

# Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für Kunstlichtanlagen

Li3T33\_Rosemann\_Hei

Alexander Rosemann, Jan de Boer, Sirri Aydinli, Peter. Krebs, Paul W. Schmits

## 1 Einleitung

Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie zur »Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden« [1] sollen in den EU-Mitgliedsländern, gemäß Artikel 4, energetische Anforderungen an neue und sanierte Gebäude gestellt werden. Bei der in Artikel 3 geforderten Berechnungsmethodik zur Gesamteffizienz werden auch Fragen der Beleuchtung in Gebäuden mit eingeschlossen. In dem eingerichteten gemeinsamen Normungsausschusses des NABau, NHRS und FNL, »NA 005-56-20 GA Energetische Bewertung von Gebäuden«, ist zur nationalen Umsetzung der EU-Richtlinie die Normenreihe DIN-V 18599 »Energiebedarf von Gebäuden« [7] erarbeitet worden, die im Teil 4 [8] den Beleuchtungsenergiebedarf berücksichtigt.

Die zu berücksichtigenden energetischen Einflüsse umfassen die installierte Anschlussleistung des Beleuchtungssystems, die Tageslichtversorgung unter Berücksichtigung von klimatischen Bedingungen, Fassadensystemen, Gebäudemanagementsystemen und tageslichtabhängigen Beleuchtungskontrollsystemen. Die Bewertbarkeit der einzelnen Einflussgrößen war nach dem momentanen Stand nur unzureichend mög-

lich, da beschreibende energetische Kennwerte teilweise nur unvollständig bzw. noch gar nicht ermittelt wurden. Es wurde daher ein vollständig neues Verfahren entwickelt.

In diesem Beitrag werden die in der DIN V 18599-4 genutzten Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung künstlicher Beleuchtungssysteme dargestellt. Aus planungsrechtlichen Gründen wird die »elektrische Anschlussleistung« als »elektrische Bewertungsleistung« eingeführt. Ihr kommt im Verfahren der DIN V 18599-4 zentrale Bedeutung zu, denn sie skaliert direkt linear den Endenergiebedarf und damit auch den Primärenergiebedarf für Beleuchtung.

Die Anforderungen an ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistung können generell wie folgt gefasst werden:

- Die Bewertung eines Gebäudebereiches muss zeit- und kosteneffizient erfolgen können. Dies schließt im Allgemeinen eine detaillierte und aufwendige Fachplanung aus. Dennoch muss die Genauigkeit vereinfachter Verfahrensansätze zur Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistung ausreichend für eine realistische Bewertung von Gebäuden im Bestand sowie von Neubauten sein.
- Abstufungen im Verfahrensansatz sollten der Maxime gehorchen: höherer Aufwand, höhere Genauigkeit.
- Das Verfahren hat der neuen Norm DIN EN 12464-1 Rechnung zu tragen.

Eine ergänzende Erläuterung der DIN EN 12464-1 ist beispielsweise einem ZVEI Leitfadens [3] zu entnehmen.

Unter Ziffer 2 werden die Grundüberlegungen zur Bedeutung der elektrischen Bewertungsleistung in dem Gesamtbilanzierungsansatz und die sich aus der DIN EN 12464-1 ergebenden Anforderungen kurz dargelegt. Unter Ziffer 3 werden die drei Verfahren skizziert. Daran schließt sich in Ziffer 4 eine detaillierte Darstellung der Parametrierung des Tabellenverfahrens an.

## 2 Grundüberlegungen

### 2.1 Elektrische Bewertungsleistung und effektive Betriebszeit

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

$$Q_1 = \int_{t_{\text{Anfang}}}^{t_{\text{Ende}}} P(t) dt \quad (1)$$

Durch die tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle kann die elektrische Energie für Kunstlichtbeleuchtung nach KNOOP [4] auch auf die elektrische Anschlussleistung der Kunstlichtanlage  $P_{\text{max}}$  bezogen werden. Der Faktor  $\delta$  beschreibt hierbei das elektrische Dimmniveau zwischen 0 und 1. Das Dimmen hängt vom zeitlichen Verlauf eines Sensorsignals  $x_{\text{Sensor}}$  ab.

$$Q_1 = \int_{t_{\text{Anfang}}}^{t_{\text{Ende}}} P(t) \delta(x_{\text{Sensor}}, t) dt \quad (2)$$

Die Ermittlung des Energiebedarfs kann in einer Vereinfachung auch als Produkt aus elektrischer Bewertungsleistung  $P_{\text{max}}$  und einer effektiven Betriebszeit der Kunstlichtanlage  $t_{\text{eff}}$  verstanden werden.

$$Q = P_{\text{max}} \cdot t_{\text{eff}} \quad (3)$$

Bild 1 verdeutlicht exemplarisch den Schritt von der integralen Methode nach Gleichung (1) zu der vereinfachten Form nach Gleichung (3). Die schraffierte rote Fläche weist denselben Flächeninhalt auf, wie die blaue Fläche unter dem zeitlichen Verlauf der aufgenommenen Leistung. Auf diese Weise kann die Bestimmung des Energiebedarfs

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

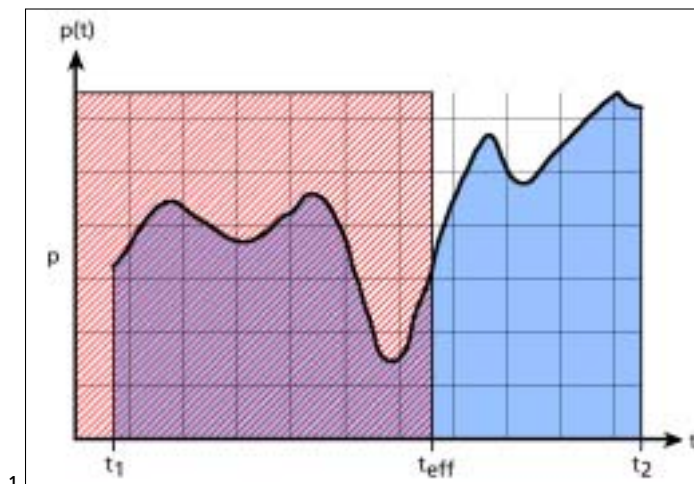
Dr.-Ing. Jan de Boer, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart

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

Dipl.-Ing. Peter Krebs, Siteco, Traunreut

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

1 Übergang zu einer vereinfachten Beschreibung des Energiebedarfs durch Gewichtung der elektrischen Bewertungsleistung mit einer effektiven Zeit  $t_{\text{eff}}$ .



durch eine Multiplikation der maximalen Bewertungsleistung mit der effektiven Zeit ermittelt werden.

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in einer einfachen Beschreibung der Kunstlichtanlage im energetischen Nachweisverfahren. Es muss lediglich die elektrische Bewertungsleistung  $p$  ermittelt werden. Die effektive Betriebszeit  $t_{\text{eff}}$  berücksichtigt die Einflussgrößen auf den Energiebedarf wie Tageslicht oder Berücksichtigung der Abwesenheit durch Präsenzmeldesysteme.

**2.2 Anforderungen aus der DIN EN 12464-1**

Generell muss das Bewertungsverfahren die in der Norm DIN EN 12464-1 aufgeführten Empfehlungen berücksichtigen<sup>1)</sup>. Demnach liegen Anforderungen an die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke lediglich für den Bereich der Sehaufgabe ( $\bar{E}_m$ ) und den unmittelbaren Umgebungsbereich (hier  $\bar{E}_U$  genannt) vor. Diese Wartungswerte der Beleuchtungsstärke sind unterschiedlichen Teilgrundflächen  $A_m$  und  $A_U$  in einem Raum zugeordnet (vgl. Bild 2a).

