



# Beleuchtung im Dienstleistungssektor

Ein Technologieratgeber



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Beleuchtungsqualität und Beleuchtungseffizienz im Dienstleistungssektor – Einführung und technische Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
1.1	Einführung .....	3
1.2	Qualitativ hochwertige Beleuchtung – eine Frage des Systemdesigns .....	3
1.3	Beleuchtungsqualität.....	4
1.3.1	Wahrnehmung von Licht .....	4
1.3.2	Basisparameter der Beleuchtung: Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke ...	6
1.3.3	Farbtemperatur und Farbwiedergabe .....	8
1.3.4	Lampenlebensdauer, Lichtstromerhalt, Schaltfestigkeit.....	9
1.4	<b>Gesundheits- und Umweltaspekte</b> .....	<b>11</b>
1.4.1	Quecksilber .....	11
1.4.2	UV-Strahlung und elektromagnetische Emissionen .....	11
1.4.3	Blaulichtgefährdung.....	12
1.4.4	Weitere Umweltwirkungen –Lichtverschmutzung.....	13
1.5	<b>Beleuchtungseffizienz</b> .....	<b>13</b>
1.5.1	Lampen .....	13
1.5.2	Vorschaltgeräte.....	13
1.5.3	Leuchten .....	14
<b>2</b>	<b>Lampentypen – Qualität, Effizienz, Einsatzbereich</b> .....	<b>15</b>
2.1	<b>Leuchtstofflampen</b> .....	<b>15</b>
2.1.1	Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz .....	15
2.1.2	Anwendungsbereiche und Kosten.....	18
2.2	<b>Halogenleuchtstofflampen</b> .....	<b>20</b>
2.2.1	Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz .....	20
2.2.2	Anwendungsbereiche und Kosten.....	22
2.3	<b>LED-Lampen</b> .....	<b>23</b>
2.3.1	Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz .....	23
2.3.2	Anwendungsbereiche und Kosten.....	26
2.4	<b>Hochdruckentladungslampen (Halogenmetall dampflampen)</b> .....	<b>29</b>
2.4.1	Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz .....	29
2.4.2	Anwendungsbereiche und Kosten.....	30
2.5	<b>Internationale Standards und Labels für Lampen und Vorschaltgeräte</b> .....	<b>31</b>
2.5.1	EU-Mindeststandards und Labels .....	31
2.5.2	Richtlinien und Standards für die Gestaltung von Beleuchtungssystemen .....	37
2.5.3	Internationale Qualitäts- und Effizienzstandards für LEDs.....	37
<b>3</b>	<b>Leuchten</b> .....	<b>39</b>
3.1	<b>Leuchteneffizienz und Leuchtenqualität</b> .....	<b>39</b>

3.2	<b>Leuchtenbauformen und Anwendungsbereiche .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>Regelung und Steuerung .....</b>	<b>46</b>
4.1	<b>Allgemeines .....</b>	<b>46</b>
4.2	<b>Lichtregelung.....</b>	<b>46</b>
4.3	<b>Komponenten .....</b>	<b>47</b>
4.4	<b>Technik und Protokolle.....</b>	<b>47</b>
4.5	<b>Sensoren und richtiger Einsatz .....</b>	<b>48</b>
4.6	<b>Richtige Planung und Herausforderungen beim Betrieb .....</b>	<b>49</b>
4.7	<b>Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>50</b>
4.8	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Grundlagen der Beleuchtungsplanung .....</b>	<b>52</b>
5.1	<b>Einführung .....</b>	<b>52</b>
5.2	<b>Rechtliche Grundlagen und Standards .....</b>	<b>53</b>
5.2.1	Neue Aspekte zur ÖNORM EN 12464-1 im Überblick .....	53
5.2.2	Beleuchtung von Arbeitsplätzen.....	54
5.2.3	Beleuchtungsstärken für Wände und Decken .....	55
5.2.4	Blendung und Blendungsbegrenzung.....	55
5.2.5	Bewertungsraster für Beleuchtungsstärke und Helligkeitsverteilung.....	57
5.2.6	Räumliche Beleuchtung .....	57
5.2.7	Wartung der Beleuchtungsanlage .....	58
5.3	<b>Überblick über den Schweizer MINERGIE-Standard für Beleuchtung.....</b>	<b>61</b>
5.4	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>Außenbeleuchtung.....</b>	<b>63</b>
6.1	<b>Allgemeine Aspekte zur Außenbeleuchtung im Dienstleistungssektor .....</b>	<b>63</b>
6.2	<b>Lampentechnologien .....</b>	<b>64</b>
6.2.1	Leuchtstofflampen.....	64
6.3	<b>Hochdruck-Quecksilberdampflampen .....</b>	<b>65</b>
6.4	<b>Natriumhochdruck-dampflampen.....</b>	<b>65</b>
6.5	<b>Metallampflampen.....</b>	<b>65</b>
6.6	<b>LED-Lampen .....</b>	<b>65</b>
6.7	<b>Mindestanforderungen zur Lampeneffizienz und –qualität auf Basis der EU-Verordnungen .....</b>	<b>66</b>
6.8	<b>Vorschaltgeräte und Leuchten .....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>Quellen- und Literaturhinweise .....</b>	<b>77</b>

# 1 Beleuchtungsqualität und Beleuchtungseffizienz im Dienstleistungssektor – Einführung und technische Grundlagen

## 1.1 Einführung

Die vorliegende Broschüre vermittelt Grundlagen zur energieeffizienten Gestaltung von qualitativ hochwertiger Beleuchtung im Dienstleistungssektor. Der Schwerpunkt des Leitfadens liegt dabei im Bereich Innenbeleuchtung für Dienstleistungsgebäude. Zum Thema Außenbeleuchtung für Straßen und Plätze werden einige grundlegende Aspekte im abschließenden Kapitel 6 behandelt.

Der Leitfaden wendet sich an Betroffene und interessierte Akteure, die mit der Neugestaltung oder Optimierung von Beleuchtungssystemen befasst sind. Die Broschüre ist kein Planungsleitfaden sondern stellt vielmehr essentielles Basiswissen für die Beurteilung und Auswahl von Beleuchtungssystemen zur Verfügung.

In verschiedenen Sektoren des Dienstleistungssektors, insbesondere in Bürogebäuden, Shops etc. wird heute ein großer Teil des Stromverbrauches für Beleuchtungszwecke aufgewendet. Der Anteil liegt heute je nach Branche und Alter der Gebäudetechnischen Ausstattung zwischen 20 und 30%. Obwohl in Dienstleistungsgebäuden schon lange eine deutlich effizientere Beleuchtungstechnologie eingesetzt wird als beispielsweise im Haushaltsbereich, können auch hier durch Anwendung effizienter Lampen und Leuchten Hardware sowie Steuerungs- und Regelungs-

technik bis zu 50% und mehr an Stromkosten eingespart werden.

Im folgenden Ratgeber werden zunächst allgemeine Grundlagen zur Beleuchtung erläutert. Im Weiteren werden die verschiedenen Technologien für Lampen, Leuchten und Steuerung/Regelung vorgestellt und insbesondere Optionen für effiziente und qualitativ hochwertige Lösungen vorgestellt.

## 1.2 Qualitativ hochwertige Beleuchtung – eine Frage des Systemdesigns

Qualitativ hochwertige und zugleich energieeffiziente Beleuchtung wird insbesondere im Dienstleistungs- und Wohnbau-sektor immer mehr zu einem Standardanspruch, der durch geeignete moderne Beleuchtungskonzepte entsprechend zu erfüllen ist. Im Wohnsektor hat unter anderem die kontroverse Diskussion um die Glühlampen und Energiesparlampen bzw. Leuchtstofflampen einmal mehr gezeigt, dass gute Beleuchtungskonzepte nicht auf das Kriterium der Energieeffizienz reduziert werden können, sondern eine ganzheitliche Betrachtungsweise erforderlich ist.

