Verglasungen ($\gamma_F=90^\circ$) die relativen Nutzbelichtungen zum einen in Abhängigkeit des Fassadentageslichtquotienten D_F und der eigentlichen Verfahrenseingangsgröße, des Tageslichtquotienten D , gegenübergestellt. Aus den in Bild 8 für ausgewählte Orientierungen und Neigungen dargestellten Abhängigkeiten der relativen Nutzbelichtungen vom Tageslichtquotienten D wurden für die Klassifizierungsstufen nach Tabelle 6 die Werte für ein mögliches einfaches Tabellennachweisverfahren in Tabelle 7 ermittelt. Sämtliche in Tabelle 7 aufgeführten relativen Nutzbelichtungen sind grafisch in Bild 9 illustriert.

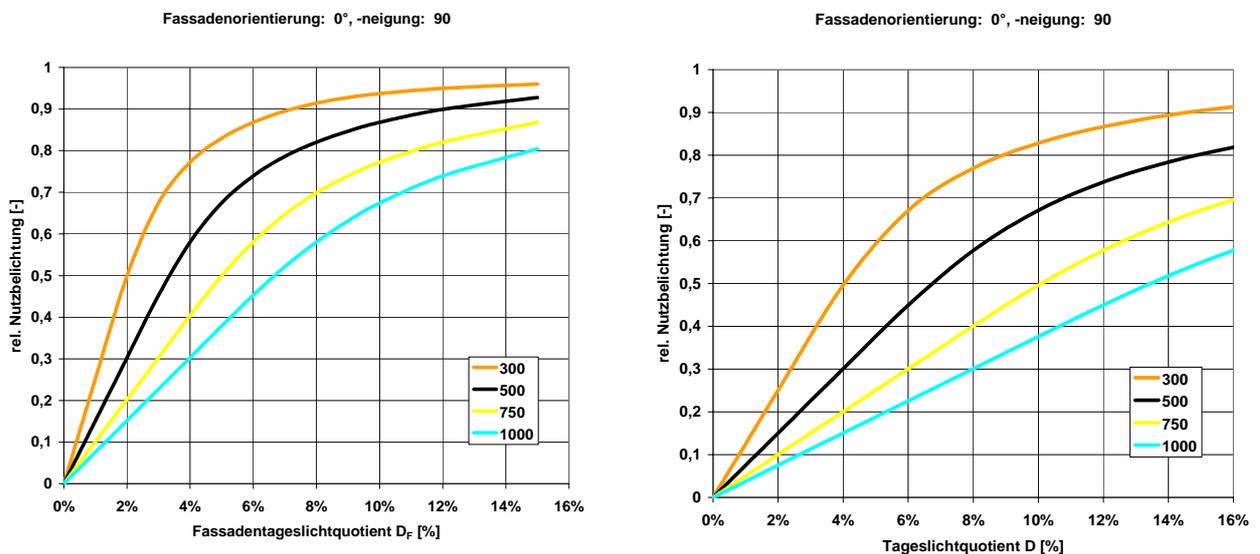


Bild 7: Korrelation des Tageslichtquotienten mit der relativen Nutzbelichtung $H_{Nutz,rel}$ (bzw. $C_{TL,Vers}$) für Fassadenorientierung 0° (Nord), Fassadenneigung 90° (vertikal) in der linken Grafik für den Fassadentageslichtquotienten D_F : $H_{N,rel} = f(D_F)$; in der rechten Darstellung für den Tageslichtquotienten D : $H_{N,rel} = f(D/D_a)$. Die Zusammenhänge sind jeweils für $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$, 500 lx , 750 lx , 1000 lx angegeben.