Somit verringert sich die geforderte mittlere Beleuchtungsstärke auf der Bezugsfläche auf einen mit den zugeordneten Flächenanteilen gewichteten Mittelwert ( $A$  stellt hierbei die Gesamtgrundfläche des Raumes dar). Dementsprechend kann ein Minderungsfaktor  $k_A$  zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe definiert werden:

$$k_A^{(1)} = \frac{\bar{E}_m \cdot A_m + \bar{E}_U \cdot A_U}{\bar{E}_m \cdot A} \tag{4}$$

In einem vereinfachenden Ansatz wird davon ausgegangen, dass der Umgebungsbereich dem Anteil an der Grundfläche des Raumes entspricht, der nicht zu dem Bereich der Sehaufgabe  $A_m$  gehört (vgl. Bild 2b). Somit ergibt sich eine vereinfachende Handhabung der Räume:

*1) Der Nachweis über die Einhaltung einiger Grenzwerte (z. B. Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke) ist in einigen Teilverfahren nicht vorgesehen, da diese Nachweise den Aufwand zu stark in die Höhe treiben würden.*

$$k_A^{(2)} = \frac{\bar{E}_m \cdot A_m + \bar{E}_U \cdot (A - A_m)}{\bar{E}_m \cdot A} \tag{5}$$

In einem nächsten Schritt wird der Belegungsfaktor  $bf$  als Anteil des Sehaufgabenbereichs  $A_m$  an der Grundfläche des Raumes  $A$  definiert:

$$bf = \frac{A_m}{A} \tag{6}$$

Durch die Einführung des Belegungsfaktors kann die Gleichung (5) vereinfacht werden:

$$k_A^{(2)} = \frac{bf \cdot \bar{E}_m \cdot A + \bar{E}_U \cdot A \cdot (1 - bf)}{\bar{E}_m \cdot A} = \frac{\bar{E}_m \cdot bf + \bar{E}_U \cdot (1 - bf)}{\bar{E}_m} \tag{7}$$

Für den Minderungsfaktor  $k_A$  ergibt sich nun:

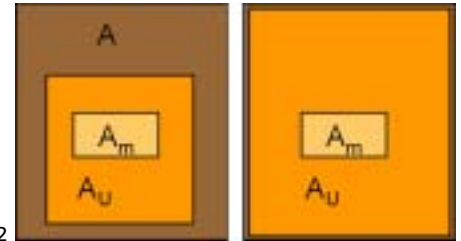
$$K_A = bf + (1 - bf) \cdot \frac{\bar{E}_U}{\bar{E}_m} \tag{8}$$

So kann mit Hilfe von Orientierungswerten für die Raumbelegung und der für die in diesem Raum empfohlenen Wartungswerte der Beleuchtungsstärke der Minderungsfaktor auf einfache Art und Weise bestimmt werden.

**2.3 »Elektrische Bewertungsleistung«**

Die Anforderungen an die Beleuchtung werden in der Energieeinsparverordnung 2006 voraussichtlich durch zwei wesentliche Rahmenbedingungen gefasst:

1. In Abhängigkeit des Gebäudetyps wird ein einzuhaltender Gesamtprimärenergiebedarf für die Summe sämtlicher Bilanzanteile vorgegeben werden. Dies heißt, dass energieeffiziente Beleuchtungssysteme unter Umständen schwächere bauliche und anlagentechnische Ausführungen kompensieren müssen und v.v.
2. In Abhängigkeit des Gebäudetyps werden voraussichtlich Referenztechniken definiert, die in der Summe der sich ergebenden Bilanzanteile über sämtliche Gewerke, das Anforderungsniveau definieren werden. Die Wahl der Referenztechnik setzt somit den Maßstab, ob eine Lösung als *relativ* energieeffizient oder energieineffizient zu bewerten ist.



2a (links) Skizze von Raumbereichen mit unterschiedlichen Beleuchtungsanforderungen.

2b (rechts) Skizze zur vereinfachenden Annahme der Raumbereiche.

Die eigentliche Anforderung wird somit der Gesamtprimärenergiebedarf sein, für die Beleuchtung effektiv ihr Primärenergiebedarfswert. Die elektrische Anschlussleistung wird somit *nicht* die Größe sein, an die unmittelbar verordnungstechnische Anforderungen gestellt werden.

Dennoch werden unmittelbar aus zu erzielenden Energiebedarfswerten für unterschiedliche Beleuchtungslösungen Rückschlüsse auf – für die jeweilige Lösung – geeignete elektrische Anschlussleistungen ableitbar sein. Da im Nachweisverfahren mit Näherungen und teilweise gemittelten Werten gearbeitet wird, können (wie später gezeigt werden wird) reale elektrische Anschlussleistungen gegenüber denen mit diesem Verfahren ermittelten Bewertungsleistungen sowohl nach oben als auch nach unten abweichen. Um eine somit indirekte planerische Festlegung auf bestimmte elektrische Anschlussleistungen zu vermeiden, ist die elektrische Anschlussleistung 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* dar. Eine entsprechende Vorgehensweise wird seit Jahren bei der Lastermittlung in der Heizungs- und Kältetechnik verfolgt.

Nr.	Kurzbeschreibung	Parameter	Bewertung
1	Tabellenverfahren	Raumnutzung, Raumgeometrie, Beleuchtungsart, Lampentyp	+ geringer Zeitaufwand + geringere Genauigkeit
2	Angepasstes Wirkungsgradverfahren	Raumnutzung, Raumgeometrie, Beleuchtungsart Lampen- & Leuchtentyp	- erhöhter Zeitaufwand + hohe Genauigkeit
3	Detaillierte Fachplanung zum Nachweis des Energieaufwandes	Detaillierte Modellierung und Leuchtenauswahl	-- hoher Zeitaufwand ++ sehr hohe Genauigkeit

Tabelle 1: Übersicht möglicher Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung der Kunstlichtbeleuchtung.

**3 Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung**

Die vorgesehenen Möglichkeiten zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung einer Kunstlichtbeleuchtungsanlage sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt. Bei Bedarf können bei der Bewertung eines Gebäudes mehrere der oben aufgeführten Verfahren für unterschiedliche Gebäudezonen zum Einsatz kommen. Es steht dem Planer zu jeder Zeit frei, ein genaueres (aber auch zeitaufwendigeres) Verfahren einzusetzen, um auf diese Weise elektrische Bewertungsleistungen exakter nachweisen zu können.

**3.1 Verfahren 1 - Tabellenverfahren**

Das Tabellenverfahren stellt ein schnelles, mit größeren Näherungen parametrisiertes Verfahren zur Ermittlung der elektrischen

Bewertungsleistung für Kunstlichtbeleuchtung in einem Raum bzw. Gebäudebereich dar. Es ist ohne Zuhilfenahme weiterer Informationsquellen (z.B. Produktdaten) anwendbar. Folgende Parameter finden Berücksichtigung:

- Beleuchtungsart, die auch den Leuchtentyp vorgibt,
- Lampentyp,
- Belegung (d.h. Verhältnis Flächenbereich der Sehaufgabe zum Umfeld),
- Raumgeometrie.

Das Tabellenverfahren wird unter Ziffer 4 mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen Wirkungsgradverfahren parametrisiert.

**3.2 Verfahren 2 – Vereinfachtes Wirkungsgradverfahren**

Das Verfahren 2 ermöglicht die Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für einen Raum in Anlehnung an das Wirkungsgradverfahren [5]. Es stellt eine Möglichkeit dar, unter genaueren Annahmen als beim Tabellenverfahren Orientierungswerte für die spezifische Bewertungsleistung zu erhalten. Es erhebt jedoch noch nicht den Genauigkeitsanspruch einer detaillierten Fachplanung. So wird die mittlere Beleuchtungsstärke bestimmt, lokale Variationen der Beleuchtungsstärkeverteilung können nicht ermittelt und bewertet werden. Das vereinfachte Wirkungsgradverfahren zur Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistung der Kunstlichtbeleuchtung wird unter Berücksichtigung der Anforderungen nach DIN EN 12464-1 und einer einfachen Handhabbarkeit folgendermaßen modifiziert:

$$P = \frac{k_A \cdot \bar{E}_m}{WF \cdot \eta_s \cdot \eta_{LB} \cdot \eta_R} \tag{9}$$

wobei

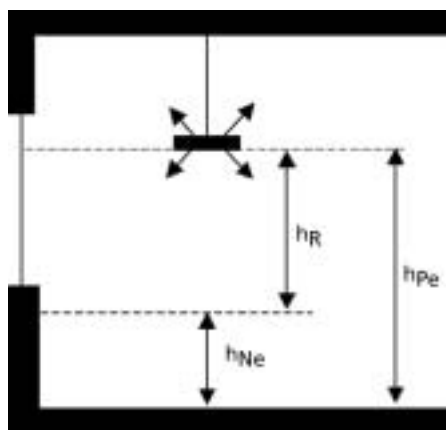
$$\eta_s = \frac{\eta_L}{f_{VG}} \tag{10}$$

Hierbei sind:

- p Elektrische Bewertungsleistung für die Kunstlichtbeleuchtung eines Raumes bezogen auf die Raumgrundfläche in W/m<sup>2</sup>
- k<sub>A</sub> Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Raumbelegung nach Gleichung (8)
- f<sub>VG</sub> Faktor zur Berücksichtigung der Vorschaltgeräteart (EVG / VVG / KVG)
- $\bar{E}_m$  Wertungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12464 für die jeweilige Raumnutzung in lx; Werte für ausgesuchte Raumnutzungsarten werden in DIN-V 18599-10 übernommen
- WF Wartungsfaktor, der nach DIN 12464 Alterungsprozesse bis zur nächsten Anlagenwartung berücksichtigt (kann, falls nicht bekannt, zu 0,67 angesetzt werden)
- $\eta_L$  Lichtausbeute des eingesetzten Leuchtmittels in lm/W ohne Berücksichtigung des Vorschaltgerätes.
- $\eta_s$  Systemlichtausbeute des eingesetzten Leuchtmittels mit Vorschaltgerät in lm/W
- $\eta_{LB}$  Betriebswirkungsgrad der eingesetzten Leuchte
- $\eta_R$  Raumwirkungsgrad
- $\eta_L$ ,  $\eta_s$  und  $\eta_{LB}$  können aus Lampen- und Leuchtenkatalogen ermittelt werden. Raumwirkungsgrade  $\eta_R$  sind in Abhängigkeit der Leuchtenart (und damit auch der Beleuchtungsart), des Raumindex k und der Raumlichtreflexionsgrade beispielsweise der LiTG-Publikation [5] zu entnehmen. Der Raumindex bestimmt sich aus der Raumgeometrie gemäß:

$$k = \frac{a_R \cdot b_R}{h_R \cdot (b_R + a_R)} \tag{11}$$

- a<sub>R</sub> Raumtiefe in m
- b<sub>R</sub> Raumbreite in m
- h<sub>R</sub> Differenz aus den Höhen der Pendelebene der Leuchte h<sub>pe</sub> und der Nutzebene h<sub>Ne</sub> gemäß Bild 3 in m.



3 Schematische Darstellung zur Bestimmung der Höhe h<sub>R</sub>.

Ist die Höhe der Leuchtenebene (Pendelebene) nicht explizit bekannt, kann sie im Verfahren der DIN-V 18599-4 zu  $\frac{5}{6}$  der Raumhöhe angenommen werden. Die Raumwirkungsgrade werden für drei verschiedene, repräsentative Beleuchtungsarten angegeben. Hierzu sind zunächst fünf Leuchtenklassen nach DIN 5040 [6] gemäß Tabelle 2 auf drei (direkt, direkt/indirekt und indirekt) reduziert worden. Somit werden die Leuchtenklassen »überwiegend direkt« und »überwiegend indirekt« vereinfachend den anderen drei Klassen zugeschlagen.

Durch die Reduzierung der Anzahl von Leuchtenklassen auf drei, ergeben sich Verschiebungen der Intervallgrenzen. Die überwiegend direkt abstrahlenden Leuchten wurden der Gruppe A (direkt) und C (direkt/indirekt) zugeordnet; die Menge der überwiegend indirekt abstrahlenden Leuchten sind vollständig in der Gruppe der direkt/indirekt abstrahlenden Leuchten enthalten. Mit dieser Einordnung kann zwischen den drei wesentlichen Beleuchtungsarten unterschieden werden. Aus diesen drei Klassen wurden jeweils in Abstimmung mit dem ZVEI repräsentative Leuchten verschiedener Hersteller ausgewählt. Anschließend ist für jede Beleuchtungsart ein mittlerer Raumwirkungsgradverlauf auf der Basis der ausgewählten Leuchten ermittelt worden. Diese Werte sind in Tabelle 3 und 4 zusammengefasst und in Bild 4 dargestellt.

Die in Tabelle 3 und 4 gegebenen Werte gelten nur für Standardlichtreflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen (vgl. Tabelle 5). Es ist innerhalb des Verfahrens jedoch freigestellt, abweichende Raumwirkungsgrade heranzuziehen, sofern diese für eine bestimmte einzusetzende Leuchte oder bei abweichenden Lichtreflexionsgraden der Raumbegrenzungsflächen bekannt sind. Hierdurch werden generell genauere Berechnungsergebnisse ermöglicht.

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Einflussgrößen im vereinfachten Wirkungsgradverfahren kurz diskutiert:

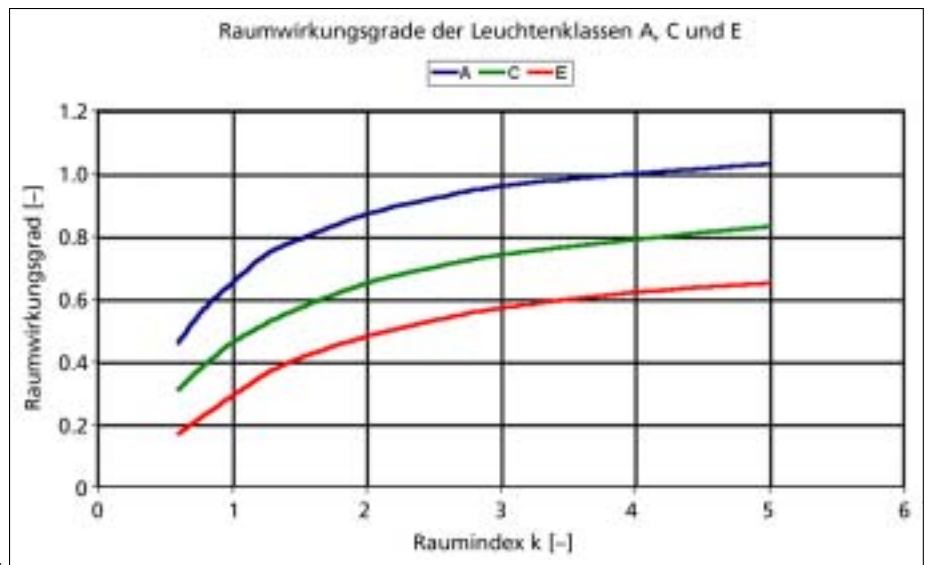
*Minderungsfaktor*

*(Flächenanteil der Sehaufgabe)*

Kann ein Belegungsfaktor für bestimmte Raumnutzungen angegeben werden, so

Beleuchtungsart	Relativer Lichtstrom in den unteren Halbraum, $\phi_u$ gemäß Definition nach [6]	Zuordnungsintervalle zu den Klassen
A: Direkt	0,9 ... 1,0	0,7 ... 1,0
C: Direkt/indirekt	0,4 ... 0,6	0,1 ... 0,7
E: Indirekt	0,0 ... 0,1	0,0 ... 0,1

Tabelle 2: Vereinfachte Zuordnung der Leuchtenklassifizierung nach [6].



4 Raumwirkungsgrade für die Klassifizierung A, C und E in Abhängigkeit des Raumindex k.

Leuchtenart	Raumindex k									
	0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5
direkt	0,48	0,59	0,67	0,76	0,82	0,89	0,94	0,98	1,02	1,05
dir/indir	0,31	0,39	0,46	0,52	0,57	0,65	0,70	0,74	0,79	0,83
indirekt	0,17	0,23	0,29	0,36	0,41	0,48	0,53	0,57	0,62	0,65

Tabelle 3: Raumwirkungsgrade repräsentativer Leuchten in Abhängigkeit vom Raumindex k nach [5]

Leuchtenart	Raumindex k									
	0.6	0.8	1	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5
direkt	2,08	1,69	1,49	1,32	1,22	1,12	1,06	1,02	0,98	0,95
dir/indir	3,23	2,56	2,17	1,92	1,75	1,54	1,43	1,35	1,27	1,20
indirekt	5,88	4,35	3,45	2,78	2,44	2,08	1,89	1,75	1,61	1,54

Tabelle 4: Reziproke Raumwirkungsgrade repräsentativer Leuchten in Abhängigkeit vom Raumindex k nach [5]

Raumbegrenzungsfläche	Lichtreflexionsgrad
Boden	20 %
Wand (inklusive Fries)	50 %
Decke	70 %

Tabelle 5: Standardwerte für die Lichtreflexionsgrade von Raumbegrenzungsflächen.

führt dieser zu einer verminderten elektrischen Bewertungsleistung für die Kunstlichtversorgung. Der Belegungsfaktor ist für die jeweiligen Raumnutzungen sinnvoll anzuwenden. Vereinfachend kann er nach Ziffer 2.2.2 bestimmt werden. Detaillierte Erläuterungen zur Auslegung des Sehbereiches, werden u.a. in einem Leitfaden zur DIN EN 12464-1 [2] angegeben. Die vereinfachte Bestimmung nach Ziffer 2.2.2 führt tendenziell zu einer leicht konservativen Abschätzung, da der Umgebungsbereich  $A_U$  der Differenz aus Raumgrundfläche  $A$  und Fläche der Sehaufgabe  $A_m$  gleichgesetzt wird. Das Produkt  $k_A \cdot \bar{E}_m$  ist somit geringfügig höher als sich nach genauer Bewertung nach [2] ergeben würde.