Qualitativ hochwertiges Beleuchtungsdesign verfolgt im Wesentlichen folgende zentrale Zielsetzungen:

- die bestmögliche Unterstützung von visuellen Aufgaben

- eine optimierte Gesamtbeleuchtung im Raum, die das Wohlbefinden der RaumnutzerInnen unterstützt
- hohe Effizienz bezogen auf den Energieverbrauch und die Lebenszykluskosten

Faktoren wie funktionsgerechtes Design, angenehme Lichtfarbe und gute Farbwiedergabe sind dabei ebenso wesentlich wie eine möglichst geringe Belastung von Gesundheit und Umwelt, beispielsweise durch UV-Strahlung oder Giftstoffe.

Gutes Beleuchtungsdesign ist somit eine komplexe Aufgabe und setzt gleichermaßen hohe Expertise im Bereich der Technologiehardware, d.h. der Leuchtmittel (Lampen), Leuchten und Regelungs-/Steuerungskomponenten wie auch der Beleuchtungssystemplanung voraus. Eine entsprechend hohe Qualität und Effizienz wird durch die Optimierung des Gesamtsystems erreicht. Ein weiterer wesentlicher Faktor ist schließlich auch das Nutzungsverhalten.

Die heute verfügbaren Lampen- und Leuchtentechnologien ermöglichen unterschiedlichste Lichtqualitäten. Die ideale Beleuchtungslösung ist daher wesentlich vom jeweiligen Anwendungszweck abhängig. Große Erwartungen werden heute in die LED-Technologie gesetzt, die für verschiedene Anwendungsbereiche bereits sehr gute, jedoch noch relativ teure Produkte bietet.

Der vorliegende Technologieratgeber bietet einen Überblick über die aktuell verfügbaren Technologien für Beleuchtungskomponenten und -systeme für Innenbeleuchtung sowie Informationen zu den Aspekten Qualität, Energieeffizienz und Kosten. Dabei werden auch die derzeit sinnvollen Anwendungsmöglichkeiten der LED-Technologie berücksichtigt und die rechtlichen Rahmenbedingungen im

Bereich Innenbeleuchtung auf EU-Ebene dargestellt.

### **1.3 Beleuchtungsqualität**

#### **1.3.1 Wahrnehmung von Licht**

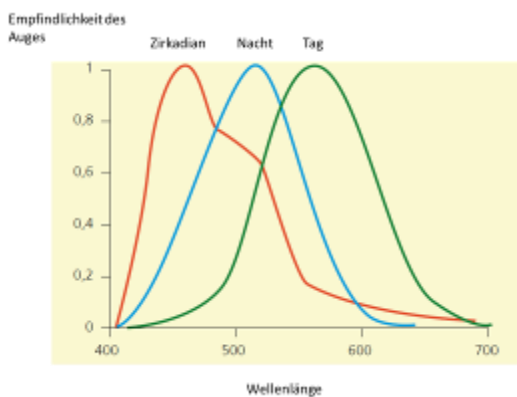
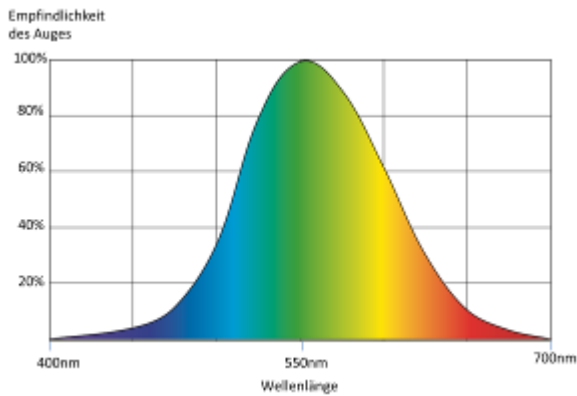
Für die Gestaltung hochwertiger Beleuchtungssysteme spielt neben grundlegenden Aspekten wie entsprechende Helligkeit für die zu unterstützenden Sehaufgaben und Energieeffizienz vor allem die Beleuchtungsqualität eine wesentliche Rolle.

Die vom Menschen wahrgenommene Beleuchtungsqualität wird durch die Wahrnehmungsfähigkeit des Auges sowie die Lichtsensitivität des menschlichen Körpers insgesamt bestimmt.

Für die Gestaltung qualitativ hochwertiger Beleuchtung für unterschiedliche Anwendungszwecke ist daher zu berücksichtigen, wie wir Licht wahrnehmen, wie Licht rein visuelle Aufgaben optimal unterstützt und wie Licht letztendlich auf unser Gesamtbefinden wirkt.

Das Sehvermögen des menschlichen Auges ist grundsätzlich auf den Spektralbereich von ca. 400 nm bis 700 nm eingeschränkt. Licht mit einer Wellenlänge von etwa 600 nm sehen wir als rot, Wellenlängen um 400 nm erscheinen als blau.

Die unterschiedliche Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Wellenlängen ist ausschlaggebend für den Helligkeitseindruck von Licht mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung. Die spektrale Helligkeitsempfindlichkeit des Auges hat bei Tageslicht ein Maximum bei 555 nm (grün-gelb) und sinkt bei 360 nm und 830 nm nahezu auf null. Wir sehen daher im Spektralbereich rund um 555 nm am besten. Die maximale Empfindlichkeit des Nachtsehens liegt etwas tiefer bei etwa 507 nm.



**Abbildung 1-1: Darstellung der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei Tag und bei Nacht sowie Empfindlichkeit für tageslichtgesteuerte tagesrhythmische (zirkadiane) Prozesse.**

Der biologische 24-Stunden-Rhythmus des Menschen wird vor allem durch Licht im Bereich der Wellenlänge 480 nm beeinflusst.

Auf der Netzhaut des Auges befinden sich viele Millionen Lichtrezeptoren, sogenannte Zapfen und Stäbchen. Die Zapfen als kleinerer Teil der Rezeptoren sind für die Farbwahrnehmung bei ausreichender Lichtstärke verantwortlich. Sie sind viel weniger lichtempfindlich als Stäbchen, sind jedoch sensitiv bezüglich der Wellenlänge bzw. Lichtfarbe. Es gibt 3 Zapfentypen mit unterschiedlicher Sensitivität:

- L-Zapfen (L für Long), Absorptionsmaximum bei etwa 560 nm
- M-Zapfen (M für Medium), Absorptionsmaximum bei etwa 530 nm

- S-Zapfen (S für Short), Absorptionsmaximum bei etwa 420 nm

Stäbchen sind wesentlich lichtempfindlicher, aber nicht farbsensitiv. Sie sind für das „Nachtsehen“ zuständig.

Für das Qualitätsempfinden spielen unter anderem die Farbtemperatur und die Farbwiedergabe der Lichtquelle eine wesentliche Rolle, wobei für Büroanwendungen zumeist neutralweißes Licht, für Haushaltsanwendungen warmweißes Licht bevorzugt wird (siehe Abschnitt 1.1.3 für Details zu diesen Aspekten).

Neben der visuellen Wahrnehmung sind auch indirekte Wirkungen des Lichtes zu berücksichtigen. Licht wirkt über die Hypophyse im Gehirn auch auf den Stoffwechsel und den Hormonhaushalt. Der biologische Rhythmus wird vorwiegend durch das Tageslicht bestimmt.