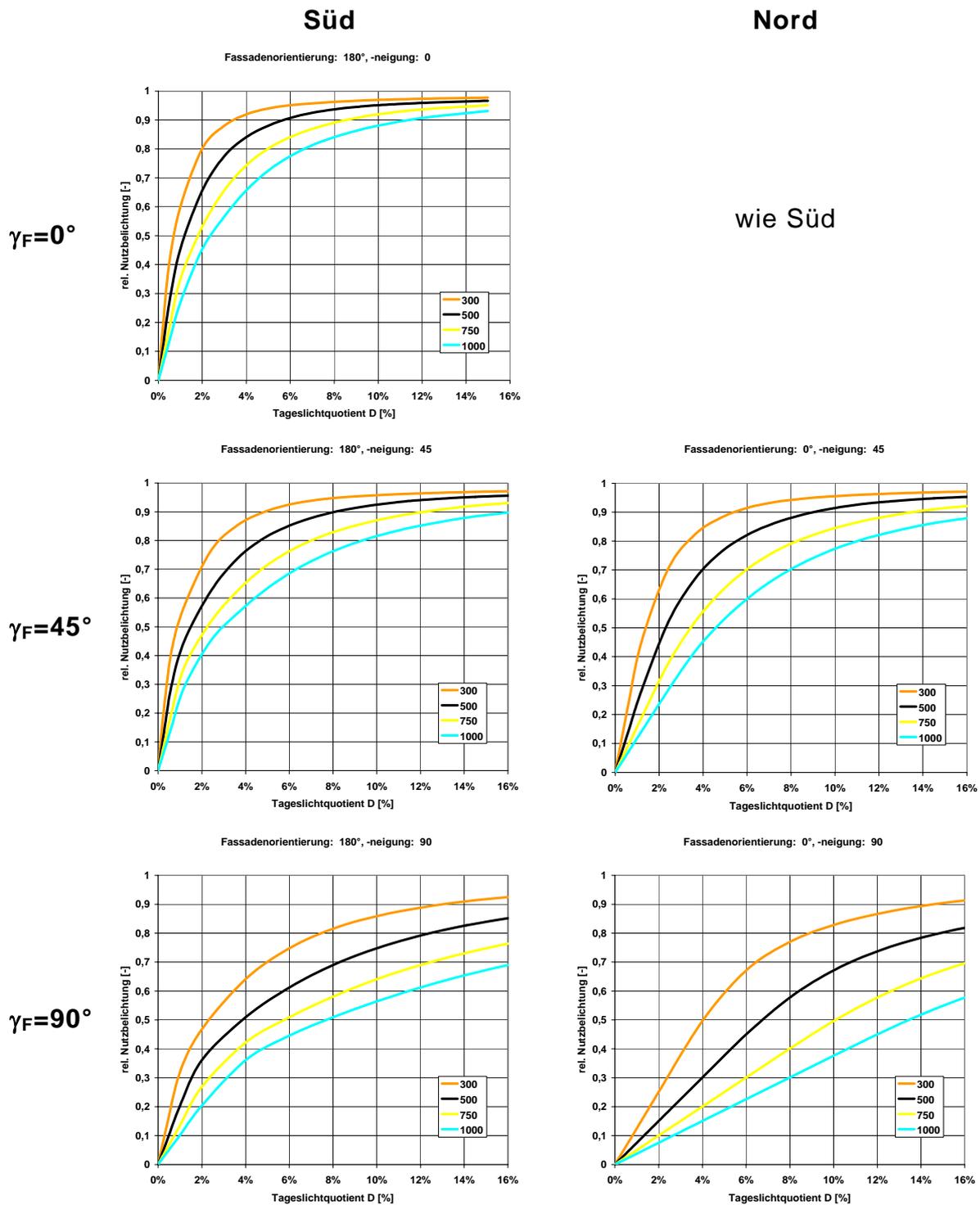


Bild 8: Korrelation des Tageslichtquotienten D mit der relativen Nutzbeleuchtung $H_{\text{Nutz,rel}}$ (bzw. $C_{\text{TL,Vers}}$) für Fassadenorientierung 0° (Nord) und 180° (Süd) und unterschiedliche Fassadenneigungen. Die Zusammenhänge sind jeweils für $\bar{E}_m = 300 \text{ lx}$, 500 lx , 750 lx , 1000 lx angegeben.

Orientierung	Neigung	Gering				Mittel				Gut			
		300lx	500lx	750lx	1000lx	300lx	500lx	750lx	1000lx	300lx	500lx	750lx	1000lx
Horizontal	0	0,88	0,78	0,66	0,57	0,95	0,89	0,82	0,75	0,97	0,94	0,9	0,85
Süd	30	0,85	0,73	0,62	0,54	0,94	0,87	0,79	0,71	0,96	0,93	0,88	0,82
	45	0,81	0,68	0,57	0,50	0,91	0,83	0,74	0,66	0,95	0,91	0,84	0,78
	60	0,75	0,61	0,51	0,45	0,88	0,77	0,67	0,59	0,93	0,86	0,78	0,71
	90	0,56	0,44	0,35	0,28	0,72	0,59	0,49	0,42	0,83	0,70	0,60	0,52
Süd-Ost Süd-West	30	0,85	0,73	0,61	0,53	0,93	0,87	0,78	0,71	0,96	0,93	0,87	0,82
	45	0,80	0,66	0,55	0,47	0,91	0,83	0,73	0,64	0,95	0,90	0,83	0,77
	60	0,73	0,58	0,47	0,41	0,87	0,76	0,65	0,56	0,93	0,86	0,77	0,69
	90	0,52	0,39	0,31	0,25	0,70	0,54	0,44	0,38	0,82	0,68	0,55	0,48
Ost/West	30	0,84	0,71	0,58	0,50	0,93	0,86	0,77	0,69	0,96	0,93	0,87	0,81
	45	0,78	0,63	0,50	0,42	0,91	0,81	0,70	0,61	0,95	0,90	0,82	0,75
	60	0,70	0,53	0,41	0,35	0,87	0,74	0,60	0,51	0,93	0,85	0,75	0,65
	90	0,46	0,33	0,24	0,19	0,67	0,50	0,38	0,31	0,81	0,65	0,51	0,42
Nord Ost Nord West	30	0,83	0,69	0,56	0,47	0,93	0,85	0,76	0,67	0,96	0,92	0,86	0,80
	45	0,77	0,60	0,46	0,37	0,90	0,80	0,67	0,57	0,95	0,89	0,81	0,73
	60	0,67	0,48	0,36	0,28	0,86	0,71	0,56	0,46	0,92	0,84	0,73	0,62
	90	0,41	0,26	0,18	0,13	0,64	0,45	0,31	0,24	0,79	0,62	0,46	0,36
Nord	30	0,82	0,69	0,55	0,46	0,93	0,85	0,75	0,66	0,95	0,92	0,86	0,79
	45	0,76	0,59	0,45	0,35	0,90	0,80	0,67	0,57	0,95	0,89	0,81	0,72
	60	0,66	0,45	0,31	0,23	0,85	0,71	0,54	0,42	0,92	0,83	0,72	0,60
	90	0,38	0,23	0,15	0,11	0,63	0,41	0,28	0,21	0,78	0,60	0,42	0,32

