

Ein umfassendes Instrumentarium zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke

Die DIN V 18599 Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

Jan de Boer, Sirri Aydinli, Wolfgang Cornelius, Roman Jakobiak,
Peter Krebs, Alexander Rosemann, Paul Schmits¹

1.	Einleitung	2
2.	Gesamtbilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599	4
3.	Energieeffiziente Beleuchtung	5
4.	Zonierung, Aufteilung in Berechnungsbereiche	8
5.	Genereller Verfahrensansatz	10
6.	Kunstlicht – elektrische Bewertungsleistung	14
7.	Tageslicht	18
	7.1 Vertikale Fassaden	18
	7.2 Dachoberlichter	21
8.	Beleuchtungskontrollsysteme	21
9.	Nutzungsprofile	22
10.	Beispiel	23
11.	Umsetzungstechnische Aspekte	25
12.	Zusammenfassung	26
13.	Literatur	26

1

Dr.-Ing. Jan de Boer, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart

Dr.-Ing. Sirri Aydinli, für TU Berlin und FiTlicht

Dipl.-Ing. Wolfgang Cornelius, FVLR, Detmold

Dipl.-Ing. Roman Jakobiak, IBUS, Berlin

Dipl.-Ing. Peter Krebs, Siteco, Traunreut

Dr.-Ing. Alexander Rosemann, University of British Columbia, Vancouver

Prof. Dr.-Ing. Paul Schmits, Semperlux, Berlin

1. Einleitung

In der Beleuchtung von Funktionsgebäuden mittels energieeffizienter Lampen, elektronischer Betriebsgeräte, optimierter Leuchten, innovativer Tageslichtplanung und abgestimmter Beleuchtungskontrollsysteme liegt ein großes energetisches Einsparpotential. Die von der EU-Kommission erlassene Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [11], die bis Anfang 2006 in allen Mitgliedsländern umgesetzt werden muss, soll dieses Potential freisetzen. Die Bewertungsmethode der kommenden Energieeinsparverordnung 2006 soll hierzu – wie in Bild 1 (links) dargestellt – gegenüber der bisher gültigen Energieeinsparverordnung von 2002 erweitert werden, um die bisher nicht berücksichtigten Energieaufwendungen für Gebäudeklimatisierung und Beleuchtung primärenergetisch denen der Beheizung gegenüber zu stellen. Der Energiebedarf für Beleuchtung ist daher zukünftig für Bauanträge im Bereich des Nichtwohnungsbaus auszuweisen. In einem exemplarisch in Bild 2 dargestellten sogenannten Energiepass soll der Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung zudem den energetischen Standard einer Immobilie dokumentieren. Energiepässe sind bei der Neuerrichtung aber auch im Bestand bei der Veräußerung oder der Neuvermietung von Gebäuden zu erstellen.

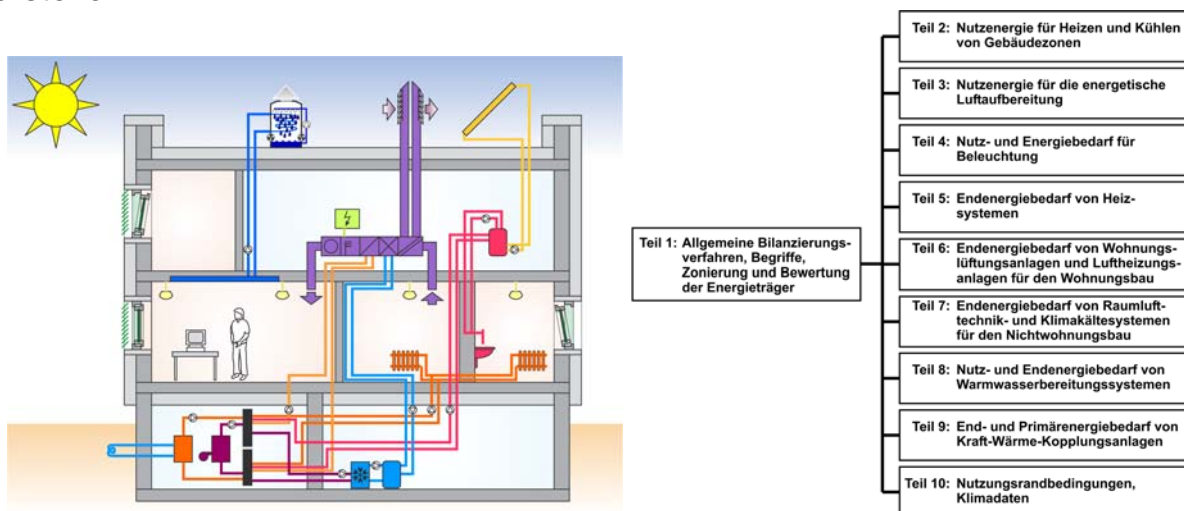


Bild 1: Umfang und Struktur der Vornormenreihe DIN V 18599.

Die Verordnung selbst soll auf eine neu entwickelte technische Regelsetzung Bezug nehmen. In dem gemeinsamen Normungsausschuss des NABau,

NHRS und FNL, „NABau 00.82.00 Energetische Bewertung von Gebäuden“ wurde zur nationalen Umsetzung der EU-Richtlinie die Normenreihe DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ [6] - wie in Bild 1 (rechts) dargestellt – entwickelt. Der Teil 4 „Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“ [9] berücksichtigt den Beleuchtungsenergiebedarf.

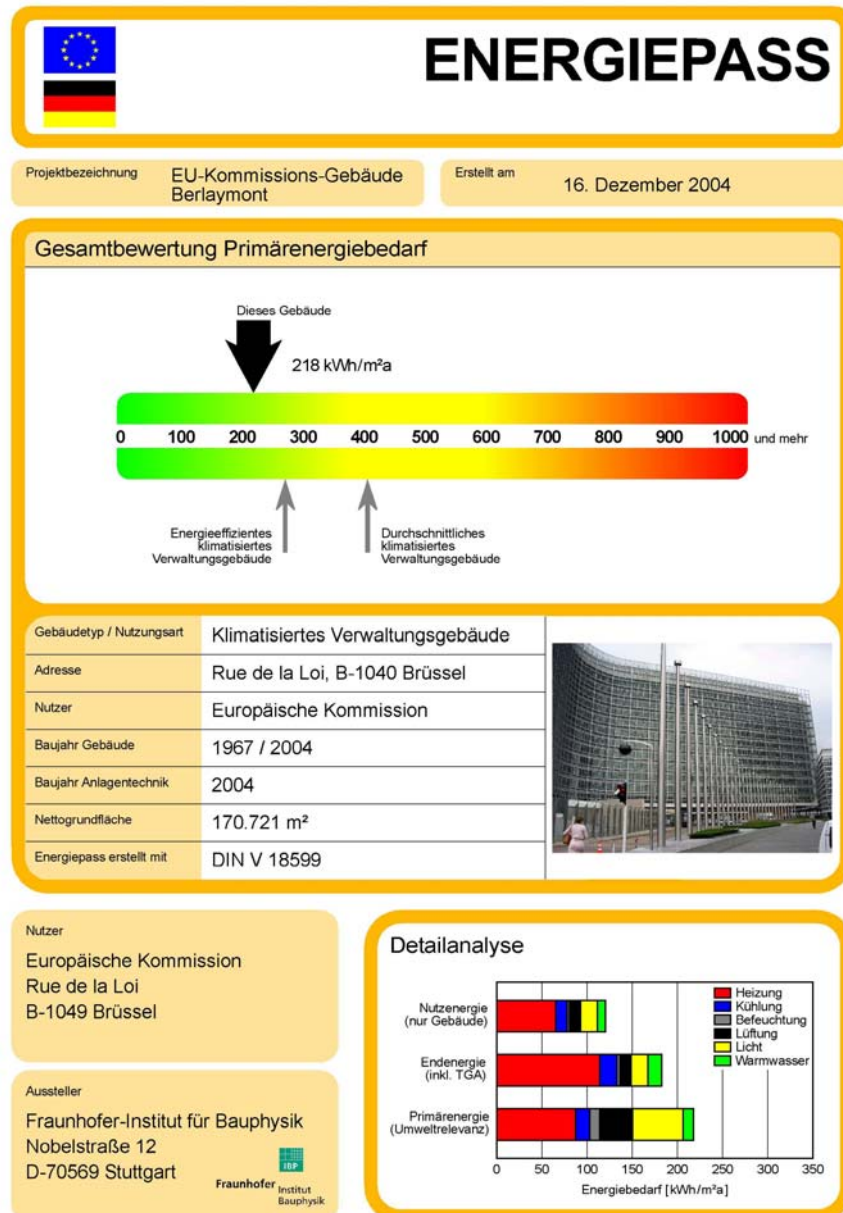


Bild 2: Beispielhafter Energiepass. Die Analyse wurde auf Grundlage der DIN V 18599 durchgeführt.