Eine entsprechende Lichtqualität verhindert eine vorzeitige Ermüdung auch bei Tätigkeiten ohne spezielle visuelle Leistungen und verbessert die Motivation. Wichtig ist dabei nicht nur die Arbeitsplatzbeleuchtung, sondern auch die Raumbelichtung insgesamt. Unter anderem wurden folgende Auswirkungen von Licht nachgewiesen:

- Beeinflussung der Dauer und Tiefe des Schlafes
- Regulierung des Schlaf-Wach-Rhythmus
- Erhöhung der Leistungsfähigkeit

Die menschlichen Körperfunktionen folgen tageszeitlichen Rhythmen. Alle biochemisch kontrollierten Funktionen haben im Laufe eines Tages ihre individuellen Hoch- und Tiefpunkte. Licht wirkt je nach spektraler Zusammensetzung aktivierend oder dämpfend auf diese Körperfunktionen. Der Stoffwechsel wird damit über die Aktivierung von Hormonen und Enzymen

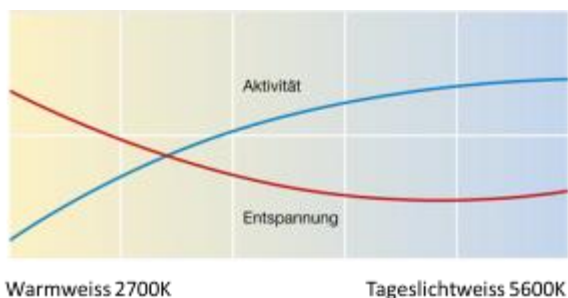
entsprechend an die Tageszeiten angepasst.

Die Lichtrezeptoren in der Netzhaut des Auges, die für diese Steuerung ausschlaggebend sind, wurden erst 2002 entdeckt. Blaues Licht (im Bereich von etwa 480 nm) hemmt die Produktion des Hormons Melatonin, das für die Ermüdung verantwortlich ist, und wirkt damit aktivierend. Umgekehrt hat rotes Licht entspannende Wirkung.

Die biologische Wirksamkeit des blauen Lichtes wird mittlerweile in dynamischen Beleuchtungssystemen zur Unterstützung von Tageslicht eingesetzt. Moderne Beleuchtungskonzepte stellen dafür Licht unterschiedlicher Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke bereit. Künstliches Licht entsprechender Farbqualität kann so die positiven Effekte des Tageslichts auf den menschlichen Organismus unterstützen und den biologischen Rhythmus stabilisieren.

Dies ist insbesondere für Büros mit beschränktem Angebot an Tageslicht nützlich (dichte Bebauung, Arbeitsplatz weit vom Fenster entfernt etc.).

**Abbildung 1-2** zeigt die Abhängigkeit der Aktivierungswirkung von der Lichtfarbe.



**Abbildung 1-2: Aktivierende und entspannende Wirkung der Lichtfarbe**

In modernen dynamischen Beleuchtungskonzepten kann die Lichtintensität und Lichtfarbe verschiedener Beleuchtungskomponenten in Büros, Krankenhäusern und anderen Anwendungsbereichen gere-

gelt werden, um entspannende oder aktivierende Wirkung zu erzielen.

Diese unterschiedlichen Facetten der Wirkung von Licht zeigen bereits, welche Möglichkeiten eine ganzheitliche Betrachtung des Themas Lichtqualität bietet.

Grundsätzlich ist dabei zu berücksichtigen, dass diese neuen Möglichkeiten nur dann nützlich sind, wenn sie auch sinnvoll eingesetzt werden. Bei Neuplanungen ist eine optimale Nutzung von Tageslicht kompensatorischen Maßnahmen mit Kunstlicht vorzuziehen. Basis für eine sinnvolle Anwendung ist ein entsprechendes Management der Systeme sowie eine umfassende Information der NutzerInnen. Auch hinsichtlich der Bewertung möglicher Risiken bzw. unerwünschter Nebeneffekte ist dieses Thema noch keineswegs abgeschlossen, sondern wird derzeit intensiv geforscht.

Weitere Aspekte dazu finden sich im Abschnitt zum Thema Lichtplanung.

### 1.3.2 Basisparameter der Beleuchtung: Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke

Für das Design von Beleuchtungssystemen oder lokalen Beleuchtungen ist zunächst wesentlich, wie viel Licht konkret an welchem Ort zur Verfügung gestellt bzw. für den Anwender nutzbar sein soll. In diesem Zusammenhang sind die Kenngrößen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte entscheidend.

#### Lichtstrom

Der sogenannte Lichtstrom (Maßeinheit Lumen, lm) ist ein Maß für die gesamte Lichtmenge, die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgegeben wird. Da das menschliche Auge nicht für alle Lichtfarben gleich empfindlich ist, wird der Lichtstrom hinsichtlich der spektralen Empfindlichkeit korrigiert. Grünes Licht wird dabei

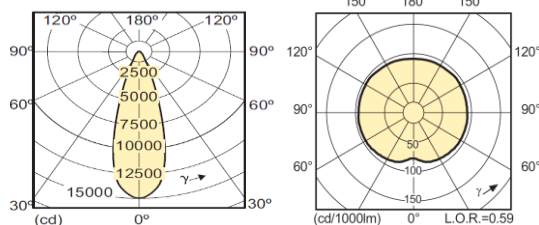
entsprechend höher gewichtet als rotes oder blaues.

Der Lichtstrom in Lumen gibt somit an, wie viel nutzbares Licht vom Leuchtmittel zur Verfügung gestellt wird. Angaben zum Lichtstrom der Lampenmodelle sollen zukünftig zunehmend die Klassifizierung der Lampen mittels Wattangaben ablösen. Die Wattangabe bietet keine Information zur Lichtleistung, sondern lediglich zum Energiebedarf der Lampe.

### Lichtstärke

Für die Gestaltung von anwendungsgerechten Beleuchtungslösungen ist die Kenntnis des Lichtstroms der Lampe natürlich nicht ausreichend. Entscheidend ist darüber hinaus, wie das Licht im Raum verteilt wird bzw. wie viel Licht auf der zu beleuchtenden Fläche auftrifft und welcher Anteil des Lichts wiederum in das Auge des Betrachters gelangt.

Die Lichtstärke gibt die Intensität des Lichtes in eine bestimmte Richtung, d.h. den Lichtstrom in einem bestimmten Raumwinkel an. Sie wird in Candela (Cd) angegeben, wobei 1 Candela etwa der Intensität einer Kerze entspricht. Die räumliche Verteilung der Lichtstärken einer Lichtquelle wird mit Lichtstärkeverteilungskurven (LVK, Abb. 1-3) beschrieben.



**Abb. 1-3: Lichtstärkeverteilungskurven unterschiedlicher Lampentypen (Spotlampe und Lampe mit ungebündeltem Licht)**

LVKs geben für jede Richtung im Raum (sogenannte C-Ebenen) und für jeden Abstrahlwinkel die Lichtstärke einer Lichtquelle an. Lichtstärkeverteilungskurven können je nach Quelle mehr oder weniger symmetrisch sein. Die Summe der Lichtintensitäten im Raum ergibt wiederum den Gesamtlichtstrom. LVKs werden in den Produktinformationen für Lampen leider nicht standardmäßig publiziert und sind daher nicht für alle Leuchtmittel ohne weiteres zugänglich.

Spotlampen und klassische Birnenlampen unterscheiden sich erwartungsgemäß deutlich in der Abstrahlcharakteristik (siehe Abbildung 1-3). Weniger bekannt ist, dass birnenförmige LED-Lampen hinsichtlich der Abstrahlcharakteristik sehr unterschiedlich sein können und je nach Lampenmodell nicht unbedingt eine glühbirnenähnliche Lichtverteilung, sondern eher Spotcharakter aufweisen.

### Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke gibt an, wie viel Licht bei einem bestimmten Objekt ankommt bzw. welcher Lichtstrom auf eine bestimmte zu beleuchtende Fläche auftrifft. Sie ist abgesehen vom Leuchtmittel natürlich auch von der Art und Positionierung der Leuchte abhängig. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (Lx) angegeben, wobei 1 Lux 1 Lumen/m<sup>2</sup> entspricht. Für Leseaufgaben sind ca. 500 Lux erforderlich. Tabelle 1-1 zeigt typische Anforderungen an die Beleuchtungsstärke für verschiedene Anwendungen in Anlehnung an ÖNORM EN 12464-1 (Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung, 2011).