Tabelle 7: Zusammenstellung der relativen Nutzbelichtungen $H_{N,rel}$ (bzw. $C_{TL,Vers}$) in Abhängigkeit der Einstufung der Tageslichtversorgung und des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m für unterschiedlich orientierte und geneigte Fassaden.

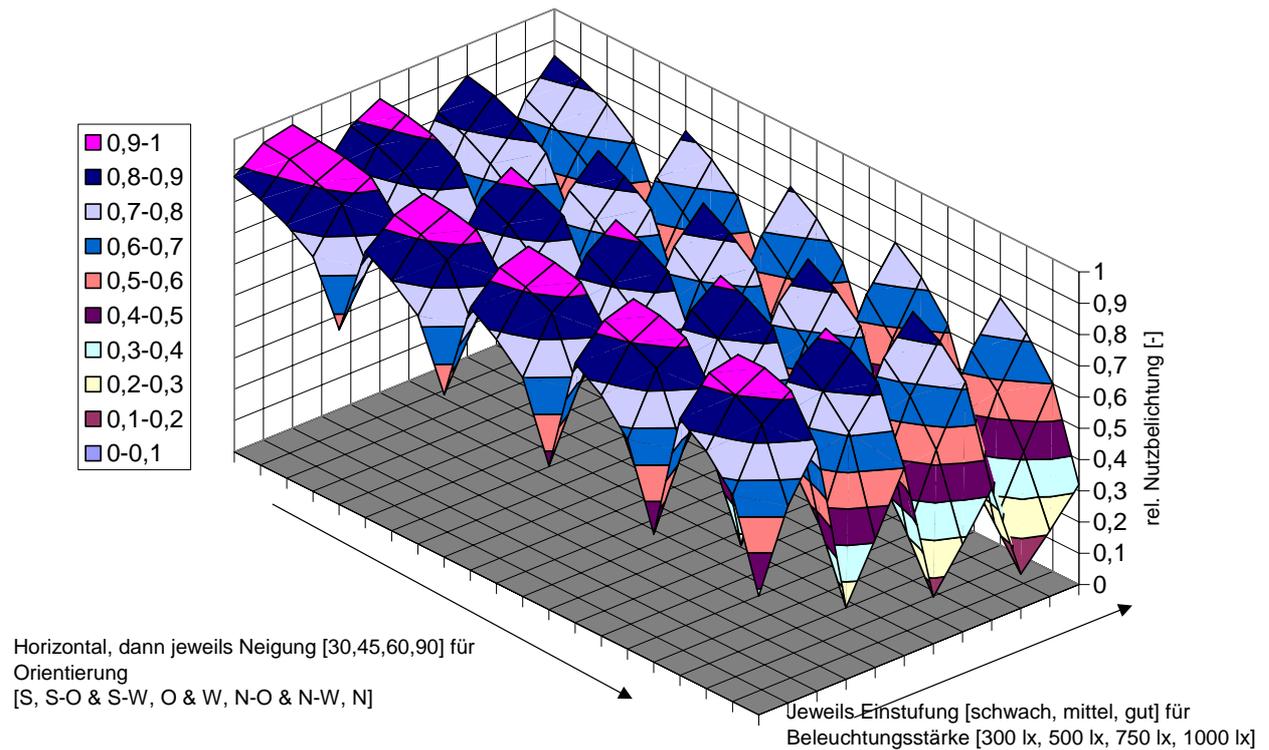


Bild 9: Relative Nutzbelichtungen $H_{N,rel}$ in Abhängigkeit der Einstufung der Tageslichtversorgung und des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m für unterschiedlich orientierte und geneigte Fassaden.

5.2 Monatsverfahren

Aus dem ermittelten jährlichen Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers,m} = H_{Nutz,rel}$ können über Verteilungsschlüssel entsprechende monatliche Werte ermittelt werden und somit die saisonalen Einflüsse im geplanten monatlichen Gesamtbilanzierungsverfahren der Normenreihe DIN V 18599 Berücksichtigung finden.

6. Beispiel

Das Beispiel stellt die Bestimmung des jährlichen und monatlichen Endenergiebedarfs für eine Fertigungshalle dar, die ausschließlich über Dachoberlichter mit Tageslicht versorgt wird. Es werden zwei verschiedene Oberlichtlösungen betrachtet. In einer Variante werden die Dachöffnung mit Lichtbändern ausgestattet, in einer zweiten Variante werden Shedoberlichter eingesetzt.