Die energetisch zu berücksichtigenden Einflüsse bei der Beleuchtung umfassen die installierte Anschlussleistung des Beleuchtungssystems, die Tageslichtversorgung, Beleuchtungskontrollsysteme und Nutzungsanforderungen. Der Geltungsbereich umfasst ausschließlich die Beleuchtung zur Erfüllung der Sehaufgabe; dekorative Beleuchtung wird nicht berücksichtigt. In Ermangelung geeigneter Bewertungsmodelle wurde in einer Arbeitsgruppe des Normungsausschusses NaBau 00.82.00 unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik mit der Technischen Universität Berlin, dem Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e.V. (FVLR e.V.), dem Zentralverband der Elektroindustrie (ZVEI), der Fördergemeinschaft innovative Tageslichtnutzung e.V. (FiTLicht e.V.) und den Firmen Siteco, Semperlux und IBUS das hier beschriebene Verfahren vollständig neu entwickelt.

Im folgenden wird der generelle, gesamtenergetische Verfahrensansatz der Normenreihe DIN V 18599 kurz dargelegt. Es folgt die Beschreibung ausgewählter Merkmale energieeffizienter Beleuchtung. Aspekte der erforderlichen Einteilung von Gebäuden in Berechnungszonen werden erörtert, um darauf aufbauend die Struktur des Verfahrens zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke vorzustellen. Insbesondere wird sodann auf die Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung und das entwickelte Modell zur vereinfachten Bestimmung des Einflusses der Tageslichtversorgung auf den Energiebedarf eingegangen. Eine Erläuterung des Einflusses von Beleuchtungskontrolleinrichtungen auf die Ermittlung des Energiebedarfs rundet die eigentliche verfahrenstechnischen Erörterungen ab. Ein einfaches Beispiel zeigt die Verfahrensanwendung. Die Diskussion einiger umsetzungstechnische Aspekte schließt die Darstellung ab.

2. Gesamtbilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599

Die Normenreihe DIN V 18599 stellt eine Methode zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dar. Als integrales Planungswerkzeug kann sie zur Erschließung weiterer bisher ungenutzter Energieeinsparpotentiale genutzt werden. Sie ermöglicht die Verrechnung der einzelnen Gewerke (Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung) untereinander. Die gegenseitige Beeinflussung von

Energieströmen wird im Verfahren abgebildet und kann somit optimiert werden.

Die künstliche Beleuchtung wirkt als Wärmequelle in der thermischen Raumbilanz. Die Wärmegewinne fließen auf monatlicher Basis in das in DIN V 18599-2 „Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen“ [8] beschriebene thermische Raummodell ein. Im Winter werden sie zur Herabsetzung des Heizwärmebedarfs nutzbar; im Sommer können sie dagegen die Überwärmungsgefahr vergrößern.

3. Energieeffiziente Beleuchtung

Der jährliche Stromverbrauch für Beleuchtungszwecke in Deutschland liegt bei etwa 50 TWh und damit, wie Bild 3 zu entnehmen ist, bei knapp 10% des Gesamtstromverbrauchs. Im gewerblichen Bereich liegt dieser Anteil bei über 20%. Das große Einsparpotential durch den Einsatz energieeffizienter Techniken lässt sich erahnen. Minderungen des Energiebedarfs können durch energieeffiziente künstliche Beleuchtungssysteme und durch gezielte Tageslichtnutzung realisiert werden.

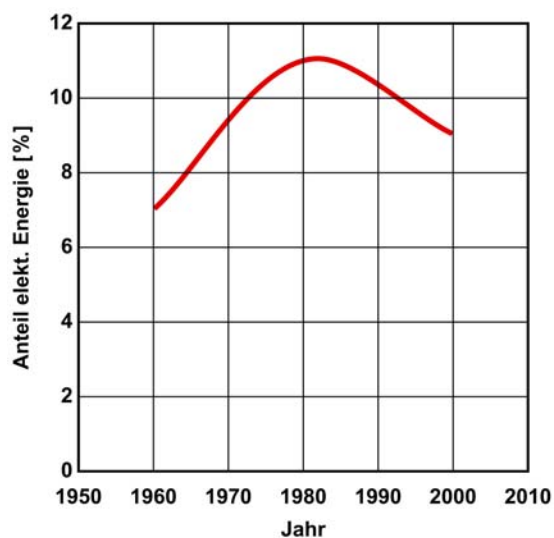


Bild 3: Anteil der Beleuchtung am Gesamtstromverbrauch in Deutschland (Quelle ZVEI).

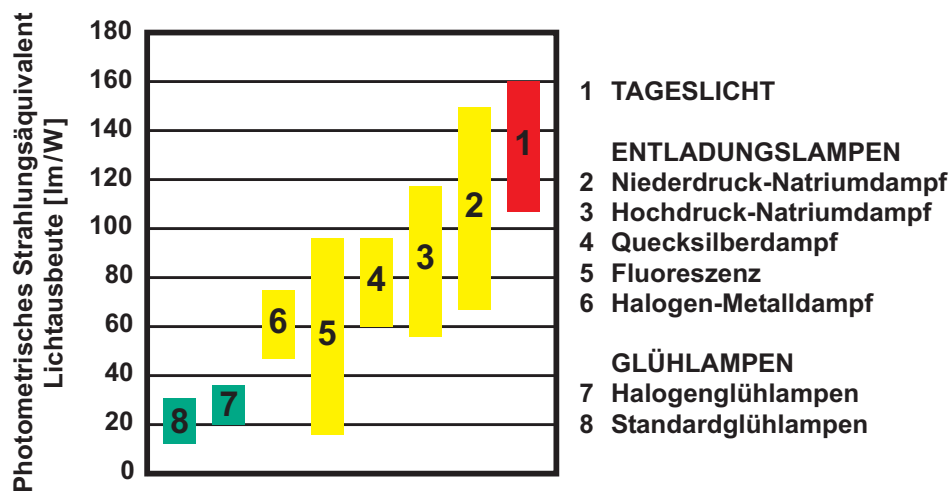


Bild 4: Photometrisches Strahlungsäquivalent von Tageslicht und Lichtausbeuten unterschiedlicher Lampentypen.

Energieeffiziente künstliche Beleuchtungssysteme

Die Energieeffizienz künstlicher Beleuchtungssysteme hängt neben dem Einfluss von Raumparametern wie Raumgeometrie (in der Lichtplanung zumeist nur bedingt zu beeinflussen) und Reflexionsgraden der Raumschließungsflächen von der Wahl der Beleuchtungsart und der Wahl der eigentlichen Beleuchtungstechnik ab. Stellt sich die Beleuchtungsart „Direkt“ gegenüber der Beleuchtungsart „Direkt-/Indirekt“ energetisch zumeist nur geringfügig besser dar, sind bei reinen indirekten Beleuchtungslösungen erheblich höhere Anschlussleistungen erforderlich. Bezüglich der Wahl der eigentlichen Beleuchtungstechnik kann Energieeffizienz durch den Einsatz von Lampen mit hohen Lichtausbeuten, Leuchten mit hohen Leuchtenbetriebswirkungsgraden und den Einsatz geeigneter Betriebsgeräte erreicht werden. Wie in Bild 4 dargestellt, erreichen im Bürobereich gängige stabförmige Leuchtstofflampen Lichtausbeuten bis etwa 90 lm/W. Ebenfalls häufig zum Einsatz kommende Kompaktleuchtstofflampen weisen vergleichsweise etwas geringere Lichtausbeuten auf, sind energetisch aber noch immer ca. 4 - mal effizienter als für Vergleichszwecke einsetzbare Halogenglühlampen. Hochreflektierende Materialien unterstützen durch Verminderung von Reflexionsverlusten die Entwicklung energieeffizienter Leuchten. Der Einsatz energiesparender Vorschaltgeräte ermöglicht eine weitere Herabsetzung der Energieverluste. So wird der Einsatz konventioneller Vorschaltgeräte (KVGs), die generell hohe Energieverluste

aufweisen, bei Neuinstallationen innerhalb der EU ab November 2005 verboten sein. Der Austausch bestehender zumeist mit KVGs bestückter Installationen gegen Anlagen mit verlustarmen VVGs oder elektronischen VVGs (EVGs) verspricht über diesen Zeitpunkt hinausgehend eine erhebliche Reduktion des Energiebedarfs. Differenziert zwischen EVG und VVG, gestatten EVGs gegenüber VVGs eine weitere Herabsetzung der Energieverluste bei gängigen Installation von etwa 15%.

Es ist bei der planungstechnischen Umsetzung ausdrücklich die Einhaltung sämtlicher Anforderungen an die Beleuchtung, manifestiert in der gültigen Normung, DIN EN 12464-1 [5], zu beachten: Eine energieeffiziente Beleuchtung kann und darf nicht durch eine Absenkung der Lichtqualität erkauft werden.