**Tab. 1-1 Beispiele für Richtwerte zur Beleuchtungsstärke für verschiedene Anwendungen (n. ÖNORM EN12464)**



Raumnutzung	Beleuchtungsstärke (LUX)
Büro, Sitzungszimmer, Schulzimmer, Hörsaal, Küche, Behandlungszimmer, Werkstatt	500
Verkaufsflächen im Handel, Mehrzweckhalle, Stationszimmer, Werkstatt (grobe Arbeit), Turnhalle	300
Schalterhalle, Restaurant, Treppenhäuser, Korridore, WC, Garderoben	200
Nebenräume	100
Parkhaus 75	75
Wohnen, Hotelzimmer	50

### Leuchtdichte

Über die Leuchtdichte kann schließlich das vom Auge aufgenommene Licht quantifiziert werden. Die Leuchtdichte wird für die Beurteilung der Helligkeit von leuchtenden Flächen verwendet und in Candela pro Quadratmeter ausgedrückt. Für die Berechnung wird die Lichtstärke einer Lichtquelle in Richtung des Betrachters durch die Größe der leuchtenden Fläche geteilt. Die Leuchtdichte ist auch ein Maß für die Blendwirkung einer Lichtquelle.

### Blendung

Unter Blendung versteht man einen unangenehmen Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste (ÖNORM EN 12665-1, Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung 2011). Blendung kann das Sehen erheblich erschweren: Sie vermindert die Sehleistung (physiologische Blendung) und den Sehkomfort (psychologische Blendung). Zu unterscheiden sind im Weiteren direkte und indirekte Blendung: Direktblendung geht von Leuchten oder anderen Flächen mit zu hoher Leuchtdichte aus. Reflexblendung wirkt indirekt, erzeugt von Reflexen durch Spiegelung auf glänzenden Oberflächen.

### 1.3.3 Farbtemperatur und Farbwiedergabe

#### Farbspektrum und Farbtemperatur

Die verschiedenen heute zur Verfügung stehenden Lampentechnologien produzieren Licht mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung. Tageslicht hat ein lückenloses Farbspektrum, in dem alle Farben von Blau bis Rot vorhanden sind. Der Blauanteil dominiert. Klassische Glühlampen weisen ebenfalls ein kontinuierliches Farbspektrum auf, allerdings mit Dominanz im Rotlichtbereich. Daher rührt der entsprechende „warme“ Lichteindruck.

Die sogenannte Farbtemperatur gibt, praktisch gesprochen, die Lichtfarbe einer Lichtquelle an. Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben und entspricht der Temperatur eines schwarzen Körpers, der Licht der entsprechenden Lichtfarbe abgibt. Der Wolframdraht einer Glühlampe gibt mit 2.700 Kelvin typisches warmweißes Licht ab. Sogenanntes Tageslichtweiß entspricht rund 6.500 Kelvin. Bei klassischen Glühlampen und Halogenglühlampen liegt die Farbtemperatur etwa zwischen ca. 2.600 und 3.200 K. Bei Leuchtstofflampen und LED-Lampen stehen Produkte mit Farbtemperaturen zwischen 2.500 K und 6.500 K (bis 8000K bei Leuchtstoffröhren) zur Verfügung.

Im professionellen Anwendungsbereich im Büro und Dienstleistungssektor werden häufig neutralweiße Lampen (ca. 4.000 K) eingesetzt, während im Haushaltsbereich zumeist warmweiße Lampen verwendet werden.

Die Farbtemperatur hat grundsätzlich mit der Farbwiedergabe einer Lichtquelle nichts zu tun und ist daher kein Qualitätsmerkmal im eigentlichen Sinne. Lampen unterschiedlicher Farbtemperatur können eine gleich gute Farbwiedergabe aufweisen.

Für Anwendungen im Wohnbereich besteht insbesondere in nördlichen Ländern (auch in Österreich) eine subjektive Präferenz für warmweißes Licht. Hohe Farb-

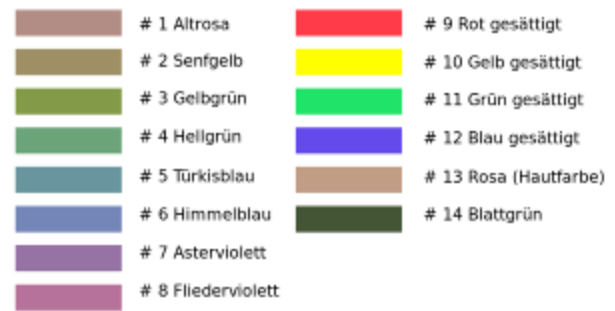
temperaturen werden in nördlichen Ländern als „kalt“ und weniger angenehm empfunden. In südlichen Ländern hingegen werden neutralweiße Lampen häufig bevorzugt.

### Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe-Eigenschaft einer Lichtquelle (auch als Ra-Index oder CRI bzw. Color Rendering Index bezeichnet) beschreibt die Qualität der Darstellung von Objektfarben. Zur Bewertung der Farbwiedergabe im Testlabor werden acht ungesättigte Farbtöne, vier gesättigte Farbtöne und ein spezielles Blattgrün sowie ein hautfarbener Ton verwendet (Farben R1-R14, siehe Abb.1-4). Die Farbwiedergabe der zu bewertenden Lichtquelle wird für jedes dieser Farbmuster mit der Farbe der ähnlichsten Farbtemperatur eines Temperaturstrahlers verglichen. Der Maximalwert des Ra wird mit 100 angegeben. Wird ein Objekt mit einer Ra100-Lampe beleuchtet, können alle Farben erkannt werden und erscheinen entsprechend natürlich.

Der Farbwiedergabeindex Ra einer Lichtquelle wird in der Regel nur als Mittelwert für acht ungesättigte Farben angegeben (siehe Abb. 1-4). Ab einem Wert von 80 spricht man von einer guten, ab 90 von einer sehr guten Farbwiedergabe.

Aufgrund der praktischen Relevanz wäre es grundsätzlich wünschenswert, dass der R9-Wert für die Wiedergabe von gesättigtem Rot (siehe Abb.1-4) standardmäßig deklariert werden muss. Im Rahmen der Entwicklung der EU-Verordnungen zu Eco-design-Kriterien wurde bereits über eine verpflichtende Deklaration und über Mindestwerte diskutiert. Aufgrund der noch beschränkten Datenbasis wurden jedoch noch keine Anforderungen festgelegt.



**Abbildung 1-4: Definierte Farben für den Farbwiedergabeindex.** Für den Standardfarbwiedergabeindex werden nur R1-R8 verwendet. Für LEDs ist auch R9 relevant.

### 1.3.4 Lampenlebensdauer, Lichtstromerhalt, Schaltfestigkeit

Für die Lebensdauer von Beleuchtungssystemen ist sowohl die Lebensdauer des Leuchtmittels, des Vorschaltgeräts, der Leuchten sowie gegebenenfalls weiterer Systemkomponenten entscheidend. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die Leuchtmittel betrachtet bzw. bei Lampen mit integriertem Vorschaltgerät auch die Lebensdauer dieser kombinierten Komponenten.

Die Lebensdauer von Lampen ist für die verschiedenen Lampentechnologien unterschiedlich definiert. Dies führt mitunter zu Fehlinterpretationen bei Konsumenten sowie gelegentlich auch in der professionellen Beschaffung. Für Glühlampen, Halogenleuchtstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät wird die Lebensdauer traditionell als sogenannte **mittlere Lebensdauer** angegeben. Diese entspricht jener Betriebsdauer, nach der mindestens noch 50 % der Lampen funktionstauglich sind. Angaben zur mittleren Lebensdauer auf Produktverpackungen und in technischen Datenblättern besagen somit, dass statistisch betrachtet nur 50 % der Lampen die angegebene Lebensdauer erreichen müssen.