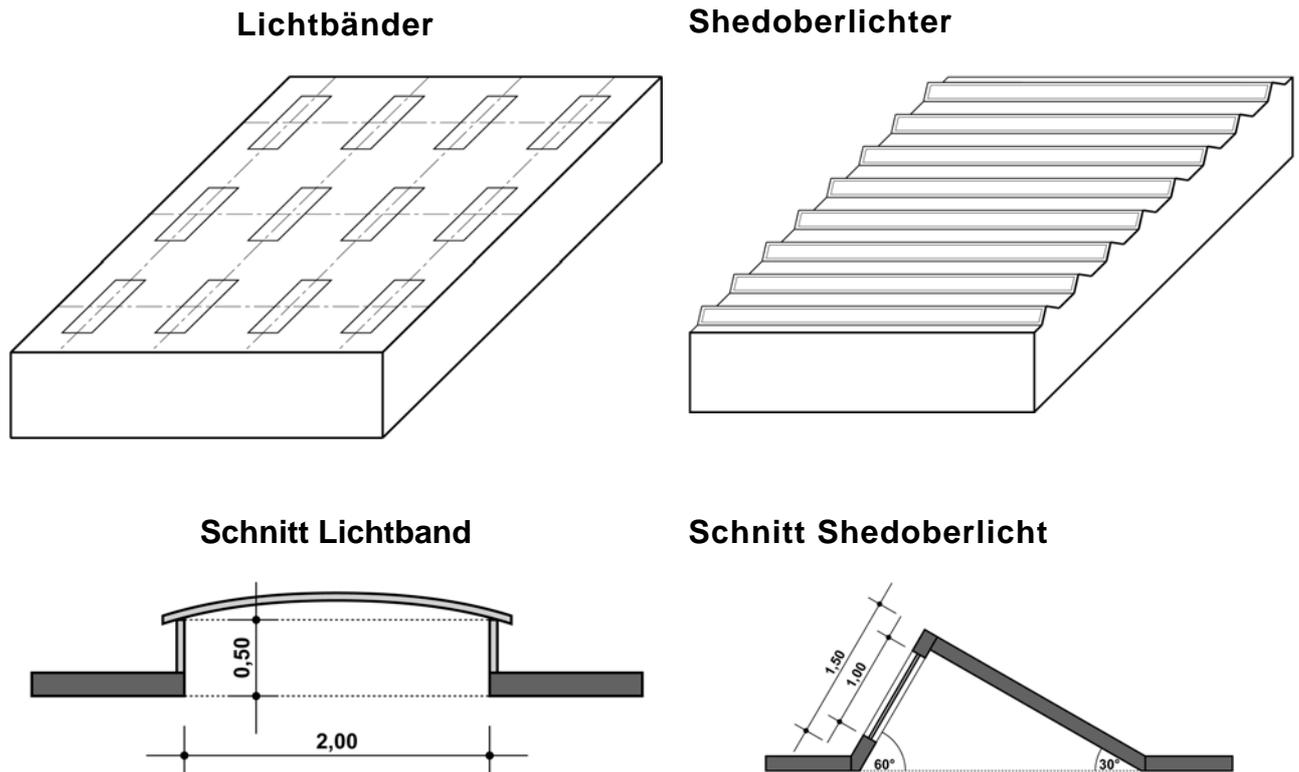


Bild 10: Beispielhaft untersuchte Hallen mit Geometrie der Dachoberlichtanordnung.

6.1 Elektrische Anschlussleistung

Es kommt eine Direktbeleuchtung bei Einsatz von stabförmigen Leuchtstofflampen mit dimmbaren EVGs bei einem geforderten Wartungswert der Beleuchtungsstärke von $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ zum Einsatz. Die spezifische installierte elektrische Leistung ergibt sich für diese Installation zu $p = 11,7 \text{ W/m}^2$. Es sei angemerkt, dass DIN V 18599-4 vereinfachte Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung bereitstellen soll.

6.2 Tageslichtversorgungsfaktor

Mittlerer Tageslichtquotienten für Dachoberlichter, ausgeführt als Lichtbänder

Der Tageslichtquotient ist nach Gleichung (2) zu bestimmen. Es gelten folgende Werte für das Verglasungssystem eines Lichtbandes:

- Lichttransmissionsgrad der Verglasung: $\tau_{D65} = 0,64$ (Stegdoppelplatten aus Polycarbonat (PC))
- Minderungsfaktor für Versprossung: $k_{Obl,1} = 0,92$

- Minderungsfaktor für Verschmutzung: $k_{\text{Obl},2} = 0,9$
- Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall: $k_{\text{Obl},3} = 0,85$.

Die Geometrie des Lichtbandes weist folgende Kennwerte auf

- Höhe des Aufsetzkranzes: $h_s = 0,5$ m
- Neigung des Aufsetzkranzes: $\gamma_w = 90^\circ$ (senkrecht)
- Breite eines Lichtbandes: $b_s = 2$ m
- Länge eines Lichtbandes: $a_s = 10$ m.