Tageslichtnutzung

Ausreichendes Tageslicht im Außenbereich steht, wie Bild 5 zu entnehmen ist, zu den normalen Nutzungszeiten von Verwaltungsbauten (ca. 8° Uhr - 18° Uhr) zu etwa 93% (bezogen auf einen Jahreszeitraum) zur Verfügung. Bei günstiger Außenraumsituation (geringe Verbauung) und einer optimierten Fassadenplanung kann beispielsweise in normalen Büroraumsituationen (Wartungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$) bis etwa 85 % der am Arbeitsplatz erforderlichen Belichtung durch Tageslicht zur Verfügung gestellt werden. Wird dieses Potential durch entsprechende Beleuchtungskontrollsysteme (z.B. tageslichtabhängige Konstantlichtregelungen) auch erschlossen, sind nur noch etwa 15 % der erforderlichen Belichtung durch das künstliche Beleuchtungssystem bereitzustellen.

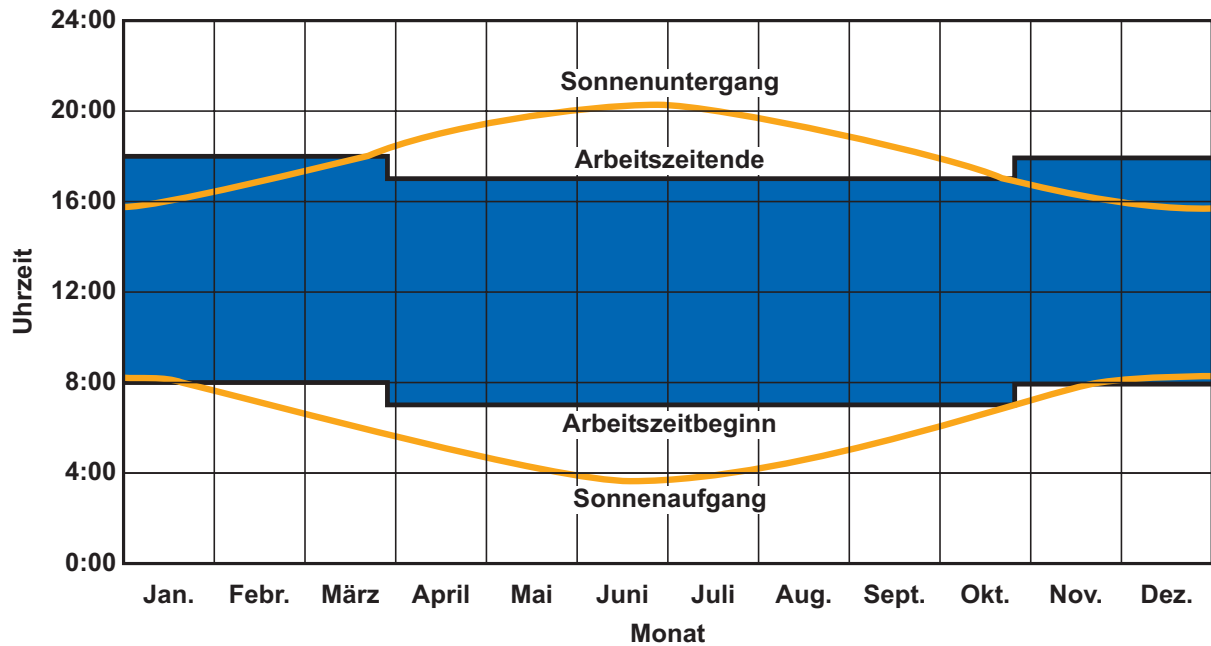


Bild 5: Ausreichendes Tageslichtangebot im Außenbereich im Verhältnis zu normalen Büronutzungszeiten.

4. Zonierung, Aufteilung in Berechnungsbereiche

Vor einer energetischen Bewertung ist ein Gebäudekörper in Bereiche gleicher Randbedingungen zu zonieren. DIN V 18599-1 [7] beschreibt eine Zone wie folgt: „Eine Zone umfasst den Grundflächenanteil bzw. die Räume eines Gebäudes, der / die durch einheitliche Nutzungsrandbedingungen (Temperatur, Belüftung, Beleuchtung) gekennzeichnet ist bzw. sind.“ Sämtliche Standardnutzungsrandbedingungen, die als Zonenteilungskriterien anzusetzen sind, sind in DIN V 18599-10 [10] zusammengestellt. Die beispielhafte Zonierung eines Regelgrundrisses ist Bild 6 zu entnehmen. Räume gleicher Nutzung werden hierbei jeweils zu einer Zone zusammengefasst. Bei der Bewertung von Büros kann beispielsweise mit Typräumen gearbeitet werden, oder aber es können die Seitenwände übermessen werden.

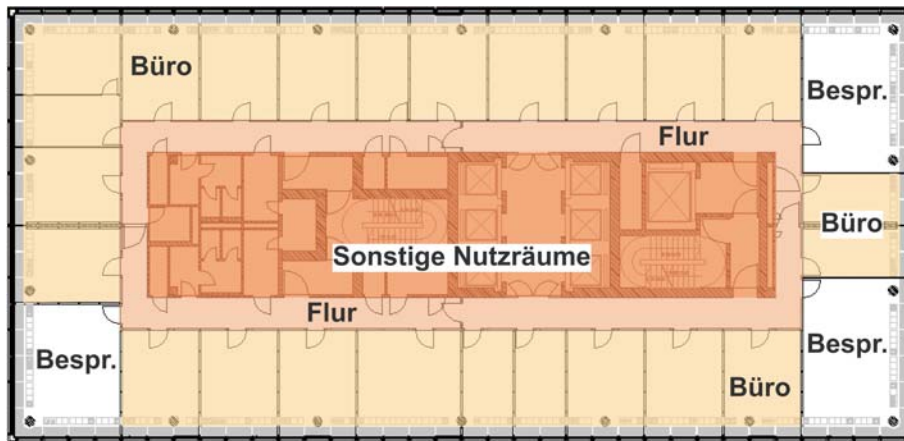


Bild 6: Beispielhafte Zonierung eines Geschosses eines Verwaltungsbaus.

Weichen nicht in den Nutzungsrandbedingungen aufgeführte Randbedingungen eines Teilverfahrens, wie z.B. bei der Beleuchtung die lichttechnischen Fassadeneigenschaften, in einer Zone voneinander ab, kann eine weitere Unterteilung in sogenannte Berechnungsbereiche erforderlich werden. Zusätzlich ist in Berechnungsbereichen, die von Tageslicht profitieren, der tageslichtversorgte Bereich zu ermitteln. Die maximal tageslichtversorgte Tiefe $a_{TL,max}$ beträgt hierbei, wie in Bild 7 illustriert, das zweieinhalbfache der Differenz aus Sturzhöhe und Nutzebene.

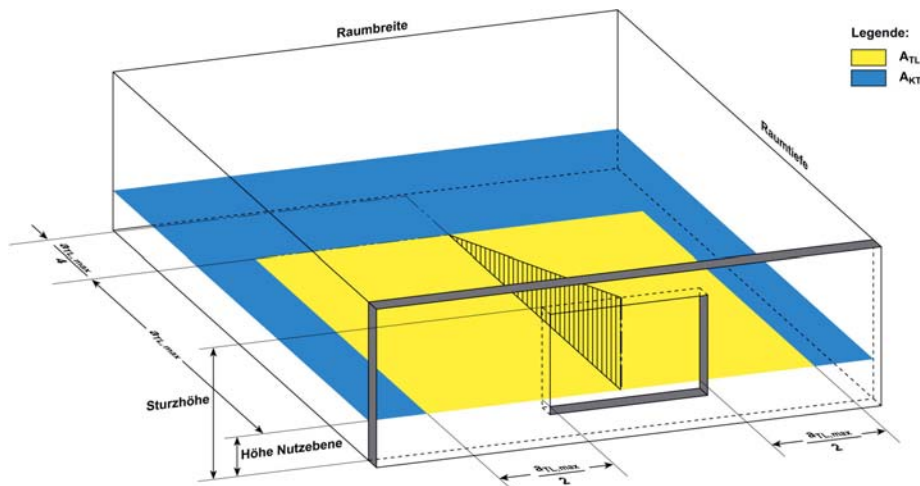


Bild 7: Der Flächenanteil A_{TL} der Nutzebene, der vom Tageslicht profitiert, wird in Abhängigkeit der Fassadenparameter bestimmt.