Bei Leuchtstofflampen und LED-Lampen nimmt der Lichtstrom im Laufe der Nutzung deutlich ab. Das bedeutet, dass eine Lampe auch bei noch gegebener Betriebs-

fähigkeit nach einem gewissen Zeitpunkt die nützliche Betriebsdauer überschritten hat. Für diese Lampentechnologien ist somit auch die sogenannte **Nutzlebensdauer** relevant, d.h. die Betriebsdauer innerhalb welcher noch ein Mindestprozentsatz des Lichtstroms gemäß Lampenspezifikation (Lichtstrom gemessen nach 100 h) zur Verfügung steht. Diese Mindestwerte sind für Leuchtstofflampen auf 80 % (ÖNORM EN 60081, Zweiseitig gesockelte Leuchtstofflampen – Anforderungen an die Arbeitsweise 2012) und für LEDs derzeit auf 70 % festgelegt. D.h. der Lichtstrom der Lampe darf sich um 30 % reduzieren, bis das Ende der nützlichen Lebensdauer erreicht ist.

Die Definition der Lebensdauer für diese Lampentechnologien beinhaltet somit auch das Kriterium **Lampenlichtstromerhalt**. Der „Lampenlichtstromerhalt“ (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF) ist das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem definierten Zeitpunkt abgegebenen Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom bestimmt nach 100 Betriebsstunden. Die EU-Ecodesign-Verordnungen geben konkrete Mindestwerte für die Lampenlebensdauer und den Lampenlichtstromerhalt vor (EC 2009a, 2009b). Allerdings werden die in den Verordnungen angeführten sogenannten Lebensdauerfaktoren und Lebensdauern für die verschiedenen Lampentechnologien nicht einheitlich definiert. Ein direkter Vergleich wird somit erschwert.

Die mittlere Lebensdauer von Lampen unterschiedlicher Technologie reicht von 1.000 Stunden für klassische Glühlampen bis zu über 50.000 Stunden für LEDs und langlebige Leuchtstoffröhren. Die Lebensdauer von Kompaktleuchtstofflampen liegt überwiegend in der Größenordnung zwischen 8.000 und 20.000 Stunden.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Lebensdauer von Leuchtstofflampen

und LED-Lampen auch wesentlich vom Vorschaltgerät abhängt. Sie ist beispielsweise bei Nutzung von konventionellen Vorschaltgeräten (KVGs, die im EU-Raum ab 2017 nicht mehr verkauft werden dürfen, siehe auch Kapitel 2) wesentlich niedriger als bei elektronischen Vorschaltgeräten EVGs (EC 2009a).

### Schaltfestigkeit

Die Schaltfestigkeit gibt an, wie häufig eine Lampe durchschnittlich ein- und ausgeschaltet werden kann, bis das Ende der Lebensdauer erreicht ist. Je nach Lampentechnologie werden beim Schalten unterschiedliche Lampenkomponenten beansprucht und sind nach einer entsprechenden Anzahl von Schaltzyklen nicht mehr gebrauchsfähig. Bei klassischen Glühlampen ist dies der Wolframdraht (wird im Laufe der Nutzung durch Abdampfen von Wolfram dünner und reißt schließlich bei höherer Stromstärke beim Einschalten), bei LED Lampen ist es sowohl die Elektronik als auch der LED-Chip selbst. LEDs gelten grundsätzlich als schaltfest, schaltanfällig ist daher gegebenenfalls die Elektronik im Vorschaltgerät, die insbesondere durch Temperaturwechsel beansprucht wird. Die Zahl der maximalen Schaltzyklen ist technologiespezifisch sehr unterschiedlich und reicht von wenigen Tausend bis zu über einer Million. Insbesondere Energiesparlampen galten ursprünglich als schaltempfindlich. Hinsichtlich der Schaltfestigkeit optimierte Produkte erlauben laut Herstellerangaben heute jedoch über 500.000 Schaltzyklen, weisen allerdings auch etwas längere Startzeiten auf.

Empfehlungen zu Sollwerten für die verschiedenen Qualitätsparameter für gute Lampen sind in den entsprechenden Abschnitten zu den einzelnen Lampentechnologien in Kapitel 3 zusammengestellt.

## 1.4 Gesundheits- und Umweltaspekte

Sowohl für Gasentladungslampen (d.h. Leuchtstofflampen (Niederdruckentladungslampen) und Hochdruckentladungslampen, siehe Kapitel 2) als auch für LEDs wurden besonders in letzter Zeit unterschiedliche potenzielle Risiken für Umwelt und Gesundheit diskutiert. Bei den Gasentladungslampen standen dabei die Themen Quecksilberbelastung, UV-Strahlung und elektromagnetische Emissionen im Vordergrund. Bei LEDs wurden vor allem die Wirkung von blauem Licht hoher Intensität sowie die Umweltauswirkungen durch den großen Bedarf an seltenen Erden thematisiert. Elektromagnetische Emissionen durch Vorschaltgeräte haben hier ebenfalls potenzielle Relevanz.

Der aktuelle Stand der Erkenntnis zu diesen potenziellen Gefährdungen ist im folgenden Abschnitt kurz zusammengefasst.

### 1.4.1 Quecksilber

Quecksilber ist ein toxisches Metall, das bei Vergiftungen mit einer Dosis von über 150 mg auch zum Tod führt. Für die Praxis relevanter sind chronische Quecksilberbelastungen. In der Vergangenheit wurde beispielsweise auch die Gesundheitsrelevanz von quecksilberhaltigen Amalgamplomben intensiv diskutiert.

Die Quecksilbergehalte heutiger Leuchtstofflampen sind jedoch relativ gering und müssen laut RoHS-Richtlinie (Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Neufassung) für Kompaktleuchtstofflampen seit 2012 unter 3,5 mg liegen, ab 2013 unter 2,5 mg. Die tatsächlichen Werte in qualitativ hochwertigen Kompaktleuchtstofflampen und T5-Leuchtstoffröhren (15,9mm Durchmesser, auch als T16 Lampen bezeichnet) liegen laut Herstellerangaben heute zumeist zwischen einem und zwei

Milligramm. Lediglich T8-Röhren (26 mm Durchmesser, auch als T26-Lampen bezeichnet) und T12-Röhren (auch als T38 bezeichnet) weisen höhere Werte zwischen 2 und 4 mg auf.

Trotz des mittlerweile zumeist geringen Quecksilbergehalts ist darauf zu achten, dass der Quecksilberdampf im Falle eines Lampenbruches nicht direkt eingeatmet wird oder auf die Haut gelangt. Entsprechendes Lüften und die ordnungsgemäße Entsorgung der zerbrochenen Lampen als Sondermüll sind daher erforderlich.

Letzteres gilt grundsätzlich auch für die Entsorgung nicht mehr funktionstüchtiger Lampen. Während die Entsorgung von Röhren im gewerblichen Anwendungsbereich zumeist fachgerecht durchgeführt wird, werden Kompaktleuchtstofflampen im Haushaltsbereich häufig über den Restmüll entsorgt. Der Anteil der ordnungsgemäßen Entsorgung liegt hier nach Schätzungen nur zwischen 10 und 20 %, mit entsprechend dauerhafter Belastung für die Umwelt. Die fachgerechte Entsorgung erfolgt entweder durch Rückgabe beim Händler oder durch die Abgabe bei den Alt- und Problemstoffsammelstellen der Gemeinden und Städte.

### 1.4.2 UV-Strahlung und elektromagnetische Emissionen

In einer Studie im Auftrag der Europäischen Kommission (EC 2008) wurden potenzielle Risiken von Leuchtstofflampen für besonders lichtempfindliche Menschen untersucht. Betrachtet wurden insbesondere die möglichen Effekte von Flimmern, elektromagnetischen Feldern, UV-Strahlung und Blaulicht.