Aus der Geometrie des Lichtbandes und dem zuvor bestimmten Raumindex

$$k = \frac{(45 \text{ m} \cdot 30 \text{ m})}{(7 \text{ m} - 0,85 \text{ m}) \cdot (45 \text{ m} + 30 \text{ m})} = 2,93$$

wird über die Tabelleneingangswerte $a_s/b_s = 5$, $h_s/b_s = 0,25$; $\gamma_w = 90^\circ$ der Raumwirkungsgrad η_R zu 0,88 (interpoliert) bestimmt. Der Außentageslichtquotient D_a ergibt sich aufgrund horizontaler Dachneigung zu 1. Bei 12 Oberlichtern ergibt sich die gesamte Rohbauöffnung zu $A_{\text{Rb}} = 240 \text{ m}^2$. Die Grundfläche der Halle ist $A_{\text{RG}} = 1350 \text{ m}^2$. Es ergibt sich somit ein mittlerer Tageslichtquotient vom

$$\bar{D} = D_a \cdot \tau_{\text{D65}} \cdot k_{\text{Obl},1} \cdot k_{\text{Obl},2} \cdot k_{\text{Obl},3} \cdot \frac{\sum A_{\text{Rb}}}{A_{\text{RG}}} \cdot \eta_R \text{ [%]}$$

$$\bar{D} = 100\% \cdot 0,64 \cdot 0,92 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot \frac{240 \text{ m}^2}{1350 \text{ m}^2} \cdot 0,88 = 7,05 \text{ \%}$$

Die Tageslichtversorgung wird gemäß Tabelle 6 mit „gut“ klassifiziert. Zum Vergleich ist in Bild 11 der vereinfachten Berechnung das Ergebnis einer detaillierten Berechnung mittels eines in [9] vorgestellten Berechnungsprogramms gegenübergestellt. Es stellt sich ein mittlerer Tageslichtquotient von 7,0 % ein.

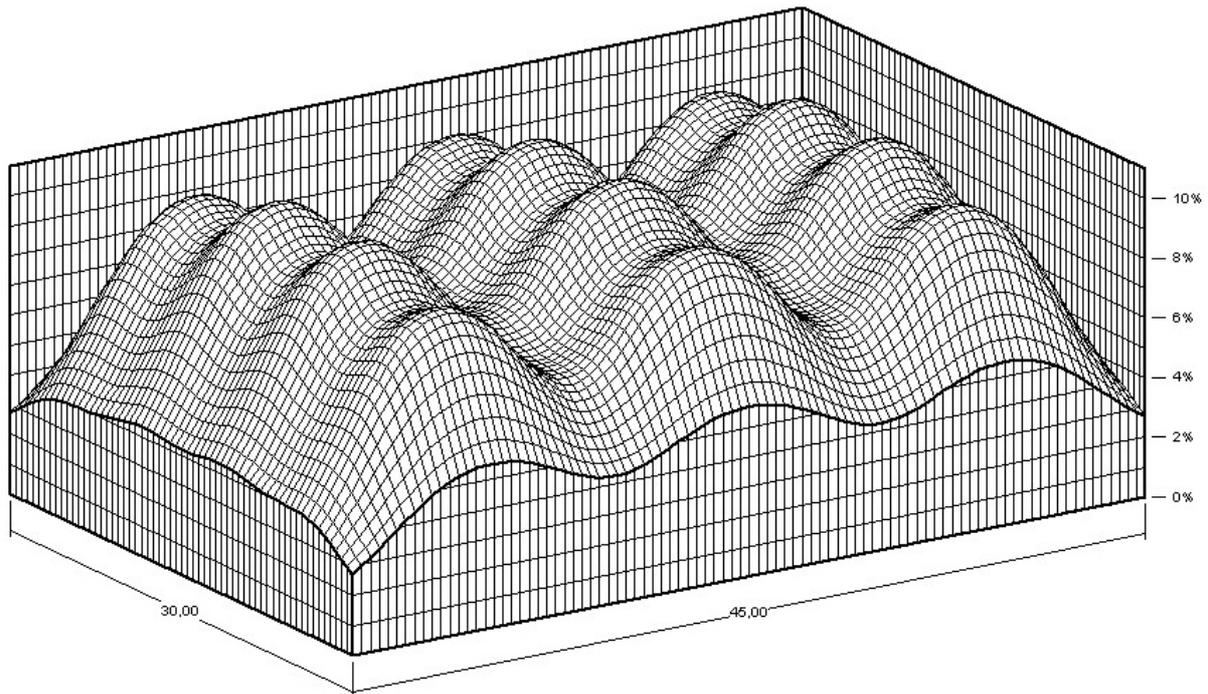


Bild 11: Genaue Verteilung des Tageslichtquotienten D für die Dachoberlichtlösung mit Lichtbändern als 3D-Gebirgedarstellung.

Mittlerer Tageslichtquotienten für Dachoberlichter, ausgeführt als Shedoberlichter

Es gelten folgende Werte für das Verglasungssystem des Lichtbandes

- Lichttransmissionsgrad der Verglasung: $\tau_{D65} = 0,7$
- Minderungsfaktor für Versprossung: $k_{Obl,1} = 0,88$
- Minderungsfaktor für Verschmutzung: $k_{Obl,2} = 0,90$
- Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall: $k_{Obl,3} = 0,85$.