5. Genereller Verfahrensansatz

Das Verfahren berücksichtigt gemäß Bild 8 die unterschiedlichen Einflussgrößen, die den Energiebedarf für Beleuchtungszwecke bestimmen:

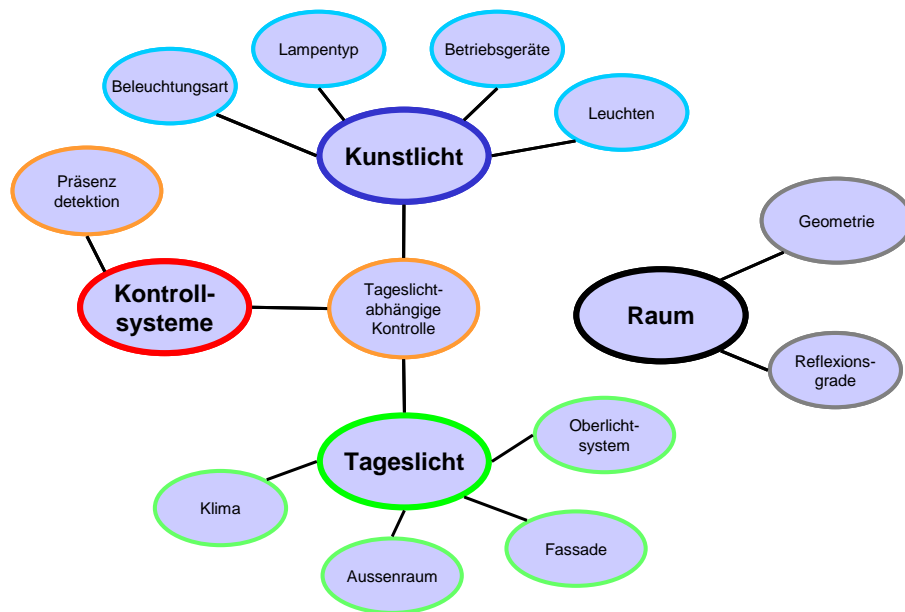


Bild 8: Einflussgrößen auf den Energiebedarf Beleuchtung.

Der generelle Ansatz geht von der in einem Zeitintervall umgesetzten elektrischen Energie bei zeitlich veränderlicher Leistung $p(t)$ aus:

$$Q_I = \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot A \cdot dt \quad (1)$$

Q_I Nutzenergiebedarf Beleuchtung im betrachteten Berechnungsbereich, entspricht bei der Beleuchtung zugleich dem Endenergiebedarf [kWh/a].

A Fläche des Berechnungsbereichs [m²].

$p(t)$ variiert beispielsweise über den Tag durch das Schaltverhalten der Nutzer oder aber aufgrund elektronischer Kontrolleinrichtungen (z.B. tageslichtabhängige Beleuchtungskontrollsysteme).

Vereinfacht kann der Energiebedarf Q_I in einem betrachteten Gebäudebereich auch als Produkt aus der auf die Fläche bezogenen elektrischen

Anschlussleistung p , der Fläche des Berechnungsbereichs A und einer effektiven Betriebszeit der Kunstlichtanlage t_{eff} aufgefasst werden:

$$Q_1 = p \cdot A \cdot t_{\text{eff}}. \quad (2)$$

p flächenbezogene, elektrische Bewertungsleistung (Anschlussleistung) des Berechnungsbereiches.

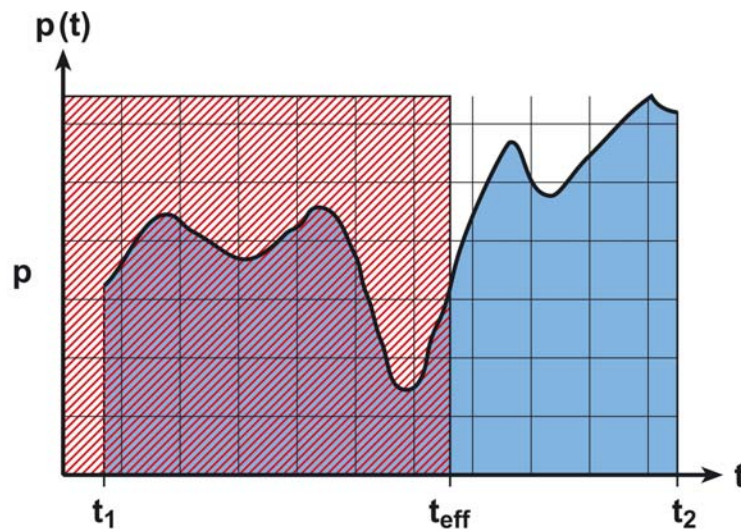


Bild 9: Übergang zu einer vereinfachten Beschreibung des Energiebedarfs durch Gewichtung der elektrischen Anschlussleistung p mit einer äquivalenten Zeit t_{eff} .

Bild 9 verdeutlicht exemplarisch den Schritt von der integralen Methode nach Gleichung (1) zu der vereinfachten Form nach Gleichung (2). Die schraffierte rote Fläche weist denselben Flächeninhalt auf, wie die blaue Fläche, die den zeitlichen Verlauf der aufgenommenen Leistung repräsentiert. Auf diese Weise kann der Energiebedarfs durch eine Multiplikation der maximalen Anschlussleistung mit effektiven Zeiten ermittelt werden. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in einer einfachen Betrachtung des künstlichen Beleuchtungssystems. Es muss lediglich die flächenbezogene installierte elektrische Anschlussleistung p ermittelt werden. Die effektive Betriebszeit t_{eff} berücksichtigt den Einfluss des Tageslichtes und der Präsenzerfassung auf den Energiebedarf.

Da im Nachweisverfahren mit Näherungen und teilweise gemittelten Werten gearbeitet wird (vgl. Ziffer 6), können reale elektrische Anschlussleistungen

gegenüber denen im Verfahren der DIN V 18599-4 ermittelten Anschlussleistungen sowohl nach oben als auch nach unten abweichen. Um eine somit indirekte planerische Festlegung auf bestimmte elektrische Anschlussleistungen zu vermeiden, ist diese als „elektrische Bewertungsleistung“ im Sinne des Nachweisverfahrens DIN V 18599 Teil 4 aufzufassen. Das Nachweisverfahren stellt kein Auslegungsverfahren zum Zwecke der Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung beispielsweise zur Auslegung der Elektroinstallation dar. Eine analoge Vorgehensweise wird seit Jahren bei der Lastermittlung in der Heizungs- und Kältetechnik verfolgt.

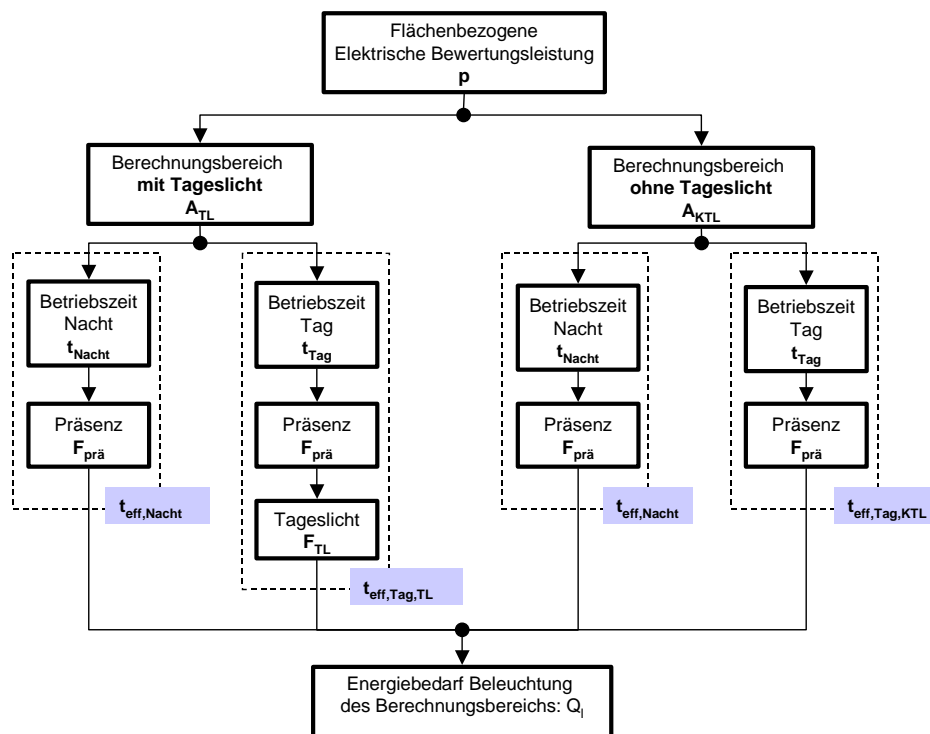


Bild 10: Ablaufdiagramm zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtung für einen Berechnungsbereich.

Der Energiebedarf für einen betrachteten Berechnungsbereich ergibt sich gemäß Bild 10 zu:

$$Q_i = p \cdot [A_{TL} \cdot (t_{\text{eff,Tag,TL}} + t_{\text{eff,Nacht}}) + A_{KTL} \cdot (t_{\text{eff,Tag,KTL}} + t_{\text{eff,Nacht}})], \quad (3)$$

wobei für die Gesamtfläche der Zone

$$A = A_{TL} + A_{KTL} \quad (4)$$

gilt. Hierin bedeuten:

A_{TL}	Teilfläche des Berechnungsbereiches, der mit Tageslicht versorgt ist,
A_{KTL}	Teilfläche des Berechnungsbereiches, der nicht mit Tageslicht versorgt ist,
$t_{eff,Tag,TL}$	Effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im tageslichtversorgten Bereich zur Tagzeit,
$t_{eff,Tag,KTL}$	Effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im nicht tageslichtversorgten Bereich zur Tagzeit,
$t_{eff,Nacht}$	Effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems in dem Berechnungsbereich zur Nachtzeit.