Gasentladungslampen geben UV-Strahlung ab. Allerdings liegen die Mengen in einem Bereich, der für normale Anwendungen unbedenklich ist. Es wird jedoch empfohlen, Leuchtstofflampen nur in einem Abstand von zumindest 20 cm vom

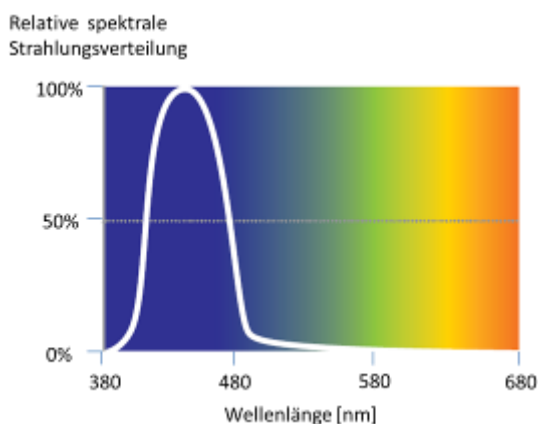
menschlichen Körper einzusetzen bzw. eine langfristige Exposition bei geringeren Abständen zu vermeiden. Damit ist jegliche negative Gesundheitsauswirkung durch die geringe UV-Strahlung ausgeschlossen. Dieser Minimalabstand wird jedoch bei den meisten praktischen Anwendungen automatisch eingehalten.

Für alle weiteren potenziellen Gefahren bei Leuchtstofflampen, wie elektromagnetische Emissionen und Flimmern konnten keine signifikanten negativen Effekte auf den Menschen nachgewiesen werden. Auch für LEDs wurden bislang keine signifikanten Gesundheitsauswirkungen durch elektromagnetische Emissionen und Flimmern berichtet.

Es wird davon ausgegangen, dass in der EU ca. 250.000 Menschen leben, die aus verschiedenen Gründen, zumeist krankheitsbedingt, besonders lichtsensitiv sind (EC 2008). Für diese stärker betroffene Gruppe ist eine individuelle Auswahl von besser geeigneten Leuchtmitteln und Leuchten zweckmäßig.

### 1.4.3 Blaulichtgefährdung

Betreffend LED-Lampen wurde insbesondere der Aspekt der Blaulichtgefährdung diskutiert. Von Blaulichtgefährdung spricht man bei gesundheitlichen Einflüssen auf das menschliche Auge durch Lichtquellen im spektralen Bereich zwischen 400 und 500 nm.



### Abbildung 1-5: Spektralbereich der Blaulichtgefährdung für das menschliche Auge (nach OSRAM)

Licht in diesem Wellenlängenbereich kann bei entsprechender Intensität Schäden auf der Netzhaut verursachen. Die Norm ÖNORM 62471 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“ (ÖNORM EN 62471 2009) sieht hierzu folgende Kategorisierung für Lampen und Leuchtmittel vor:

- Risikogruppe 0 – RG0: Die Lampe bzw. Leuchte stellt keine photobiologische Gefährdung dar.
- Risikogruppe 1 – RG1: Die Lampe bzw. Leuchte stellt bei normalem Verhalten der Nutzerin/ des Nutzers im Gebrauch keine Gefährdung dar.
- Risikogruppe 2 – RG2: Die Lampe bzw. Leuchte stellt bei normaler Abwendungs-Reaktion bei hellen Lichtquellen oder thermischem Unbehagen keine Gefährdung dar.
- Risikogruppe 3 – RG3: Die Lampe bzw. Leuchte stellt sogar bei flüchtiger oder kurzzeitiger Bestrahlung eine Gefährdung dar.

Glühlampen, Halogenglühlampen, Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen zur Allgemeinbeleuchtung zählen zur Klasse R0 oder R1 und stellen daher kein Risiko dar.

Für LED-Lampen gilt dies jedoch nicht generell. Retrofit-LED-Lampen (d.h. Ersatzlampen für Leuchtstofflampen, Halogenglühlampen, und klassische Glühlampen mit entsprechenden Lampensockeln) müssen RG 0 oder RG 1 entsprechen, da sie als direkte Ersatzlampen keine Gefährdung darstellen dürfen. Sonstige LED-Lampen, die nicht als Ersatzlampen eingesetzt werden, müssen entsprechend gekennzeichnet sein, wenn das Produkt über

Klasse RG1 liegt. Es muss im Weiteren angeführt werden, ab welchem Nutzungsabstand das Produkt mindestens Klasse RG1 entspricht.

CE-gekennzeichnete Produkte müssen die Anforderungen der harmonisierten Normen erfüllen.

Zu beachten ist insgesamt, dass Lampen ab RG2 zu Schädigungen führen können, wenn kein typisches automatisches Abwendungsverhalten des Betrachters möglich ist. Eine potenzielle Gefährdung liegt hier primär bei Kleinkindern oder Babys vor, die sich nicht automatisch von grellen Strahlungsquellen abwenden bzw. abwenden können.

Entsprechende Umsicht ist daher je nach Anwendungszweck beim Kauf von LED-Leuchten mit integriertem Leuchtmittel geboten, die nicht über entsprechende Abschirmungen oder Diffusoren verfügen.

#### **1.4.4 Weitere Umweltwirkungen – Lichtverschmutzung**

Hinsichtlich Umweltwirkungen werden auch direkte negative Wirkungen von Innenbeleuchtung auf die Fauna, insbesondere auf Zugvögel und auf Insekten diskutiert. In den USA und Kanada werden diese Umweltwirkungen auch durch konkrete Programme bekämpft.

Durch starke Beleuchtung können vermehrt Kollisionen von Vögeln mit Gebäuden verursacht werden und werden auch Insekten verstärkt angezogen. Betroffen sind davon insbesondere auch Zugvögel zu den Jahreszeiten der Wanderung. Die Stadt Calgary hat Guidelines mit Empfehlungen zur Vermeidung dieser Problematik publiziert (Land Use Planning 2010). Empfohlen wird insbesondere die Vermeidung von exzessiver Beleuchtung bzw. die Emission von Beleuchtung in die Gebäudeumgebung durch Maßnahmen wie Dimmung, den Einsatz von Timern sowie die Ver-

wendung von Vorhängen. Vor allem während der Zugzeiten im Herbst und im Frühjahr (März-Juni und August-Oktober) sollten insbesondere in den oberen Geschossen von höheren Gebäuden beim Einschalten der Innenbeleuchtung die Jalousien bzw. Vorhänge geschlossen werden. Nach Mitternacht sollten auch in Eingangsbereichen alle Beleuchtungen abgeschaltet werden, die nicht sicherheitstechnisch notwendig sind.

### **1.5 Beleuchtungseffizienz**

Die Energieeffizienz von Beleuchtungssystemen ergibt sich insgesamt aus der Summe der Effizienz der Komponenten Lampe, Vorschaltgerät und Leuchte. Für das Design effizienter Beleuchtungslösungen ist somit die richtige Auswahl aller Komponenten unter dem Gesichtspunkt der Gesamteffizienz des Systems entscheidend. Im Folgenden werden verschiedene Grundlagen zur Effizienz der Beleuchtungskomponenten erläutert. Weitere detaillierte Hinweise zur spezifischen Effizienz von Lampen- und Leuchtentypen folgen in den Kapiteln 3 und 4.

#### **1.5.1 Lampen**

Die Energieeffizienz oder sogenannte Lichtausbeute von Lampen wird ausgedrückt durch das Verhältnis von Lichtstrom (Lumen) zur elektrischen Leistungsaufnahme (Watt). Der Lichtstrom wird im Goniofotometer oder in einer Ulbrichtkugel gemessen. In der Ulbrichtkugel erfolgt die Messung gesamthaft integral, im Goniofotometer entlang eines definierten Winkelrasters. Die Skala der Energieeffizienz der heute verfügbaren Leuchtmittel reicht von ca. 10 lm/W bis zu deutlich über 100 lm/W. Zukünftig werden auch LED-Leuchtmittel mit Lichtausbeuten bis zu 140 lm/W erwartet.