*Ganzzahlige Leuchtenanzahl*

Durch die Betrachtung energetischer Kennzahlen wie Lichtausbeute, Leuchtenbetriebswirkungsgrad wird zwar eine spezifische elektrische Bewertungsleistung ermittelt, jedoch berücksichtigt diese nicht die Anschlussleistung einer Einzelleuchte. Daher kann im Allgemeinen ein rein rechnerisch

5 Darstellung des Einflusses der Raumgeometrie, beschrieben durch den reziproken Raumwirkungsgrad ( $1/\eta_R$ ) als Funktion des Raumindex  $k$  nach Gleichung (9) auf die spezifische Bewertungsleistung. Die sich einstellenden Proportionalitätsfaktoren sind für unterschiedliche Raumgeometrien und Beleuchtungsarten (Leuchtenarten) eingetragen.

ermittelter Wert für die Bewertungsleistung nicht exakt durch eine ganzzahlige Leuchtenanzahl erreicht werden. Um nun den Mindestanforderungen gerecht zu werden, ist daher von der elektrischen Bewertungsleistung auszugehen, die zur nächsten ganzzahligen Leuchtenanzahl gehört.

*Einfluß der Gestaltung auf die Leuchtenanzahl*

Entsprechendes ergibt sich aus gestalterischen Erwägungen und Notwendigkeiten. Beispielsweise kann das Verfahren bei vorgegeben Leuchttypen die Anbringung von drei Leuchten empfehlen. Da gestalterisch Achsraster von  $2 \times 2$  erforderlich sein könnten, werden in vielen Fällen jedoch vier Leuchten installiert.

*Leuchtentyp*

Die angegebenen Tabellenwerte für das vereinfachte Wirkungsgradverfahren berücksichtigen genau genommen nur einen Leuchtentyp pro Leuchtenklasse. Diese Werte können daher von denen der tatsächlich installierten Leuchten abweichen.

*Raumgeometrie (Raumwirkungsgrad)*

In Bild 5 sind die Reziprokwerte der Raumwirkungsgrade in Abhängigkeit vom Raumindex  $k$  nach Gleichung (11) dargestellt. Bei dem Beispiel der Direktbeleuchtung variiert der Raumwirkungsgrad von 0.48 bis 1.05; seine Reziprokwerte, die linear nach Gleichung (9) die spezifische, elektrische Bewer-

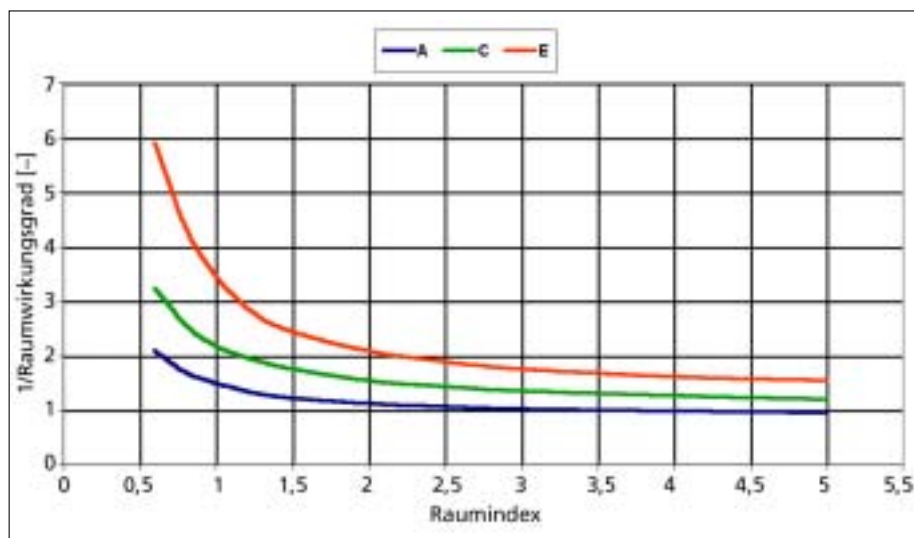
tungsleistung beeinflussen, variieren entsprechend von 2,1 bis 0,95. Noch größere Schwankungsbreiten ergeben sich bei direkt/indirekter und rein indirekter Beleuchtung. Im Falle von flachen, größeren Räumen ist der Einfluss der Lichtabsorption an den Raumumschließungsflächen geringer, so dass die reziproken Raumwirkungsgrade sinken: Großraumbüros, Hallen usw. weisen daher deutlich günstigere Raumwirkungsgrade auf als kleine Einzelbüros oder lange schmale Flure. Der Einfluss der Raumgeometrie, beschrieben durch den Raumwirkungsgrad, hat generell einen großen Einfluss auf die elektrische Bewertungsleistung.

**3.3 Verfahren 3 – Detaillierte Fachplanung**

Im Rahmen des Nachweises über den Energiebedarf für künstliche Beleuchtung kann der Fachplaner anerkannte Verfahren<sup>2)</sup> anwenden, um die flächenbezogene elektrische Bewertungsleistung für Kunstlichtbeleuchtung detailliert zu errechnen. EDV-unterstützte Beleuchtungsplanungsprogramme lassen im Allgemeinen eine genauere Simulation der Beleuchtungssituation zu. Realisierte Installationen und Forschungsergebnisse zeigen, dass die elektrische Anschlussleistungen für Beleuchtungsanlagen oft deutlich reduziert werden können, wenn eine detaillierte Fachplanung frühzeitig erfolgt.

**4 Parametrierung des Verfahrens 1: Tabellenverfahren**

Auf Grundlage des Wirkungsgradverfahrens werden in Ziffer 4.1 die Orientierungswerte für das vereinfachte Tabellenverfahren nach Ziffer 3.1 ermittelt. Für ausgewählte Räume sind Beleuchtungsberechnungen durchgeführt worden, um die Orientierungswerte durch detaillierte Rechnungen unter 4.2 abzusichern. Anschließend wird die Ermittlung von Anpassungsfaktoren für das Nachweisverfahren erläutert. Hierzu zählen die Anpassungsfaktoren zur Berücksichtigung des Lampentyps (Ziffer 4.3) und zur Berücksichtigung



<sup>2)</sup> Hierzu zählen z. B. die im Handbuch für Beleuchtung (II – 1.5.1) [9] aufgeführten Beispiele.

sichtigung der Raumgeometrie (Ziffer 4.4). Unter 4.5 wird der Einfluss der Verfahrensparametrierung auf erzielbare spezifische installierte Bewertungsleistungen anhand von Beispielrechnungen aufgezeigt.

**4.1 Parametrierung für den Grundfall**

In Tabelle 6 sind die Orientierungswerte für die spezifische elektrische Bewertungsleistung gegeben, die über das Wirkungsgradverfahren ermittelt wurden.

*Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe*

Im Rahmen dieser Untersuchungen wird der Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe zu 500 lx angesetzt. Die Berechnungen wurden für einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 500 lx durchgeführt. In weiteren Untersuchungen zu anderen Wartungswerten der Beleuchtungsstärke ließ sich nachweisen, dass die benötigte spezifische Anschlussleistung der Beleuchtungsanlage linear von dem Wartungswert der Beleuchtungsstärke abhängt. Somit kann von der hier angegebenen elektrischen Bewertungsleistung bezogen auf die Raumfläche und einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke von 1 lx auch auf Bewertungsleistungen  $p_E$  für andere Wartungswerte der Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_m$  geschlossen werden.

$$p_E = \bar{E}_m \cdot p_{lx} \tag{12}$$

*Wartungsfaktor WF*

Wird, da nicht näher bekannt, gemäß ZVEI-Leitfaden [3] zu 0,67 gesetzt.

*Lichtausbeute  $\eta_s$*

Die Systemlichtausbeute für den Grundfall wird für stabförmige Leuchtstofflampen – den gebräuchlichsten Lampentyp – parametrieren: Die Systemlichtausbeute wird im Mittel in Abstimmung mit dem ZVEI zu 80 lm/W angesetzt, wobei von elektronischen Vorschaltgeräten ausgegangen wird. Die Lichtausbeuten beziehen sich grundsätzlich auf die Systemleistungsaufnahme von Lampe und Vorschaltgerät. Da es sich bei der übergeordneten Bewertungsmethodik um Energiebilanzierungen handelt, wird die gesamte im Lampenstromkreis aufgenommene Leistung herangezogen.