Die effektive Betriebszeit im tageslichtversorgten Bereich zur Tagzeit ergibt sich zu:

$$t_{eff,Tag,TL} = t_{Tag} \cdot F_{TL} \cdot F_{Prä} \cdot \quad (5)$$

Die effektive Betriebszeit im nicht tageslichtversorgten Bereich zur Tagzeit ergibt sich zu:

$$t_{eff,Tag,KTL} = t_{Tag} \cdot F_{Prä} \cdot \quad (6)$$

Dabei sind

t_{Tag}	Betriebszeit zur Tageszeit,
F_{TL}	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung,
$F_{Prä}$	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz.

Die effektive Betriebszeit zur Nachtzeit ergibt sich zu:

$$t_{eff,Nacht} = t_{Nacht} \cdot F_{Prä} \cdot \quad (7)$$

Dabei ist

t_{Nacht}	Betriebszeit zur Nachtzeit.
-------------	-----------------------------

Auf die Teilbetriebsfaktoren zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung F_{TL} und der Präsenz $F_{Prä}$ wird näher unter Ziffer 8 eingegangen.

6. Kunstlicht – elektrische Bewertungsleistung

Der elektrischen Bewertungsleistung kommt in dem Verfahren eine zentrale Bedeutung zu. Sie skaliert direkt linear den Endenergiebedarf Beleuchtung. Grundlage der Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistung nach den Verfahren in DIN V 18599-4 ist die Einhaltung der Anforderungen an die Beleuchtung nach DIN EN 12464-1.

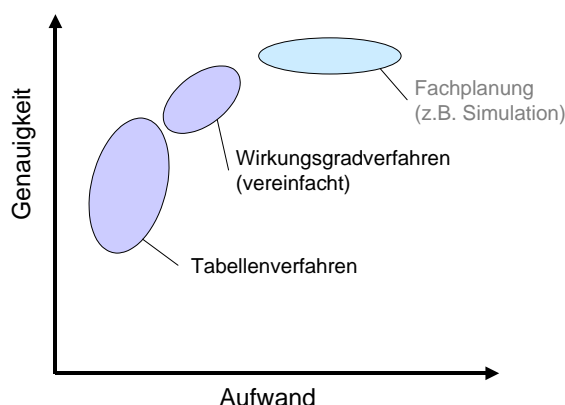


Bild 11: Einordnung der Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung.

Die Möglichkeiten zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung einer Kunstlichtbeleuchtungsanlage nach DIN V 18599-4 sind in Bild 11 dargestellt. In der frühen Entwurfsphase wird voraussichtlich zumeist das einfache Tabellenverfahren [15] zur Anwendung kommen. Genauere Ermittlungen der elektrischen Bewertungsleistung können neben einer detaillierten Fachplanung darüber hinaus mit Hilfe eines vereinfachten Wirkungsgradverfahrens [13], einem eingeführten Verfahren zur genäherten Auslegung künstlicher Beleuchtungsanlagen, durchgeführt werden.



Bild 12: Die DIN V 18599-4 unterscheidet im einfachen Tabellenverfahren die Beleuchtungsarten „Direkt“, „Direkt/Indirekt“ und „Indirekt“.

Verfahrensparameter des Tabellenverfahrens sind:

- Beleuchtungsart: wie in Bild 12 dargestellt.
- Vorschaltgeräteart: KVG², VVG, EVG.
- Wartungswert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m : abhängig von der jeweiligen Nutzung, dokumentiert in DIN V 18599-10 (siehe auch Ziffer 9) auf Grundlage der DIN EN 12464-1.
- Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe: Ungleich der vormaligen Definition der Nennbeleuchtungsstärke nach DIN 5035 liegen nach DIN EN 12464-1 Anforderungen an die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke lediglich für den Bereich der Sehaufgabe und den unmittelbaren Umgebungsbereich vor. Somit verringert sich je nach Flächenanteil der beiden Bereiche die geforderte mittlere Beleuchtungsstärke auf einen mit den zugeordneten Flächenanteilen gewichteten Mittelwert. Hierdurch sinkt auch die mittlere elektrische Bewertungsleistung in dem betrachteten Berechnungsbereich.
- Raumgeometrie: Bei schmalen, engen Räumen wie Fluren ist aufgrund der relativ höherer Absorption des von den Leuchten ausgehenden

² Konventionelle Vorschaltgeräte (KVGs) sind ab November 2005 in der EU verboten. Sie werden zum Zwecke der Bewertung von Beleuchtungsinstallationen im Bestand in der DIN V 18599-4 mit aufgeführt.

Lichtstroms an den Raumumschließungsflächen der auf der Nutzebene nutzbare Lichtstrom geringer als bei ausgedehnten Räumen wie Großraumbüros oder Hallen. Ausgedehnte Räume sind somit energieeffizienter zu beleuchten. Dieser Einfluss wird über einen Anpassungsfaktor berücksichtigt, der von der Beleuchtungsart und dem Raumindex k abhängt.

Das einfache Tabellenverfahren geht von einem Wartungsfaktor von 0,67 aus. Die zugrundeliegende Reflektionsgradkombination (Boden, Wände, Decke) beträgt $\rho_B = 20\%$, $\rho_W = 50\%$ und $\rho_D = 70\%$. Bild 13 sind exemplarisch die nach dem einfachen Tabellenverfahren ermittelten elektrischen Bewertungsleistungen für die Beleuchtungsart „direkt/indirekt“ für unterschiedliche Beleuchtungssysteme als Funktion der Raumgeometrie, beschrieben durch den Raumindex

$$k = \frac{\text{Raumtiefe} * \text{Raumbreite}}{(\text{Leuchtenebenenhöhe} - \text{Nutzebenenhöhe}) * (\text{Raumtiefe} + \text{Raumbreite})}$$

zu entnehmen.

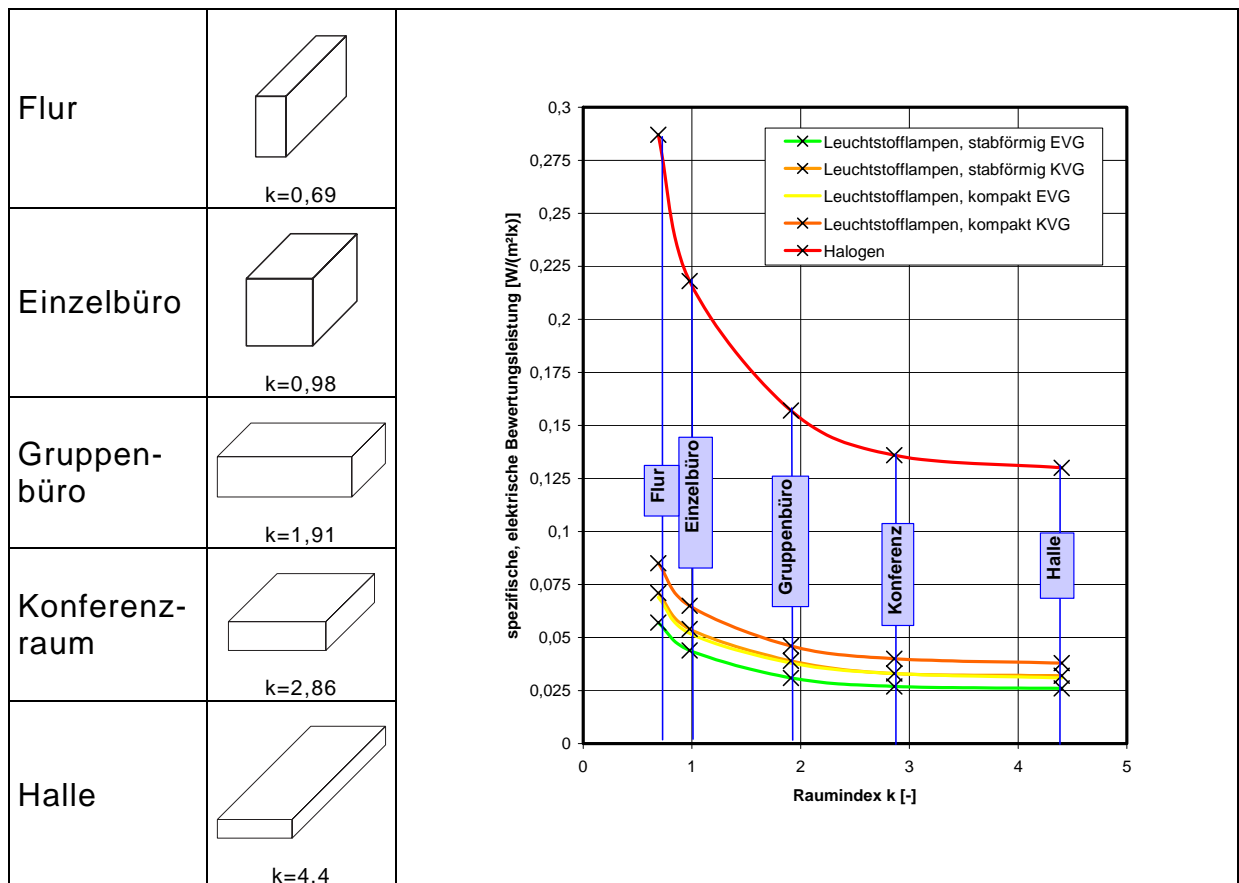


Bild 13: Elektrische Bewertungsleistungen nach dem Tabellenverfahren für die Beleuchtungsart „direkt / indirekt“ für unterschiedliche Beleuchtungslösungen in Abhängigkeit der beispielhaft links angegebenen Relationen der Raumgeometrie parametrisiert über den Raumindex k.