#### **1.5.2 Vorschaltgeräte**

Vorschaltgeräte zum Start und zur Strombegrenzung sind für sämtliche Gasentla-

dungslampen und LED-Lampen erforderlich. Abhängig vom Wirkungsgrad beeinflussen sie die Gesamteffizienz des Beleuchtungssystems ebenfalls signifikant. In der Vergangenheit wurden vielfach sogenannte konventionelle oder magnetische Vorschaltgeräte (KVG) eingesetzt, die in älteren Beleuchtungsanlagen noch häufig anzutreffen sind. Bei neuen Systemen kommen insbesondere in der Innenbeleuchtung nur noch elektronische Vorschaltgeräte (EVG) zum Einsatz.

Für LED-Lampen werden ausschließlich elektronische Vorschaltgeräte eingesetzt, die keinen Starter benötigen.

Konventionelle Vorschaltgeräte werden aufgrund der EU-Ecodesign-Verordnungen mittelfristig gänzlich vom Markt genommen. Tabelle 1-2 zeigt die Effizienzklassen für Vorschaltgeräte. Derzeit dürfen noch Produkte bis Klasse B2 verkauft werden, ab 2017 nur noch Produkte der Klassen A2-BAT und A1. Magnetische Vorschaltgeräte werden zu diesem Zeitpunkt nicht mehr angeboten (EC 2009a).

**Tabelle 1-2: Effizienzklassen für Vorschaltgeräte**

Effizienzkategorie	Produkttyp
A1	Dimmbare elektronische Vorschaltgeräte (EVGs)
A2-BAT	Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) best available Technology
A2	Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs) mit reduzierten Verlusten
A3	Elektronische Vorschaltgeräte (EVGs)
B1	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr geringen Verlusten (VVGs)
B2	Magnetische Vorschaltgeräte mit geringen Verlusten (VVGs)
C	Magnetische Vorschaltgeräte mit moderaten Verlusten (KVGs)
D	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr hohen Verlusten (KVGs)

Bei Kaltstartvorschaltgeräten erfolgt die Zündung der Lampen unverzüglich, bei Warmstartgeräten mit einer geringen Verzögerung. Warmstartgeräte ermögli-

chen eine deutlich höhere Lebensdauer der Lampen.

Sehr gute Vorschaltgeräte weisen Wirkungsgrade über 90 % auf. Weitere Hinweise zu den Effizienzanforderungen finden sich im Abschnitt 2.5 zu Standards und Labels.

### 1.5.3 Leuchten

Die Effizienz von Leuchten kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten bewertet werden. Der **optische Wirkungsgrad** der Leuchte besagt dabei zunächst, wie viel Licht vom Leuchtmittel rein optisch nach außen abgegeben wird. Für Leuchtmittel, deren Effizienz sich temperaturabhängig ändert, spielt jedoch der **Betriebswirkungsgrad** eine wesentliche Rolle, d.h. das Verhältnis Halogen des Gesamtsystems Lampe-Leuchte zum Lichtstrom der Lampe. Dieser Wirkungsgrad wird auch als LOR (LOR = Light Output Ratio) bezeichnet.

Unterschieden werden dabei häufig die Komponenten DLOR und ULOR, d.h. der Anteil des Lichts, der nach unten und nach oben abgegeben wird.

Diese Betriebswirkungsgrade unterscheiden sich je nach Lampen-Leuchtenkombination.

Alternativ dazu kann auch die Gesamteffizienz des Systems Lampe-Vorschaltgerät-Leuchte, die auch als Luminaire Efficiency Factor (LEF) bezeichnet wird, bewertet werden. Der LEF ergibt sich aus Multiplikation des LOR mit der Lichtausbeute der Lampe und dem Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts.

# 2 Lampentypen – Qualität, Effizienz, Einsatzbereich

## 2.1 Leuchtstofflampen

### 2.1.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

#### Technologisches Prinzip und typische Bauformen

Leuchtstofflampen sind das Standardleuchtmittel in vielen Zweckbauten (Dienstleistungs-sektor, Büros, öffentlicher Dienst, Handel, Industrie, Spitäler etc.). Die vorherrschenden Bauformen sind

- Leuchtstoffröhren – häufig entsprechend dem Röhrendurchmesser bezeichnet, wobei der Durchmesser in Achtel-Zoll angegeben ist (d.h. T8-Lampe = 8/8 Zoll = 26 mm). Neuerdings wird allerdings auch der Durchmesser der Lampe in mm verwendet, d.h. T8 = T26 und T5 = T16.
- Kompaktleuchtstofflampen ohne integriertes Vorschaltgerät
- Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät (sogenannte Energiesparlampen in Stab-/Spiralform oder Retrodesign mit Doppelverglasung)

Leuchtstofflampen sind, technologisch gesehen, Niederdruckgasentladungslampen. In einem mit Quecksilberdampf gefüllten Glasrohr werden unter Spannung Atome durch Elektronenstöße angeregt und UV-Strahlung erzeugt. Diese Strahlung wird an der Rohrwand mittels Leucht-

stoffbeschichtung in sichtbares Licht umgewandelt. Bei der sogenannten Fluoreszenz wird beim Übergang der angeregten Elektronen des Leuchtstoffes (typischerweise eine Phosphatverbindung) von einem energetisch höheren zu einem energetisch niedrigeren Zustand Licht emittiert.

Die spektrale Zusammensetzung des Lichts sowie die Lichtfarbe und Farbwiedergabe sind primär von der Beschichtung abhängig und damit variabel.

Leuchtstofflampen erfordern für den Betrieb ein Vorschaltgerät, das die Lampe startet und den Lampenstrom begrenzt. Sogenannte konventionelle oder magnetische Vorschaltgeräte werden heute nur noch für gewisse Anwendungen im Bereich der Außenbeleuchtung eingesetzt und entsprechen nicht mehr den zukünftig vorgesehenen Effizienzanforderungen der EU. Elektronische Vorschaltgeräte sind effizienter, unterbinden dank Taktung mit höherer Frequenz Flimmern und erlauben einen höheren Lichtkomfort.

#### Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Leuchtstofflampen müssen auf Basis der EU-Ecodesign-Verordnungen mittlerweile durchwegs eine relativ gute Farbwiedergabe mit einem Farbwiedergabeindex Ra von mindestens 80 erfüllen (Lampen für Innenbeleuchtung). Das Spektrum ist im Vergleich zu den Temperaturstrahlern (Glühlampen) nicht kontinuierlich, sondern weist entsprechende Spitzen auf, die






vom Füllgas und der Zusammensetzung der Fluoreszenzbeschichtung abhängen. Dementsprechend lässt sich mit Leuchtstofflampen keine so hohe Farbwiedergabe erreichen wie mit Glühlampen. Bei Leuchtstoffröhren werden auch sogenannte De-Luxe-Lampen angeboten, die einen Ra>90 erreichen.

neutral-, oder kaltweißen Farbtemperaturen angeboten, sondern sind auch in warmweiß ab 2.700 K verfügbar. Hinsichtlich Lichtfarbe ist somit grundsätzlich die gleiche Qualität realisierbar wie bei Glühlampen. Typische angebotene Farbtemperaturen sind beispielsweise 2.700 K, 3.000 K, 3.500 K, 4.000 K, 6.000 K etc.