Beleuchtungsart	Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe	Angesetzter Wartungsfaktor	Systemlichtausbeute	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	Raumwirkungsgrad	Ermittelte elektrische Bewertungsleistung bezogen auf die Raumfläche und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke
	$\bar{E}_m$ [lx]	WF [-]	$\eta_s$ [lm/W]	$\eta_{LB}$ [-]	$\eta_R$ [-]	$p_{1lx}$ [W/(m <sup>2</sup> lx)]
direkt	500	0,67	80	0,7	0,52	0.05
direkt/indirekt	500	0,67	80	0,8	0,41	0.06
indirekt	500	0,67	80	0,75	0,25	0.10

**Tabelle 6:** Orientierungswerte für die spezifische Bewertungsleistung für künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit von der Beleuchtungsart für stabförmige Leuchtstofflampen und Räume mit kleinen Raumindizes.

*Leuchtenbetriebswirkungsgrad  $\eta_{LB}$*

Marktübliche Leuchtenbetriebswirkungsgrade werden angesetzt. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad für direkte Beleuchtung, weist aufgrund der im Allgemeinen aufwendigeren Lichtlenkung in den Reflektoren den geringsten Wert auf. Da bei direkt/indirekt Beleuchtung üblicherweise die geringsten Verluste durch Lichtlenkung in den Reflektoren anfallen, zeigt diese Lösung das beste Verhalten. Es sei angemerkt, dass die Leuchtenbetriebswirkungsgrade zum Teil erheblich nach oben und unten streuen.

*Raumwirkungsgrad  $\eta_R$*

Die Berechnung erfolgte für einen Raum mit einer 9 m<sup>2</sup> großen Grundfläche und einer Höhe von 3 m. Die Höhe der Nutzebene (Bereich der Sehaufgabe) wurde hierbei als horizontale Fläche in einer Höhe von 0,75 m über dem Boden angenommen. Leuchten, die für die Direktbeleuchtung betrachtet wurden, sind direkt unter der Decke angebracht; bei den anderen Leuchtentypen ist eine Pendellänge von 0,5 m angesetzt. Dies entspricht einem Raumindex bei Direktbeleuchtung von  $k = 0,67$  und von  $k = 0,86$  bei direkt/indirekter bzw. indirekter Beleuchtung. Diese Werte unterscheiden sich, da die Direktleuchten in der Deckenebene angesetzt wurden und die anderen Leuchtenarten

abgependelt wurden<sup>3)</sup>. Somit ändert sich die anzusetzende Höhe zwischen Nutzebene und Leuchtenebene und man erhält zwei unterschiedliche Raumindizes für denselben Raum.

Die ermittelten elektrischen Bewertungsleistungen, bezogen auf die Raumfläche und den Wartungswert der Beleuchtungsstärke, dienen als Grundlage für das Tabellenverfahren. Dabei wurde zunächst von einem Betrieb mit EVGs ausgegangen. Unter Berücksichtigung entsprechender Faktoren (vgl. [10] und Tabelle 7) werden ebenfalls Werte für VVGs und KVGs angegeben. Die spezifische auf die Raumfläche bezogene Bewertungsleistung für Beleuchtung  $p_n$  ergibt sich unter Berücksichtigung des empfohlenen Wartungswertes der Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_m$  und wenn man den anrechenbaren Minderungsfaktor  $k_A$  nach Gleichung (8) hinzuzieht, nun zu:

$$p_n = \bar{E}_m \cdot p_{lx} \cdot k_A \tag{13}$$

<sup>3)</sup> Wird die Indirektbeleuchtung durch Stehleuchten realisiert, ergibt sich aufgrund des relativ geringen Abstands zwischen Bezugsfläche und Leuchtenhöhe ein größerer Raumindex und daher besonders in kleinen Räumen ein größerer Raumwirkungsgrad

Beleuchtungsart	Elektrische Anschlussleistung $p_{n,1lx}$ [W/(m <sup>2</sup> lx)]		
	EVG	VVG	KVG
Direkt	0,05	0,057	0,062
Direkt/Indirekt	0,06	0,068	0,074
Indirekt	0,10	0,114	0,123

**Tabelle 7:** Orientierungswerte für die spezifische Bewertungsleistung  $p_{1lx}$  für künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit der Beleuchtungsart für Langfeldleuchten und Räume mit kleinen Raumindizes.

**4.2 Vergleich mit detaillierten Berechnungen**

Zur Überprüfung sind einige Validierungsrechnungen mit einem führenden Lichtplanungsprogramm durchgeführt worden. Die Randbedingungen orientieren sich im Wesentlichen an den Randbedingungen aus Ziffer 4.1. Bei der Leuchtenauswahl wurde auf die Einhaltung der Mindestanforderungen an die Beleuchtung nach gültiger Norm geachtet. Dieses schließt neben dem Wartungswert der Beleuchtungsstärke auch die Güte der Blendungsbegrenzung mit ein und geht, da die Bereiche der Sehaufgabe nicht bekannt sind, von den in DIN EN 12464-1 [2] empfohlenen Flächen aus. In den folgenden Ergebnistabellen sind für die herangezogenen Leuchten neben dem Leuchtennamen auch Informationen zu

- der Systemleistung  $p_{sys}$ ,
- dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad  $\eta_{LB}$ ,
- der Bestückung,

- dem Gesamtlichtstrom der eingesetzten Lampen  $\Phi$ ,
- der Systemlichtausbeute  $\eta_s$ ,
- der benötigten Anzahl der Leuchten  $n$  zum Erreichen der Mindestanforderungen und
- die sich hieraus ergebenden spezifischen Bewertungsleistung  $p$  gegeben.<sup>4)</sup>

Der Mittelwert für die spezifische elektrische Bewertungsleistung der Beleuchtungsart »Direkt« beträgt  $25,56 \text{ W/m}^2$ . Aus den in Tabelle 8 und Bild 6 dargestellten Berechnungsergebnissen erkennt man dennoch eine erhebliche Streuung der Ergebnisse.

Für die Beleuchtungsart »Direkt/Indirekt« ergibt sich eine mittlere spezifische elektrische Bewertungsleistung von circa  $32,2 \text{ W/m}^2$ . In Tabelle 9 und Bild 7 sind die Daten und Berechnungsergebnisse für die Direkt-/Indirektleuchten dargestellt. Auch hier ergeben sich merkliche Streuungen.

<sup>4)</sup> Die Bewertungsleistung erhöht sich durch die Anpassung der Leuchtenanzahl auf ganzzahlige Mengen; in den meisten Fällen wird eine grade Anzahl an Leuchten installiert.

6 Verteilung der spezifischen Systembewertungsleistung der Direktleuchten.

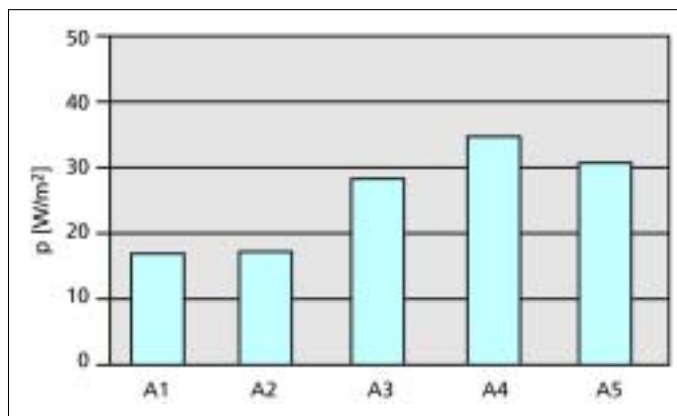


Tabelle 8: Berechnungsergebnisse für Direktleuchten mit EVG.

Leuchte	$P_{sys}$ [W]	$\eta_{LB}$ [-]	Bestückung [-]	$\Phi$ [lm]	$\eta_L$ [lm/W]	$n$ [-]	$p$ [W/m²]
A1	38	0,722	1 x FDH	3300	87	4	16,9
A2	31	0,676	1 x FDH	2600	84	5	17,2
A3	85	0,566	1 x FDH16	6510	77	3	28,3
A4	24	0,440	1 x FDH16	1970	82	13	34,7
A5	92	0,405	2 x FDH16	6700	73	3	30,7
<b>Mittel</b>							<b>25,56</b>

In Tabelle 10 und Bild 8 sind die entsprechenden Daten für die Indirektleuchten zusammengefasst. Der für die Beleuchtungsart »Indirekt« aus diesen Daten errechnete Mittelwert beträgt  $49,0 \text{ W/m}^2$ .