Im informativen Anhang der DIN V 18599-4 ist eine beispielhafte Sammlung von 12 Beleuchtungslösungen enthalten, die Anregung gibt, wie bei der Planung einer Beleuchtungsanlage spezifische Gegebenheiten aufgrund unterschiedlicher Raumkonzepte berücksichtigt werden können. Visualisierungen vermitteln einen Eindruck, welche Lichtwirkungen erzielt werden. Die qualitativen Beleuchtungslösungen sind jeweils kurz beschrieben. Die flächenbezogenen elektrischen Bewertungsleistungen werden basierend auf dem einfachen Tabellenverfahren ermittelt und den elektrischen Anschlussleistungen, die mit Hilfe von Fachplanungen ermittelt wurden, gegenübergestellt.

7. Tageslicht

Eine effiziente Tageslichtnutzung kann dazu beitragen, den Kunstlichteinsatz und damit den Energiebedarf für Beleuchtungszwecke signifikant zu reduzieren. Die Tageslichtversorgung eines Gebäudes hängt von dem im Außenraum zur Verfügung stehenden Tageslicht, von den baulichen Verhältnissen im Außenraum, der Orientierung und den Fassaden- und Raumparametern ab. Der Einfluss der Tageslichtversorgung auf den Beleuchtungsenergiebedarf kann mit dem Verfahren auf monatlicher und jährlicher Basis für vertikale Fassaden und Dachoberlichter ermittelt werden. Die energetische Erschließung des Tageslichtangebots geht mit denen unter Ziffer 8 beschriebenen Beleuchtungskontrollsystemen einher.

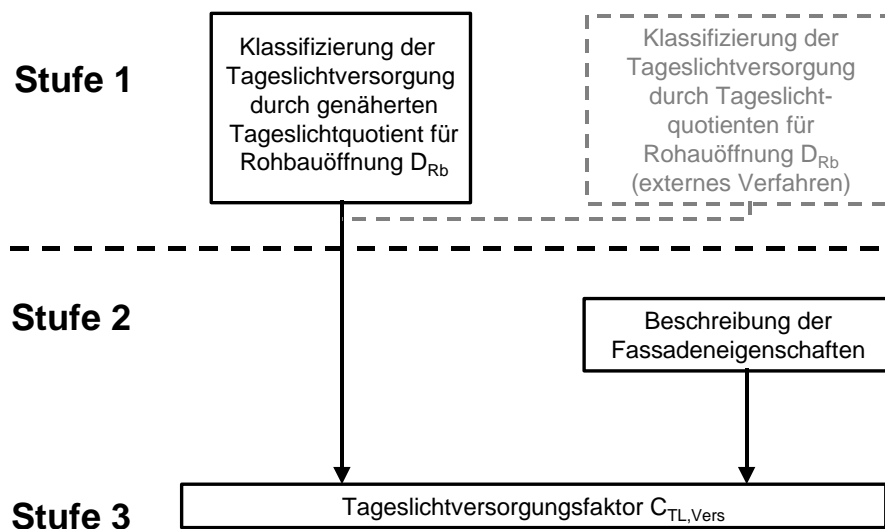


Bild 14: Dreistufiger Verfahrensansatz zur Ermittlung des Tageslichtversorgungsfaktors $C_{TL,Vers}$.

7.1 Vertikale Fassaden

Das Verfahren erfordert für den ermittelten tageslichtversorgten Bereich (vergleiche Ziffer 4) die drei in Bild 14 dargestellten Schritte:

1. Klassifizierung der Tageslichtversorgung in Abhängigkeit der baulichen Parameter Verbauung im Außenraum, Fassaden- und Raumparameter durch den Tageslichtquotienten, wie in Bild 15 dargestellt. Das Verfahren in DIN V 18599 Teil 4 bietet ein einfaches Näherungsmodell zur Ermittlung des Tageslichtquotienten [2], so dass im allgemeinen auf den Einsatz komplexerer Berechnungswerkzeuge wie [3] verzichtet

werden kann. Diese können jedoch wo z. B. Sondergeometrien zu bewerten sind, eingesetzt werden.

2. Beschreibung der Fassadeneigenschaften: Das Fassadensystem wird in Abhängigkeit des jeweiligen Fassadenzustandes (Sonnenschutz aktiviert, Sonnenschutz nicht aktiviert) bewertet. Die einfließenden Parameter sind der effektive Transmissionsgrad der Verglasung (Transmissionsgrad der Verglasung gewichtet mit Abminderungsfaktoren für Versprossung, Verschmutzung und nicht senkrechten Lichteinfall) und die Ausbildung des Sonnen- bzw. Blendschutzes. Innovativere lichtlenkende Systeme finden ebenfalls Berücksichtigung.
3. Ermittlung des Tageslichtanteils $C_{TL,Vers}$ an der erforderlichen Belichtung in Abhängigkeit der Klassifizierung der Tageslichtversorgung durch den Tageslichtquotienten, des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke und der Fassadensystemparameter.

Bild 16 illustriert das dreistufige Verfahren zur Bewertung des Einflusses der Tageslichtversorgung. Ein ideales Beleuchtungskontrollsystem vorausgesetzt, können in dem Beispiel 67 % der erforderlichen Belichtung durch Tageslicht bereitgestellt werden.

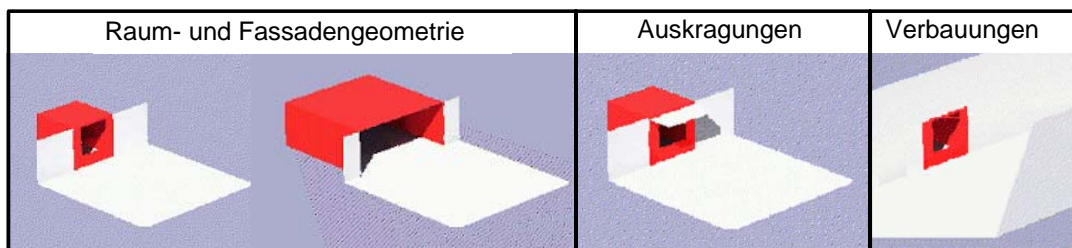


Bild 15: Bauliche Einflüsse, die im Tageslichtquotienten Berücksichtigung finden.

Stufe 1 Tageslichtquotient D_{RB}

Fläche Rohbauöffnung	$A_{RB} = 5 \text{ m}^2$
Fläche Tageslichtbereich	$A_{TL} = 25 \text{ m}^2$
Tiefe Tageslichtbereich	$a_{TL} = 4,6 \text{ m}$
Sturzhöhe	$h_{ST} = 2,8 \text{ m}$
Höhe Nutzebene	$h_{Ne} = 0,8 \text{ m}$

Raumtiefenindex:
 $I_{Tr} = a_{TL} / (h_{ST} - h_{Ne}) = 4,6 \text{ m} / (2,8 \text{ m} - 0,8 \text{ m}) = 2,3$
 Transparenzindex:
 $I_{Tr} = A_{RB} / A_{TL} = 5 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2 = 0,2$
 Tageslichtquotient für Rohbauöffnung:
 $D_{RB} = 4,13 + 20 I_{TR} - 1,36 I_{RT} = 5\%$

Stufe 2 Fassadeneigenschaften



Wärmeschutzverglasung $\tau_{D65} = 0,74$
 Minderung Verspattung $k_1 = 0,7$
 Minderung Verschmutzung $k_2 = 0,9$
 Diffuser Lichteinfall $k_3 = 0,85$

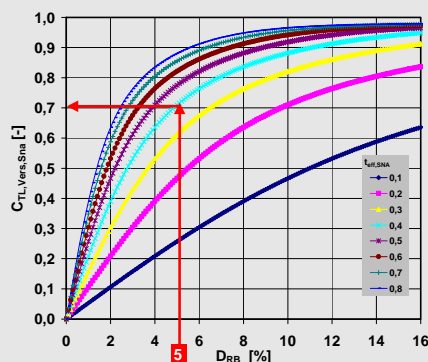
⇒ Effektiver Transmissionsgrad:
 $\tau_{eff, SNA} = 0,74 * 0,7 * 0,9 * 0,85 = 0,4$



Lichtlenkender Behang: Einstufung nach einfachen Tabellenverfahren

Stufe 3 Tageslichtversorgungsfaktor

Südorientierung, $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$



⇒ $C_{TL, Vers, SNA} (D_{RB}=5\%) = 0,71$

Südfassade: Sonnenschutz 2/3 der Betriebszeit nicht aktiviert

zeitl. Gewichtung: $2/3 * 0,71 = 0,47$

Nach einfachen Tabellenverfahren

⇒ $C_{TL, Vers, SA} = 0,60$

Südfassade: Sonnenschutz 1/3 der Betriebszeit aktiviert

zeitl. Gewichtung: $1/3 * 0,6 = 0,20$

Gesamt: $C_{TL, Vers} = 0,47 + 0,20 = 0,67$

Bild 16: Beispielhafte Anwendung des dreistufigen Verfahrens nach Bild 14 zur Ermittlung des möglichen energetischen Einsparpotentials durch Tageslicht beschrieben durch den Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL, Vers}$ für einen Wert der Beleuchtungsstärke von $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$ bei einer südorientierten Fassade.