Die Geometrie des Shedoberlichtes weist folgende Kennwerte auf

- Neigung des Shedschenkels mit Verglasung: $\gamma_F = 60^\circ$
- Neigung des Shedschenkels ohne Verglasung: $\gamma_W = 30^\circ$
- Höhe der Fläche in der die Lichteintrittsöffnung liegt: $h_w = 1,5 \text{ m}$
- Höhe (Rohbaumaß) der Lichteintrittsöffnung: $h_g = 1 \text{ m}$
- Breite (Rohbaumaß) der Lichteintrittsöffnung: $b_{RB} = 30 \text{ m}$.

Aus der Geometrie des Lichtbandes und dem zuvor bestimmten Raumindex wird über die Tabelleneingangswerte $h_G/h_W = 0,67$, $\gamma_F = 60^\circ$; $\gamma_W = 30^\circ$ und $k = 2,93$ aus Tabelle 4 der Raumwirkungsgrad η_R zu 0,8 (interpoliert) bestimmt. Der Außentageslichtquotient D_a ergibt sich bei 60° Neigung der Lichteintrittsfläche nach Tabelle 5 zu 0,72. Bei 8 Oberlichtern ergibt sich die gesamte Rohbauöffnung der Lichteintrittsfläche zu $A_{Rb} = 240 \text{ m}^2$. Es ergibt sich somit ein mittlerer Tageslichtquotient

$$\bar{D} = D_a \cdot \tau_{D65} \cdot k_{Obl,1} \cdot k_{Obl,2} \cdot k_{Obl,3} \cdot \frac{\sum A_{Rb}}{A_{RG}} \cdot \eta_R [\%]$$

$$\bar{D} = 72\% \cdot 0,7 \cdot 0,88 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot \frac{240\text{m}^2}{1350\text{m}^2} \cdot 0,8 = 4,83 \%$$

Die Tageslichtversorgung wird gemäß Tabelle 6 mit „mittel“ klassifiziert. Zum Vergleich ist in Bild 12 der vereinfachten Berechnung das Ergebnis einer detaillierten Berechnung mittels des in [9] vorgestellten Berechnungsprogramms gegenübergestellt. Es stellt sich ein mittlerer Tageslichtquotient von 5,0 % ein.

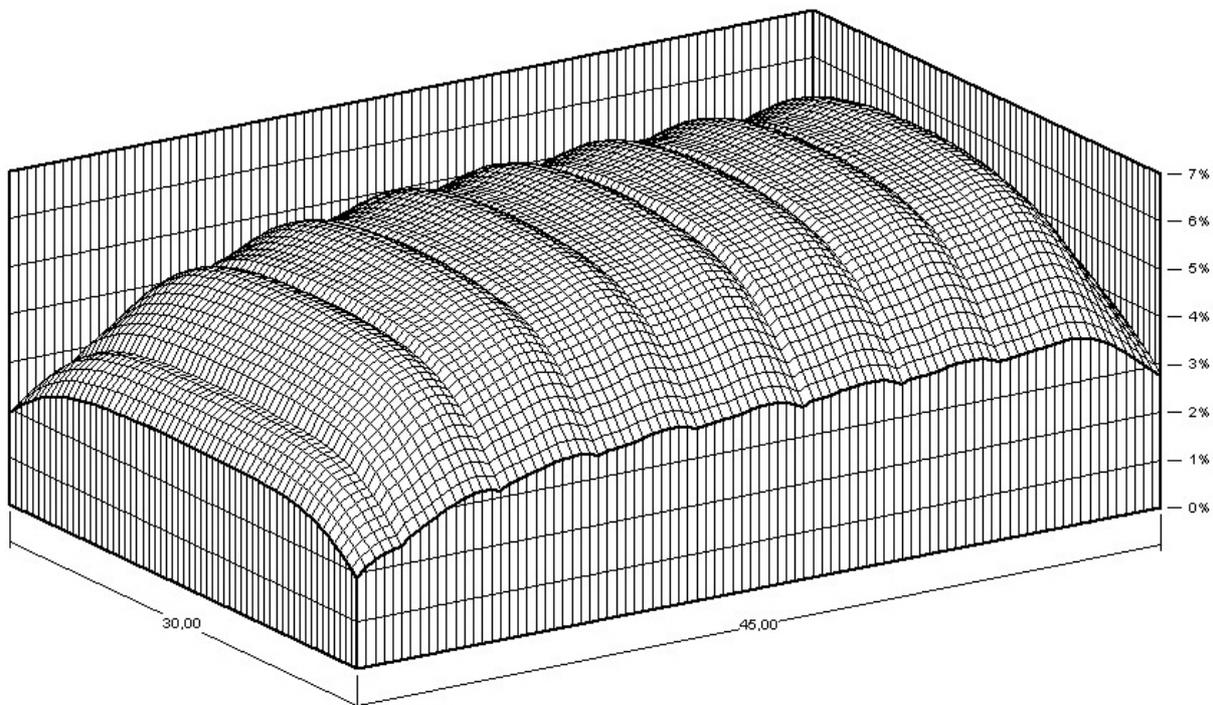


Bild 12: Genaue Verteilung des Tageslichtquotienten D für die Dachoberlichtlösung mit Shedoberlichtern als 3D-Gebirgedarstellung.