Es zeigt sich somit im Mittel eine jeweils gute Übereinstimmung mit den unter 4.1 spezifizierten Werten für einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke von  $500 \text{ lx}$ . Die Werte streuen jedoch zum Teil erheblich, was

- auf Abweichungen in der Lichtstärkeverteilung der Leuchten in den jeweiligen Leuchtenklassen (A, C, E), die sich auf den Raumwirkungsgrad auswirken,
- Variationen im Leuchtenbetriebswirkungsgrad (vor allem bei Direktbeleuchtung) und
- Variationen in der Systemlichtausbeute zurückzuführen ist.

**4.3 Parametrierung für andere Lampenarten**

Die ermittelten Tabellenwerte für das Tabellenverfahren gemäß Tabelle 7 basieren auf Anlagen mit stabförmigen Leuchtstofflampen. Sie stellen somit nur verlässliche Orientierungswerte für solche Anlagen dar. Werden Beleuchtungsanlagen mit anderen Lampentypen geplant, so können die elektrischen Anschlussleistungen von den in Tabelle 7 ermittelten Werten abweichen. Kompaktleuchtstofflampen haben im Allgemeinen eine geringere Lichtausbeute. Noch wesentlich geringer fallen die Lichtausbeuten von Glühlampen aus. Hochdruckentladungslampen, die oftmals noch mit KVGs betrieben werden, weisen in vielen Fällen ebenfalls geringere Systemlichtausbeuten auf. Die Korrekturfaktoren, die zur Skalierung der Werte  $p_{lx}$  in Tabelle 11 herangezogen werden, ergeben sich aus der Querauswertung gebräuchlicher Lampen nach den Angaben im »Osram Lichtprogramm 2004/2005« [11]:

$$p_n = \bar{E}_m \cdot p_{lx} \cdot k_A \cdot k_L \tag{14}$$

Die Korrekturfaktoren  $k_L$  beziehen sich auf die Werte für stabförmige Leuchtstofflampen mit EVGs in Tabelle 7.

Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass sich der Leuchtenbetriebswirkungsgrad nicht mit dem Lampentyp ändert. Die Werte

wurden aus typischen Leistungsbereichen, die in der Praxis zumeist zur Anwendung kommen, in Abstimmung mit dem ZVEI ermittelt. Die Lichtausbeuten hängen teilweise sehr stark von den Lampenleistungen ab. Auch spielen die Farbwiedergabeeigenschaften der unterschiedlichen Lampen eine Rolle. Der Tabelle wurden deshalb für die Innenbeleuchtung gebräuchliche Lampentypen zugrunde gelegt.

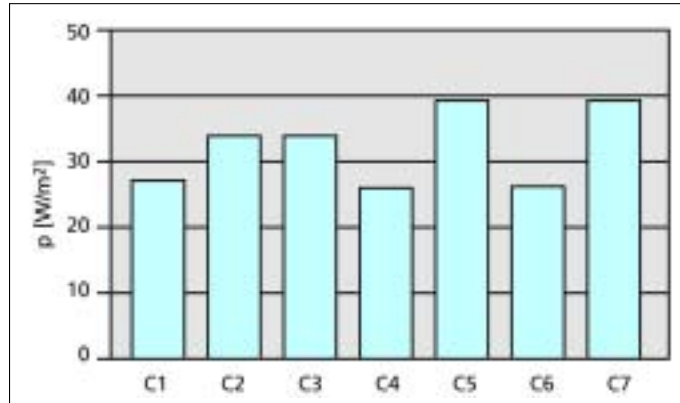
Des Weiteren ergeben sich aus der Lampengeometrie unterschiedliche Einflüsse auf die Ausführung der Reflektoren der Leuchten. Lampen mit stark lokalisiertem Brennpunkt, erlauben im Allgemeinen die Konstruktion effizienterer Reflektoren und somit die Realisierung höherer Leuchtenbetriebswirkungsgrade. Der Einfluss der Leuchte kann in dem Tabellenverfahren nicht berücksichtigt werden. Hierfür ist entweder das Wirkungsgradverfahren oder eine Fachplanung heranzuziehen.

#### 4.4 Parametrierung für andere Raumgeometrien

Wie bei der Beschreibung des Wirkungsgradverfahrens (vgl. Kapitel 3.2) bereits dargestellt, hat die Raumgeometrie einen signifikanten Einfluss auf die erforderliche elektrische Bewertungsleistung. Der Grund hierfür liegt in der Lichtabsorption an den Wänden

Lampenart	Faktor	
Glühlampen	6	
Halogenglühlampen	5	
Leuchtstofflampen kompakt	mit EVG	1,2
	mit VVG	1,4
	mit KVG	1,5
Metallhalogen dampf-Hockdruck mit KVG	1	
Natriumdampf-Hockdruck mit KVG	0,8	
Quecksilberdampf-Hochdruck mit KVG	1,7	

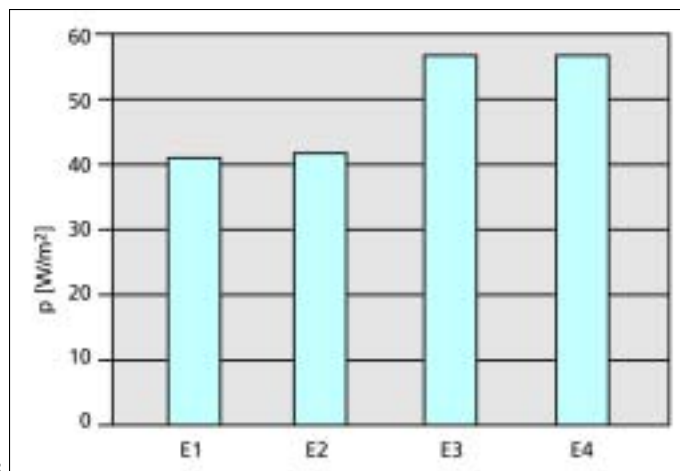
Tabelle 11: Übersicht über die sich einstellenden Korrekturfaktoren  $k_L$  verschiedener Lampenarten bezogen auf Tabelle 7.



7 Verteilung der spezifischen Systembewertungsleistung der betrachteten Direkt-/Indirektleuchten.

Tabelle 9: Berechnungsergebnisse für Direkt-/Indirektleuchten mit EVG.

Leuchte	$P_{sys}$ [W]	$\eta_{LB}$ [-]	Bestückung [-]	$\Phi$ [lm]	$\eta_L$ [lm/W]	n [-]	p [W/m²]
C1	61	0,799	1 x FDH16	4650	76	4	27,1
C2	61	0,788	1 x FDH16	4650	76	5	33,9
C3	61	0,753	1 x FDH16	4650	76	5	33,9
C4	78	0,783	2 x FDH16	6860	88	3	26,0
C5	118	0,750	2 x FDH16	9300	79	3	39,3
C6	118	0,859	2 x FDH16	9300	79	2	26,2
C7	123	0,757	2 x FDH	8900	72	3	39,3
<b>Mittel</b>							<b>32,2</b>



8 Verteilung der spezifischen Systembewertungsleistung der betrachteten Indirektleuchten.

Tabelle 10: Berechnungsergebnisse für Indirektleuchten mit EVG.

Leuchte	$P_{sys}$ [W]	$\eta_{LB}$ [-]	Bestückung [-]	$\Phi$ [lm]	$\eta_L$ [lm/W]	n [-]	p [W/m²]
E1	123	0,875	2 x FDH	8900	72	3	41,0
E2	75	0,657	2 x FDH	6600	88	5	41,7
E3	170	0,733	2 x FDH16	13020	77	3	56,7
E4	170	0,733	2 x FDH16	12360	73	3	56,7
<b>Mittel</b>							<b>49,0</b>



bei kleinen Räumen. Die Ausgangswerte (vgl. Tabelle 7) des Tabellenverfahrens sind für kleine Räume (Einzelbüros und Flure) mit ungünstigen Wirkungsgraden ermittelt worden, d. h. es kann ein Verbesserungspotential für andere Raumtypen erschlossen werden. Der sich aus dem reziproken Raumwirkungsgrad  $1/\eta_R$  einstellende Proportionalitätsfaktor des Wirkungsgradverfahrens wird daher zur Skalierung der elektrischen Bewertungsleistung im Tabellenverfahren genutzt. In Tabelle 12 sind die Werte nun gemäß Tabelle 3 und 4 und Bild 5 (Ziffer 3.2) auf die jeweiligen reziproken Raumwirkungsgrade des Grundfalls (Ziffer 4.1) der jeweiligen Beleuchtungsart normiert:

- $1/\eta_R = 1,93$  für Raumindex  $k = 0,67$  bei Direktbeleuchtung
- $1/\eta_R = 2,43$  für  $k = 0,86$  bei direkter-/indirekter Beleuchtung
- $1/\eta_R = 4,03$  für  $k = 0,86$  bei indirekter Beleuchtung

Die Werte in Tabelle 12 für Raumindizes  $k = 0,7$  und  $k = 0,9$ , für die in dem Diskretisierungsschema der Raumwirkungsgrade gemäß LiTG-Publikation [5] eigentlich keine Angaben vorgesehen sind, wurden polynomisch interpoliert. Diese explizite Bereitstellung zusätzlicher Werte erscheint sinnvoll, da sich im Wertebereich der Raumindizes zwischen 0,6 und 1 die größte Dynamik einstellt.