7.2 Dachoberlichter

Analog dem Verfahren für vertikale Fassaden erfolgt bei Dachoberlichtern zunächst eine Klassifizierung der Tageslichtversorgung durch den Tageslichtquotienten [1], [4], [14]. Für unterschiedliche Wartungswerte der Beleuchtungsstärke, Orientierung und Neigung der lichtdurchlässigen Dachöffnungen werden dann die Tageslichtversorgungsfaktoren bestimmt. Das Verfahren erlaubt die Bewertung unterschiedlich ausgebildeter Lichtkuppeln, Lichtbänder, Sheds und Dachreiter. Es kann somit das energetische Einsparpotential für unterschiedliche, beispielhaft in Bild 17 dargestellte Dachoberlichtlösungen ermittelt werden.

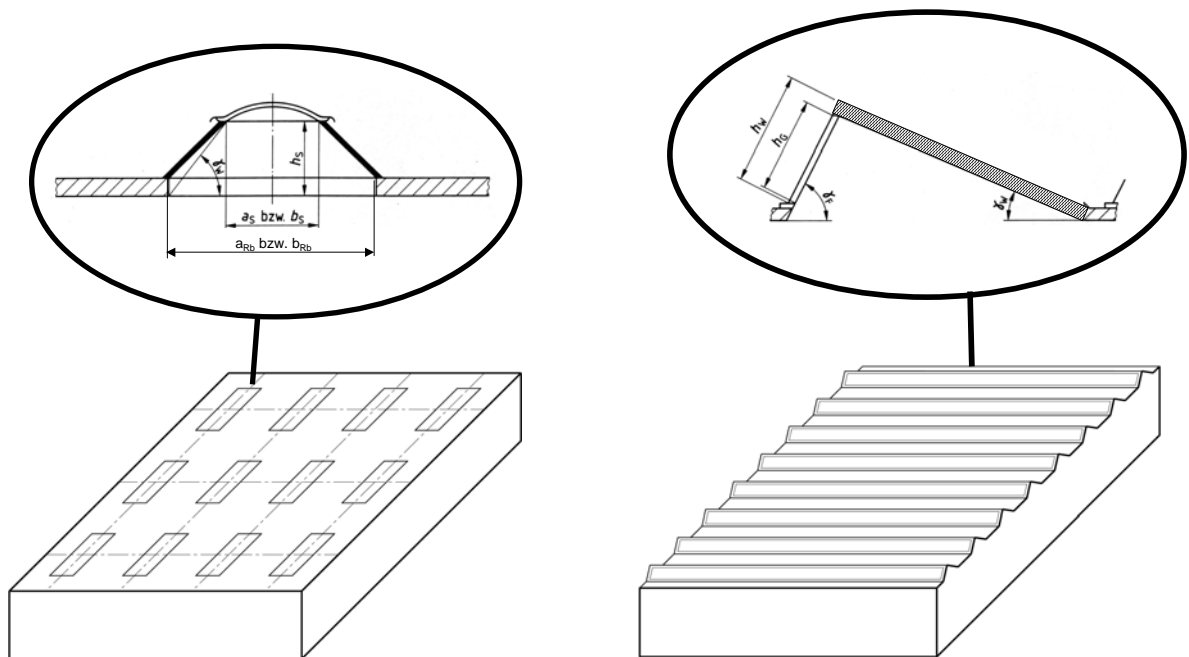


Bild 17: Dachoberlichtlösungen mit Lichtbändern (links) und Shedoberlichtern (rechts).

8. Beleuchtungskontrollsysteme

Das Verfahren berücksichtigt tageslichtabhängige und präsenzabhängige Beleuchtungskontrollsysteme. In beiden Fällen wird jeweils ein Einsparpotential mit einem als Wirkungsgrad aufzufassenden Faktor gewichtet, der die Ausnutzung des jeweiligen Potentials durch die Beleuchtungskontrolle beschreibt.

Zur Ermittlung des Einflusses der tageslichtabhängigen Kontrolle wird das theoretisch mögliche Einsparpotential beschrieben durch den Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ mit dem Faktor $C_{TL,kon}$, der das tageslichtabhängige Beleuchtungskontrollsystem berücksichtigt, zum Teilbetriebsfaktor Tageslicht

$$F_{TL} = 1 - C_{TL,Vers} \cdot C_{TL,kon} \quad (8)$$

verrechnet. $C_{TL,kon}$ unterscheidet zwischen manuellem Schalten und verschiedenen automatischen Konstantlichtbeleuchtungskontrollsystemen [12]. Der Teilbetriebsfaktor F_{TL} stellt somit in Gleichung (5) ein direktes Maß der Wirkung des Tageslichtes auf den Energiebedarf dar.

Präsenzabhängige Beleuchtungskontrollsysteme gewichten das theoretisch mögliche Einsparpotential, die sog. relative Abwesenheit C_A mit dem Faktor $C_{Prä,kon}$, der die Effizienz der Beleuchtungskontrolle diese Abwesenheit auszunutzen beschreibt, zum Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz

$$F_{Prä} = 1 - C_A \cdot C_{Prä} \quad (9)$$

$C_{Prä,kon}$ berücksichtigt keine und automatische Präsenzerfassung. Der Teilbetriebsfaktor stellt somit in Gleichungen (5), (6) und (7) ein direktes Maß der Wirkung der Präsenzerfassung auf den Energiebedarf dar.

9. Nutzungsprofile

Der Energiebedarf wird des weiteren wesentlich über die Nutzungsrandbedingungen parametrisiert. In der Normenreihe DIN V 18599 sind diese Gewerke übergreifend für 33 unterschiedliche Nutzungsprofile im Teil 10 zusammengestellt. Je nach Nutzungsanforderung an die Zone (z. B. Büro, Verkehrsfläche, Fertigungshalle) sind hier unterschiedliche Wertungswerte der Beleuchtungsstärke, Betriebszeiten der Beleuchtungsanlagen, Minderungsfaktoren zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe, typische Raumindizes und relative Abwesenheiten zusammengestellt.

10. Beispiel

Das in Bild 18 dargestellte Beispiel zeigt für ein Typbüro eines exemplarischen Regelgeschosses den Einfluss unterschiedlicher Verfahrensparameter auf den Endenergiebedarf Beleuchtung. Im Grundfall wird von einer flächenbezogenen elektrischen Bewertungsleistung von $p = 14 \text{ W/m}^2$ bei manueller Kontrolle des künstlichen Beleuchtungssystems und einer konventionellen Fassadenausführung (Lochfassade, konventioneller Raffstore als Sonnenschutz) ausgegangen. Das Beispiel illustriert den signifikanten Einfluss einer effizienten Tageslichtnutzung. Die Primärenergiebedarfswerte liegen um den Faktor 3 höher als die Endenergien und unterstreichen den hohen Stellenwert energieeffizienter Beleuchtung in der zukünftigen gesamtprimärenergetischen Betrachtung von Gebäuden.