Tageslichtversorgungsfaktors $C_{TL,Vers}$ für Dachoberlichter, ausgeführt als Lichtbänder

Aus Tabelle 7 ergibt sich mit den Tabelleneingangswerten, Klassifizierung der Tageslichtversorgung „gut“, Orientierung „horizontal“ und Wartungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ der Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers} = 0,94$.

Tageslichtversorgungsfaktors $C_{TL,Vers}$ für Dachoberlichter, ausgeführt als Shed-Oberlichter

Aus Tabelle 7 ergibt sich mit den Tabelleneingangswerten, Klassifizierung der Tageslichtversorgung „mittel“, Orientierung „Nord“, Neigung 60° und Wartungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ der Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers} = 0,71$.

6.3 Jährlicher und monatlicher Endenergiebedarf Beleuchtung

Jährlicher Endenergiebedarf für Dachoberlichter, ausgeführt als Lichtbänder

Unter Annahme eines tageslichtabhängigen Kontrollsystems wird exemplarisch ein Korrekturfaktor von 0,75 angenommen, der die energetische Effizienz des Beleuchtungskontrollsystems beschreibt, das Kunstlicht an das zur Verfügung stehende Tageslicht, beschrieben durch $C_{TL,Vers} = 0,94$, anzupassen. Hieraus resultiert ein sogenannter Teilbetriebsfaktor Tageslicht zu $F_{TL} = 1 - 0,94 \cdot 0,75 = 0,295$. Es wird von einer Anwesenheit von 100 % zur Betriebszeit ausgegangen, so dass keine Verringerung der effektiven Betriebszeit aufgrund Abwesenheit anzunehmen ist. Es werden folgende jährliche Betriebszeiten angesetzt: $t_{Tag} = 2192 \text{ h}$, $t_{Nacht} = 58 \text{ h}$. Hiermit ergibt sich die effektive Betriebszeit zur Tageszeit zu

$$t_{eff,Tag,TL} = t_{Tag} \cdot F_{TL} = 2192 \text{ h} \cdot 0,295 = 646,6 \text{ h} .$$

Die effektive Betriebszeit zur Nachtzeit ergibt sich zu:

$$t_{eff,Nacht} = t_{Nacht} = 58 \text{ h} .$$

Der jährliche Endenergiebedarf Beleuchtung bestimmt sich somit zu:

$$Q_I = p \cdot [A_{RG} \cdot (t_{\text{eff,Tag,TL}} + t_{\text{eff,Nacht}})] = 11,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} [1350 \text{ m}^2 \cdot (646,6 \text{ h} + 58 \text{ h})] = 11130 \text{ kWh} ,$$

was einem flächenbezogenen Endenergiebedarf von 8,2 kWh/(m²a) entspricht.

Jährlicher Endenergiebedarf für Dachoberlichter, ausgeführt als Shedoberlichter

Analog ergibt sich der jährliche Endenergiebedarf für Beleuchtung für die Dachoberlichtlösung, ausgeführt als Shedoberlichter. Aufgrund der schlechteren Tageslichtversorgung wird ein geringerer Korrekturfaktor zur energetischen Berücksichtigung des Beleuchtungskontrollsystems von 0,73 angenommen. Hieraus resultiert der Teilbetriebsfaktor $F_{TL} = 1 - 0,71 \cdot 0,73 = 0,482$. Somit ergibt sich die effektive Betriebszeit zur Tageszeit zu

$$t_{\text{eff,Tag,TL}} = t_{\text{Tag}} \cdot F_{TL} = 2192 \text{ h} \cdot 0,48 = 1052,12 \text{ h} .$$

Die effektive Betriebszeit zur Nachtzeit ergibt sich zu:

$$t_{\text{eff,Nacht}} = t_{\text{Nacht}} = 58 \text{ h} = 58 \text{ h} .$$

Der jährliche Endenergiebedarf Beleuchtung bestimmt sich somit zu:

$$Q_I = p \cdot [A_{RG} \cdot (t_{\text{eff,Tag,TL}} + t_{\text{eff,Nacht}})] = 11,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} [1350 \text{ m}^2 \cdot (1052,12 \text{ h} + 58 \text{ h})] = 17534 \text{ kWh} ,$$

was einem flächenbezogenen Endenergiebedarf von 13,0 kWh/(m²a) entspricht.

Monatlicher Endenergiebedarfswerte

Über vorgegebene Verteilungsschlüssel werden die auf Jahresbasis bestimmten Teilbetriebsfaktoren F_{TL} auf die monatlichen Bedarfswerte umgerechnet. Das Produkt $C_{TL, \text{Vers}} \cdot C_{TL, \text{Kon}} = 0,70$ wird auf die einzelnen Monate umverteilt. Die flächenbezogenen, monatlichen Endenergiebedarfswerte sind für beide Dachoberlichtlösungen in Bild 13 dargestellt.