Werte aus Tabelle 7 können wie folgt mit den Anpassungsfaktoren nach Tabelle 12 skaliert werden:


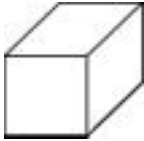

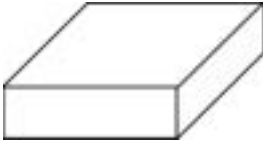
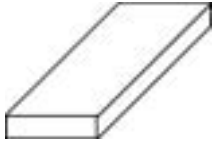
$$p_n = \bar{E}_m \cdot p_{lx} \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_R \tag{15}$$

Aus Gründen der Vereinfachung bietet es sich im Gesamtzusammenhang der Norm DIN-V 18599 an, typische Raumindizes für die unterschiedlichen Nutzungsprofilen in den Übersichtstabellen in DIN-V 18599-10 anzugeben.

Tabelle 12: Anpassungsfaktoren  $k_R$  zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumauslegung in Abhängigkeit vom Raumindex  $k$ .

Beleuchtungsart	Raumindex $k$											
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
direkt	1,08	0,97	0,89	0,82	0,77	0,68	0,63	0,58	0,55	0,53	0,51	0,48
direkt/indirekt	1,33	1,17	1,06	0,97	0,90	0,79	0,72	0,64	0,58	0,56	0,53	0,53
indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52	0,47	0,44	0,41	0,41

Tabelle 13: Fünf beispielhafte Raumtypen mit Angabe von  $\eta_R$  und  $1/\eta_R$  für Beleuchtungsart direkt/indirekt.

Raumtyp 1	Raumtyp 2	Raumtyp 3	Raumtyp 4	Raumtyp 5
sehr schmal	schmal	kompakt	ausgedehnt	sehr ausgedehnt
z.B. Flur	z.B. Einzelbüro	z.B. Gruppenbüro	z.B. Konferenzraum	z.B. Halle
				
$k = 0,69$	$k = 0,98$	$k = 1,91$	$k = 2,86$	$k = 4,4$
$k_R = 1,2$ ( $\eta_R = 0,35$ ; $1/\eta_R = 2,89$ )	$k_R = 0,91$ ( $\eta_R = 0,45$ ; $1/\eta_R = 2,21$ )	$k_R = 0,65$ ( $\eta_R = 0,63$ ; $1/\eta_R = 1,59$ )	$k_R = 0,56$ ( $\eta_R = 0,73$ ; $1/\eta_R = 1,37$ )	$k_R = 0,54$ ( $\eta_R = 0,88$ ; $1/\eta_R = 1,14$ )

#### 4.6 Beispiele

Die durch das Tabellenverfahren zu ermittelnden elektrischen Bewertungsleistungen werden für die unterschiedlichen Verfahrensparameter in einigen Beispielen kurz dargestellt. Sämtliche Werte beziehen sich hier vereinfachend auf einen Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe von 500 lx und 300 lx im Umfeld.

Tabelle 15 enthält die möglichen installierten elektrischen Bewertungsleistungen in Abhängigkeit der

- Beleuchtungsart
- des Lampentyps
- für exemplarische Belegungsfaktoren [1;0,5;0,3], was in Minderungsfaktoren  $k_A$  von [1;0,8;0,72] resultiert,
- und der Raumgeometrieparameter nach Tabelle 13 und 14.

Der große Einfluss der Raumgeometrie wird ersichtlich und erschließbar. Beispielhaft sind in Bild 9 die spezifische, elektrische Bewertungsleistung für die Beleuchtungsart »Direkt/Indirekt« für die verschiedenen nach Tabelle 15 konfigurierten Beleuchtungssysteme bei einem Minderungsfaktor  $k_A = 0,8$  aufgetragen.

#### 5 Zusammenfassung

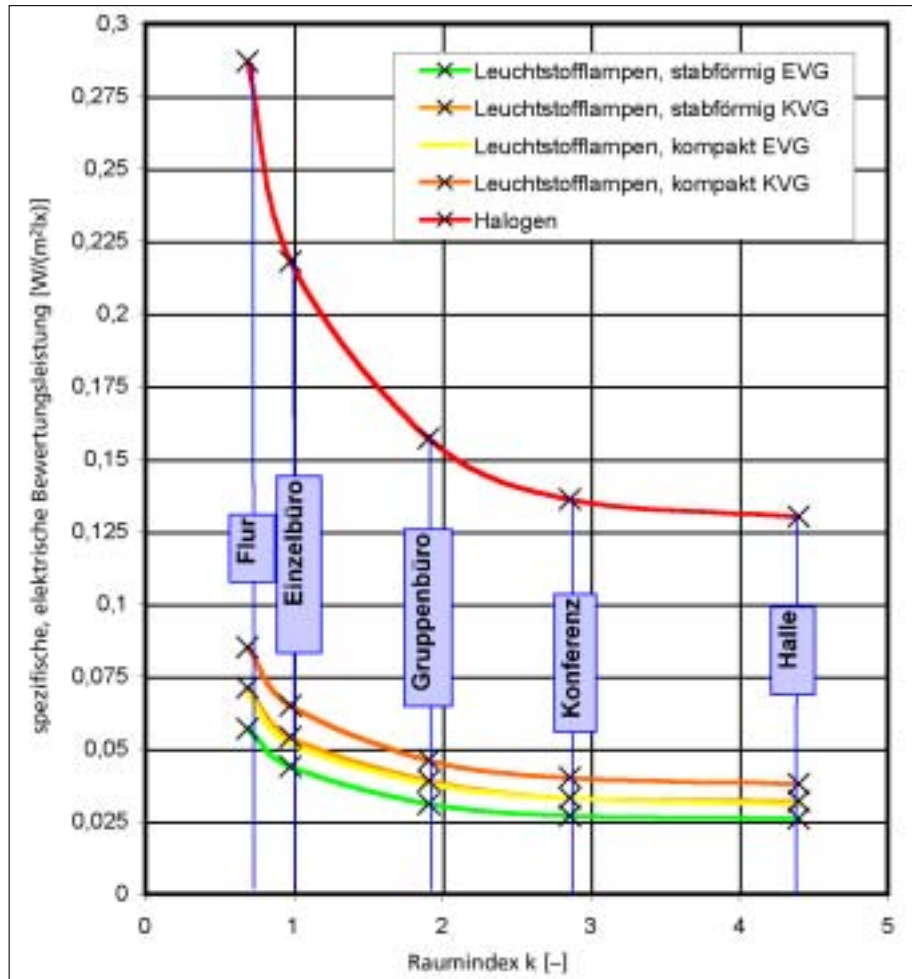
Das zur Umsetzung der europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erforderliche beleuchtungstechnische Berechnungsverfahren der Norm DIN V 18599-4 wird auch die Auslegung von Kunstlichtanlagen berücksichtigen. Hierzu ist in Deutschland ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungs-