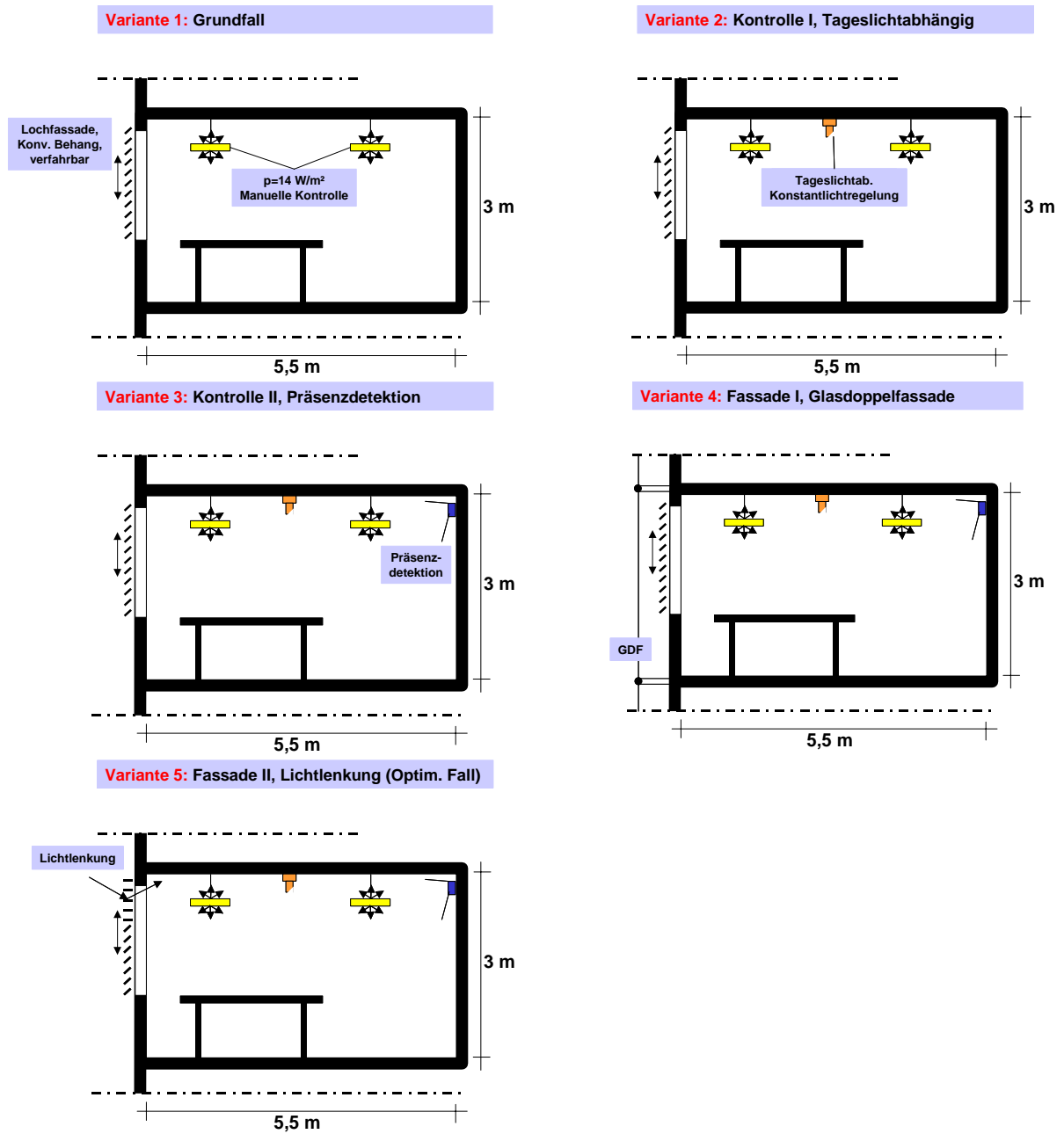


Bild 18: Varianten des Beispiels.

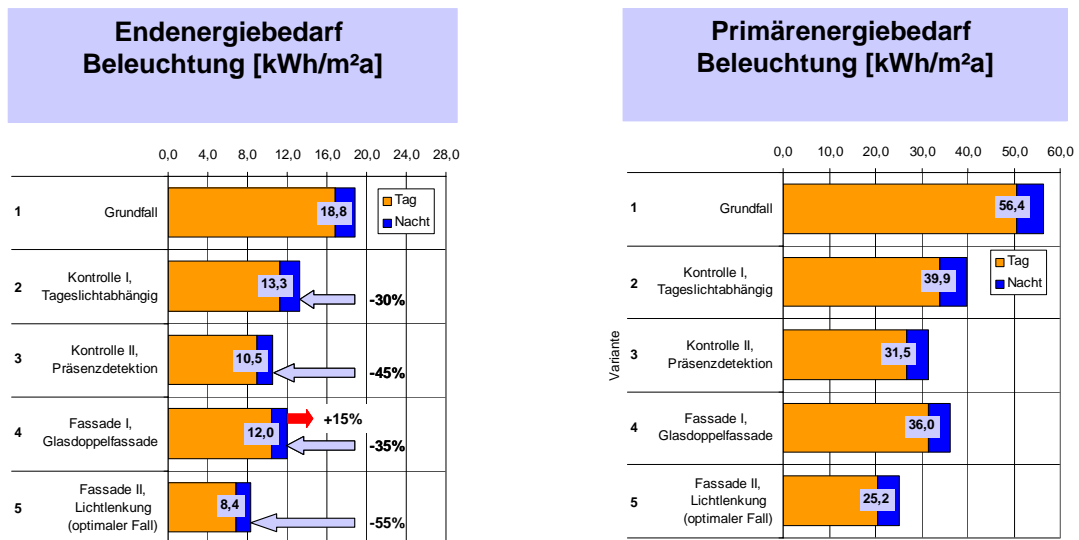


Bild 19: Endenergie- und Primärenergiebedarfswerte für Beleuchtungszecke für die Beispiele nach Bild 18.

11. Umsetzungstechnische Aspekte

Planungstechnisch ist die Beleuchtung zukünftig bereits in der Vorplanung zu berücksichtigen. Im planerischen Vorgehen werden verstärkt neben der Berücksichtigung der thermisch, energetischen Einflüsse frühzeitig die Potentiale im Bereich der Beleuchtung identifiziert und ggf. optimiert werden müssen. Bauphysiker, Energieberater etc. werden sich oft erstmalig genauer mit beleuchtungstechnischen Fragestellungen auseinandersetzen müssen. Andererseits kann von Lichtplanern zukünftig eine erhöhte Berücksichtigung der gesamtenergetischen Zusammenhänge im Gebäude gefordert sein.

Das entwickelte Verfahren ermöglicht mit der Bezifferung der endenergetischen und primärenergetischen Aufwendungen für Beleuchtung auch die wirtschaftliche Bewertung unterschiedlicher Randbedingungen, Einzeltechnologien und Systemlösungen im Einzelgewerk Beleuchtung. Unterschiedliche Energieeffizienzen von Beleuchtungslösungen werden somit untereinander aber auch mit anderen Gebäudetechnologien wie beispielsweise unterschiedlichen Wärmeschutzmaßnahmen energetisch und monetär verrechenbar.

Die effektive planungstechnische Umsetzung wird maßgeblich von verfügbaren, bedienungsfreundlichen Berechnungsprogrammen, die auch die

Integration mit den anderen Gewerken berücksichtigen, abhängen. Entsprechende Lösungen sind in der Entwicklung.

12. Zusammenfassung

In der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wird erstmalig die Einbeziehung der Beleuchtung in den energetischen Bilanzraum des Gebäudes gefordert. In der erforderlichen nationalen Umsetzung wird die in Vorbereitung befindliche Energieeinsparverordnung 2006 aller Voraussicht auf das im Rahmen der DIN V 18599 Teil 4 dokumentierte, neu entwickelte Verfahren zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtung Bezug nehmen. Dieses Verfahren ermöglicht den Vergleich und die Optimierung unterschiedlicher beleuchtungstechnischer Lösungen, aber auch die Verrechenbarkeit mit den anderen Energieströmen im Gebäude. Bei zu wahrender gleichbleibend hoher Beleuchtungsqualität verspricht die Umsetzung der EU-Richtlinie Lenkungseffekte in Richtung energieeffizienter Kunstlicht- und Tageslichttechnik. Insbesondere kann durch die mittels des Verfahrens mögliche energetische und monetäre Bewertung des Tageslichts, dieses zukünftig noch deutlicher als regenerative Energie verstanden, gefordert und gefördert werden.

13. Literatur

- [1] De Boer, J.; Cornelius, W.; Wössner, S.: Ein einfaches Modell zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Räumen mit Dachoberlichtern. *gi Gesundheits-ingenieur* 126 (2005), H. 3, S. 113-123.
- [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] Dirksmüller, M.; Erhorn, H.: *Adeline 3.0 – Dokumentation*. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart (1999).
- [4] DIN 5034, Teil 3: Tageslicht in Innenräumen, Berechnung. Beuth Verlag, Berlin (1994).

- [5] DIN EN 12464-1: Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1, Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth Verlag, Berlin (2003).
- [6] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [7] DIN V 18599-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [8] DIN V 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [9] DIN V 18599-4: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [10] DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10 Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Berlin (2005).
- [11] EU-Richtlinie, Energy Performance of Buildings. Richtlinie 2002/91/EG, Amtsblatt der EU (2002).
- [12] Knoop, P. T.: Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme auf der Basis von Installationsbussen Energietechnik, Dissertation, Technische Universität Berlin, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (1998).
- [13] LiTG-Publikation Nr. 3.5; Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren. (1988).
- [14] Rattunde, R.: Optimierung der Tageslichtbeleuchtung großer Räume durch Oberlichter unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Tageslichtes. Dissertation Technische Universität Berlin (1980).
- [15] Rosemann, A.; de Boer, J. ; Aydinli, S.; Krebs, P.; Schmits, P.W.: Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für Kunstlichtanlagen. Erläuterungen zur DIN-V 18599 – 4. Wird veröffentlicht. (Teil 3 der Fortsetzungsreihe in der „Licht“).