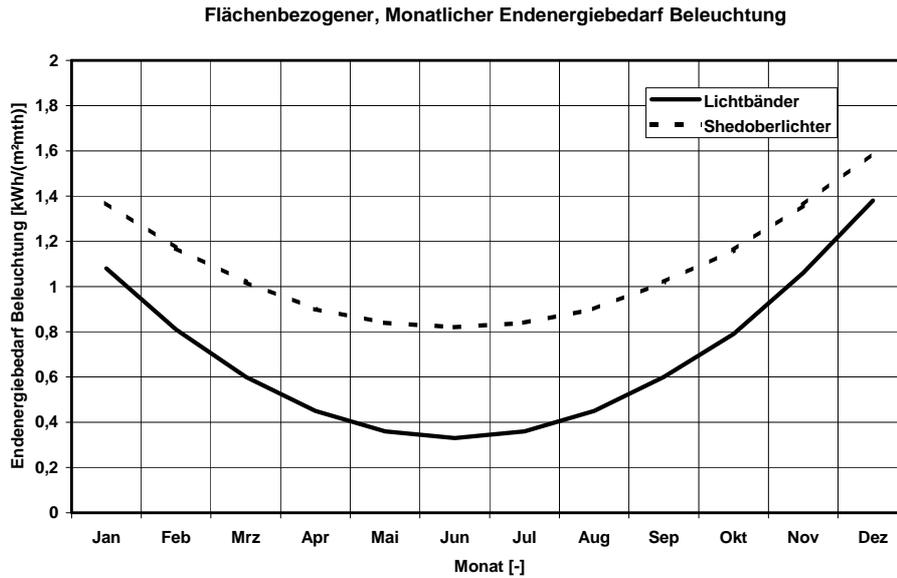


Bild 13: Flächenbezogener, monatlicher Endenergiebedarf für die beiden exemplarisch betrachteten Dachoberlichtlösungen.

7. Zusammenfassung

Das von Rattunde [13] entwickelte und im Rahmen der hier beschriebenen Arbeiten angepasste und erweiterte Verfahren stellt ein leistungsstarkes und einfach handhabbares Verfahren zur Ermittlung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse in Räumen mit Dachoberlichtern dar. Es ist im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten zu einem vereinfachten Verfahren zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtung auf monatlicher und jährlicher Basis erweitert worden. Das Verfahrenskonzept wird zur Integration in den Teil 4 der Normenreihe DIN V 18599 vorgeschlagen und kann somit voraussichtlich zukünftig in dem integralen Planungsansatz der DIN V 18599 zum Einsatz kommen. Die Auswirkungen der tageslichttechnischen Gestaltung von Räumen mit Dachoberlichtern fließen somit zukünftig in die Ermittlung, Bewertung und Optimierung des End- und Primärenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke mit ein. Darüber hinaus werden die Einflüsse der Tageslichtversorgung durch Dachoberlichter im Bilanzanteil Beleuchtung in der Gesamtgebäudeenergiebilanz berücksichtigt und mit den anderen Bilanzanteilen verrechnet werden können.

8. Literatur

- [1] Blümel, K.; Hollan, E.; Kähler, M.; Perter, R.; Jahn, A.: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 86-051 (1986)
- [2] De Boer, J.; Erhorn, H.: Ein einfaches Modell zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung von Innenräumen mit vertikalen Fassaden. *gi Gesundheits-ingenieur* 125 (2004), H. 6, S. 281-295
- [3] DIN 4108, Teil 6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Beuth Verlag, Berlin (2000).
- [4] DIN 5034, Teil 2: Tageslicht in Innenräumen, Grundlagen, Beuth Verlag, Berlin (1985)
- [5] DIN 5034, Teil 3: Tageslicht in Innenräumen, Berechnung. Beuth Verlag, Berlin (1994)
- [6] DIN 5034, Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen. Beuth Verlag, Berlin (1995)
- [7] Dirksmöller, M.; Erhorn, H.: Adeline 3.0 – Dokumentation. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart (1999)
- [8] EU-Richtlinie, Energy Performance of Buildings. Richtlinie 2002/91/EG, Amtsblatt der EU (2002)
- [9] Fischer, U: Oberlichter, Beleuchtung als Geschenk des Himmels. Kleffmann Verlag, Bochum (2003).
- [10] Heibel, B.: Verfahren zur Bestimmung von Kunstlichteinschaltzeiten. Dissertation, Universität Gesamthochschule Kassel (1998)
- [11] LiTG-Publikation Nr. 3.5 - Projektierung von Beleuchtungsanlagen
- [12] Ohne Verfasser, Wie hell ist hell. Esser's kleine Handbuch-Reihe, Herausgeber: Klaus Esser KG, Norf (1970)
- [13] Rattunde, R.: Optimierung der Tageslichtbeleuchtung großer Räume durch Oberlichter unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Tageslichtes. Dissertation Technische Universität Berlin (1980)
- [14] Reglementation Thermique 2000, Annexe N° 1 A L'Arrêté Portant Approbation Des Methodes de Calcul Th-C et Th-E, Methode de Calcul Th-C. CSTB, Paris, Internetseite unter www.rt2000.net (2004)