Raumtyp	Beleuchtungsart	Breite	Tiefe	Höhe	Nutz- ebene	Pendel- höhe	Raum index k	$\eta_R$	$1/\eta_R$	$k_R$
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[-]
1 sehr schmal	direkt (nicht abgependelt)	1,5	6	3	0,75	0	0,53	0,44	2,27	1,16
	direkt / indirekt (abgependelt)	1,5	6	3	0,75	0,5	0,69	0,35	2,89	1,19
	indirekt (abgependelt)	1,5	6	3	0,75	0,5	0,69	0,20	5,08	1,28
2 schmal	direkt (nicht abgependelt)	3	4	3	0,75	0	0,76	0,57	1,76	0,92
	direkt / indirekt (abgependelt)	3	4	3	0,75	0,5	0,98	0,45	2,21	0,91
	indirekt (abgependelt)	3	4	3	0,75	0,5	0,98	0,28	3,52	0,87
3 kompakt	direkt (nicht abgependelt)	10	5	3	0,75	0	1,48	0,82	1,23	0,64
	direkt / indirekt (abgependelt)	10	5	3	0,75	0,5	1,91	0,64	1,57	0,65
	indirekt (abgependelt)	10	5	3	0,75	0,5	1,91	0,47	2,14	0,53
4 ausgedehnt	direkt (nicht abgependelt)	10	10	3	0,75	0	2,22	0,91	1,10	0,57
	direkt / indirekt (abgependelt)	10	10	3	0,75	0,5	2,86	0,73	1,37	0,56
	indirekt (abgependelt)	10	10	3	0,75	0,5	2,86	0,56	1,79	0,44
5 sehr ausgedehnt	direkt (nicht abgependelt)	20	50	5	0,75	0	3,36	0,99	1,01	0,52
	direkt / indirekt (abgependelt)	20	50	5	0,75	1	4,40	0,81	1,24	0,54
	indirekt (abgependelt)	20	50	5	0,75	1	4,40	0,63	1,58	0,42

Tabelle 14: Zusammenstellung der im Beispiel betrachteten Raumtypen mit den jeweiligen Raumparametern.

Tabelle 15: Zusammenstellung der flächenbezogenen elektrischen Bewertungsleistung der betrachteten Raumbeispiele nach Tabelle 12 bezogen auf 1 lx.

Raumtyp	Lampentyp	Spezifische, elektrische Bewertungsleistung [W/(m <sup>2</sup> lx)]								
		Minderungsfaktor $k_a$								
		1			0,8			0,72		
		Beleuchtungsart			Beleuchtungsart			Beleuchtungsart		
	Direkt	Direkt/ Indirekt	Indirekt	Direkt	Direkt/ Indirekt	Indirekt	Direkt	Direkt/ Indirekt	Indirekt	
1 sehr schmal	Leuchtstofflampen, stabförmig EVG	0,058	0,072	0,128	0,047	0,057	0,102	0,042	0,052	0,0918
	Leuchtstofflampen, stabförmig KVG	0,072	0,088	0,157	0,057	0,071	0,126	0,052	0,063	0,113
	Leuchtstofflampen, kompakt EVG	0,070	0,086	0,153	0,056	0,069	0,122	0,050	0,062	0,11
	Leuchtstofflampen, kompakt KVG	0,086	0,106	0,189	0,069	0,085	0,151	0,062	0,076	0,136
	Halogen	0,291	0,358	0,638	0,233	0,287	0,510	0,209	0,258	0,459
2 schmal	Leuchtstofflampen, stabförmig EVG	0,046	0,055	0,087	0,037	0,044	0,070	0,033	0,039	0,063
	Leuchtstofflampen, stabförmig KVGa	0,056	0,067	0,107	0,045	0,054	0,086	0,041	0,048	0,077
	Leuchtstofflampen, kompakt EVG	0,055	0,066	0,104	0,044	0,052	0,084	0,040	0,047	0,075
	Leuchtstofflampen, kompakt KVG	0,068	0,081	0,129	0,054	0,065	0,103	0,049	0,058	0,093
	Halogen	0,229	0,273	0,435	0,183	0,218	0,348	0,165	0,197	0,313
3 kompakt	Leuchtstofflampen, stabförmig EVG	0,032	0,039	0,053	0,025	0,031	0,043	0,023	0,028	0,038
	Leuchtstofflampen, stabförmig KVG	0,039	0,048	0,065	0,031	0,039	0,052	0,028	0,035	0,047
	Leuchtstofflampen, kompakt EVG	0,038	0,047	0,064	0,031	0,038	0,051	0,028	0,034	0,046
	Leuchtstofflampen, kompakt KVG	0,047	0,058	0,079	0,038	0,046	0,063	0,034	0,042	0,057
	Halogen	0,159	0,196	0,266	0,127	0,157	0,213	0,115	0,141	0,191
4 ausgedehnt	Leuchtstofflampen, stabförmig EVG	0,028	0,034	0,044	0,023	0,027	0,035	0,020	0,024	0,032
	Leuchtstofflampen, stabförmig KVG	0,035	0,042	0,055	0,028	0,033	0,044	0,025	0,030	0,039
	Leuchtstofflampen, kompakt EVG	0,034	0,041	0,053	0,027	0,033	0,043	0,024	0,029	0,038
	Leuchtstofflampen, kompakt KVG	0,042	0,050	0,066	0,034	0,040	0,052	0,030	0,036	0,047
	Halogen	0,142	0,169	0,222	0,113	0,136	0,177	0,102	0,122	0,16
5 sehr ausgedehnt	Leuchtstofflampen, stabförmig EVG	0,026	0,032	0,042	0,021	0,026	0,034	0,019	0,023	0,03
	Leuchtstofflampen, stabförmig KVG	0,032	0,040	0,052	0,026	0,032	0,041	0,023	0,029	0,037
	Leuchtstofflampen, kompakt EVG	0,031	0,039	0,050	0,025	0,031	0,040	0,023	0,028	0,036
	Leuchtstofflampen, kompakt KVG	0,039	0,048	0,062	0,031	0,038	0,050	0,028	0,035	0,045
	Halogen	0,131	0,162	0,210	0,105	0,130	0,168	0,094	0,117	0,151
	Metallhalogendampf, KVG	0,026	0,032	0,042	0,021	0,026	0,034	0,019	0,023	0,030



9

9 Elektrische Bewertungsleistung nach dem Tabellenverfahren in Abhängigkeit beispielhafter Raumgeometrien [Flur, Einzelbüro, Gruppenbüro, Konferenz, Halle] für unterschiedliche Lampentypen und elektrische Betriebsgeräte für die Beleuchtungsart Direkt/Indirekt bei einem Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe von  $k_A=0,8$ .

leistung erarbeitet worden. Das Verfahren wird ab 2006 in Deutschland eingeführt.

Die Entwicklung des Verfahrens ist in diesem Artikel ausführlich beschrieben worden. Einflussparameter und deren Auswirkungen auf die elektrische Bewertungsleistung wurden detailliert diskutiert. Die Auslegung der Parameter erfolgt derart, dass die Berechnungsergebnisse für eine Vielzahl auftretender Anwendungsfälle gute Übereinstimmungen erzielen. Im Rahmen dieses Nachweisverfahrens kann der Nachweisführende die Berechnungsart selber festlegen. Auf diese Weise kann der Aufwand für den Nachweis des elektrischen Energiebedarfs für künstliche Beleuchtung kontrolliert werden.

Das hier vorgestellte Nachweisverfahren wurde so ausgelegt, dass es zwar auch von Personen ohne lichttechnische Vorkennt-

nisse angewendet werden kann. Bei der Energiebedarfsberechnung ist lichtplanerische Erfahrung jedoch Voraussetzung, um Einsparpotentiale zu identifizieren, voll auszuschöpfen und die Güte Merkmale einer guten Beleuchtung sicherzustellen. Eine übertriebene Energieeffizienz darf nicht auf Kosten der Güte der Beleuchtung gehen.

### 6 Literatur

- [1] Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; 2002
- [2] DIN EN 12464-1 Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Beuth Verlag GmbH; 2003
- [3] ZVEI-Leitfaden zur DIN EN 12464-1, ZVEI, Frankfurt; 2005.
- [4] Knoop, T.; Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme auf der Basis von Installationsbussen; Dissertation TU Berlin, erschienen in Fortschr.-Ber. VDI Reihe 6 Nr. 396, Düsseldorf: VDI Verlag, ISBN 3-18-339606-8; 1998
- [5] LiTG-Publikation Nr. 3.5; Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren; 1988
- [6] DIN 5040 Leuchten für Beleuchtungszwecke; Beuth Verlag GmbH; 1976
- [7] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [8] DIN V 18599, Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- [9] Lange, H. (Hrsg.); Handbuch der Beleuchtung; Landsberg: ecomed, 5. Auflage, ISBN 3-609-75390-0; 1992
- [10] Hentschel, H.-J. (Hrsg); Licht und Beleuchtung: Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik; Hüthig GmbH & Co. Kg Heidelberg, 5. Auflage, 2002.
- [11] Osram, Lichtprogramm 2004/2005