Entgegen häufig anzutreffenden Vorurteilen werden Leuchtstofflampen nicht nur in

**Tabelle2-1: Leuchtstofflampen: Wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick** (Beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)

				
Bauform	Kompaktleuchtstofflampe integriertes EVG (Energiesparlampe)	Kompaktleuchtstofflampe ohne Vorschaltgerät	Leuchtstoffröhre (T5, T8)	
Design&Sockeltypen	Stab, Spiral, Retro; E27, E14	Stab,	T8(G13)	T5(G5)
	Typischer Bereich	Typischer Bereich	Typischer Bereich	
Farbtemperatur (K)	2.500-6.500K	2.700K-6.500K	2.700K-8.000K	
Farbwiedergabe (Ra)	80-90	80-90	80-90	
Lebensdauer (h) (EVG, M/N*)	6.000-20.000	10.000-36.000/8.000-25.000	20.000-80.000/15.000-65.000*	20.000-70.000/16.000-45.000
Lichtstrom (lm)	200-2.500	900-3.200	950-7.000	1.000-7.000
Energieeffizienz(lm/W)	40-65 (inkl. VG)	60-75	70-95	75-105
Schaltzyklen (n)	5.000-1.000.000			

Vorteile der Leuchtstofflampentechnologie	Nachteile der Leuchtstofflampentechnologie
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Effizienz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur diffuses Licht</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Lebensdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quecksilbergehalt</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gutes Effizienz/Kostenverhältnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start- und Aufwärmzeit</li> </ul>
Empfehlungen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kompaktleuchtstofflampen mit EVG (mittlere bis oberer Lichtleistung):</b> Energieeffizienz &gt;55lm/W, Lebensdauer &gt;12.000h; doppelt verglaste Bauformen (klassische Birne/Kerze) nur dort verwenden, wo aus optischen Gründen erforderlich (geringere Effizienz); stabförmige Bauformen sind am effizientesten; bei Anwendungen mit hoher Schalthäufigkeit schaltfeste Lampen wählen (&gt;500.000 Zyklen)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kompaktleuchtstofflampen ohne EVG:</b> Energieeffizienz &gt;70lm/W, mittlere Lebensdauer &gt;15.000h (EVG),</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>T8-Röhren:</b> Energieeffizienz &gt;85lm/W, mittlere Lebensdauer &gt;20.000h (EVG); je nach Anwendungsbereich auch Long Life Lampen mit 2-4-facher Lebensdauer berücksichtigen; Ersatz von T8 durch T5-Röhren ist nur für einfache Beleuchtungsanwendungen sinnvoll. Die Energieeinsparung liegt bei guten Adaptern bei ca. 20 % bei allerdings zu meist wesentlicher Lichtstromreduktion</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>T5-Röhren:</b> Energieeffizienz &gt;95lm/Watt, mittlere Lebensdauer &gt;20.000h (EVG);</li> </ul>	

M: mittlere Lebensdauer, N\*: Nutzlebensdauer

Ein gewisser Nachteil der Technologie besteht darin, dass kein brillantes Licht, sondern nur diffuses Licht erzeugt werden kann. Aufgrund des diffusen Lichtes eignet sich die Technologie daher nicht für Akzentbeleuchtung (akzentuierte Beleuchtung von ausgewählten Objekten im Raum).

### Lebensdauer und Schaltfestigkeit

Die mittlere Lebensdauer und damit Qualität der angebotenen Produkte (nach Herstellerangaben) variiert für Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät zwischen 6.000 (erlaubte Untergrenze nach 249/2009 EC) und etwa 20.000 h. Gute Kompaktleuchtstofflampen mit mittlerer bis oberer Lichtleistung sollten mindestens eine mittlere Lebensdauer von 12.000 h aufweisen.

Kompaktleuchtstofflampen mit externem Vorschaltgerät weisen am EVG eine mittlere Nennlebensdauer von 10.000–36.000 h und eine Nutzlebensdauer von 8.000–25.000 h auf.

Bei Leuchtstoffröhren liegt die mittlere Lebensdauer am EVG zwischen etwa 20.000 und 70.000 h, die Nutzlebensdauer bei etwa 16.000 bis 45.000 h. Die Lebensdauern an KVGs, die nach EU-Gesetzgebung im EU-Raum bald nicht mehr zulässig sind, liegen deutlich tiefer. Sowohl für T8 als auch T5 werden sogenannte Long-Life-Lampen angeboten mit mittleren Lebensdauern von bis zu 65.000 h (T5) und 80.000 h (T8) bzw. Nutzlebensdauern von 45.000 h (T5) und 65.000 h (T8) (siehe z.B. OSRAM 2013). Diese Lampen sind entsprechend teurer und vor allem für Anwendungsbereiche vorgesehen, wo ein häufigerer Lampen-

wechsel unerwünscht bzw. schwierig ist. Auch hier ist somit die anwendungsbezogene Auswahl wesentlich. Es stehen verschiedenste Produkttypen mit unterschiedlichem Preis und unterschiedlicher Performance zur Verfügung.

Die maximale Anzahl der Schaltzyklen ist ebenso variabel und liegt zwischen 6.000 und über 500.000 Zyklen. Leuchtstofflampen benötigen im Vergleich zu Glühlampen eine gewisse Aufwärmzeit bis zur Erreichung des vollen Lichtstroms. Hinzu kommt eine leichte Verzögerung beim Lampenstart zur Vorwärmung. Schaltfeste Kompaktleuchtstofflampen benötigen eine etwas längere Startzeit. Insgesamt ist somit eine entsprechend sorgfältige Lampenwahl entscheidend, um die für die jeweilige Anwendung gewünschte Qualität sicherzustellen. Für Anwendungen, bei denen die Lampen eher sparsam geschaltet werden, ist eine besonders hohe Schaltfestigkeit nicht erforderlich.

### **Energieeffizienz**

Leuchtstofflampen sind hinsichtlich Energieeffizienz um 5 bis 10 mal effizienter als klassische Glühlampen. Die Energieeffizienz beträgt abhängig vom Lichtstrom je nach Design zwischen ca. 40–65 lm/W bei Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem VG, ca. 65–75 lm/W bei Kompaktleuchtstofflampen ohne VG, ca. 70–95 lm/W bei T8-Lampen und ca. 75–105 lm/W bei den besten T5-HE-Lampen. Die Effizienz von Leuchtstofflampen ist temperaturabhängig. T5-Lampen haben ihr Optimum beispielsweise bei etwa 35 °C. Die höchsten publizierten Effizienzwerte (115 lm/W) werden daher nicht bei Raumtemperatur, sondern bei optimaler Temperatur erreicht. In den Produktdatenblättern werden normalerweise Werte für 25 °C und 35 °C angegeben.

Bei Überhitzung aufgrund eines Wärmestaus in geschlossenen Leuchten erreichen die Lampen ihren Nennlichtstrom nicht.

Die vom Lampentyp abhängige Temperaturcharakteristik ist jeweils in Abstimmung mit dem Leuchtentyp zu beachten.

Gute Kompaktleuchtstofflampen mit mittlerer bis oberer Lichtleistung sollten mindestens eine Lichtausbeute von 60 lm/W aufweisen. Bei Lampen mit Doppelverglasung (Retro-Glühlampendesign) sind auch 50 lm/W akzeptabel. Gute Leuchtstoffröhren weisen eine Lichtausbeute von mindestens 85–90 lm/W, bei T5 Lampen auch 100 lm/W auf.

### **2.1.2 Anwendungsbereiche und Kosten**

#### **2.1.2.1 Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät**

Diese Bauform wird überwiegend im Wohnbereich eingesetzt. Lampen mit Doppelverglasung wurden entwickelt, um das glühlampentypische Birnendesign nachzubauen. Sie sind allerdings weniger energieeffizient als stabförmige und spiralförmige Lampen.

#### **2.1.2.2 Kompaktleuchtstofflampen mit externem Vorschaltgerät und Leuchtstoffröhren**

T12-Lampen (20 W, 40 W, 65 W) können in vielen Fällen gegen entsprechende T8-Lampen (18 W, 36 W, 58 W) ausgetauscht werden. Damit wird eine bessere Farbwiedergabe bei längerer Lebensdauer und höherer Energieeffizienz erreicht.

Ein Austausch von T8-Lampen gegen T5-Lampen ist ebenfalls möglich, erfordert jedoch den Einsatz eines Adapters. Da T8-Leuchten nicht für T5-Formate optimiert sind, empfiehlt sich dieser Austausch nur dort, wo relativ geringe Anforderungen an die Beleuchtungsqualität gegeben sind. Gute Adapter erlauben eine Energieeinsparung durch T5-Lampen von bis zu 20 % bei allerdings zumeist deutlich reduziertem Lichtstrom und gegebenenfalls geringerer Beleuchtungsqualität. Es ist somit

auch abzuklären, ob man mit entsprechend weniger Licht auskommt.

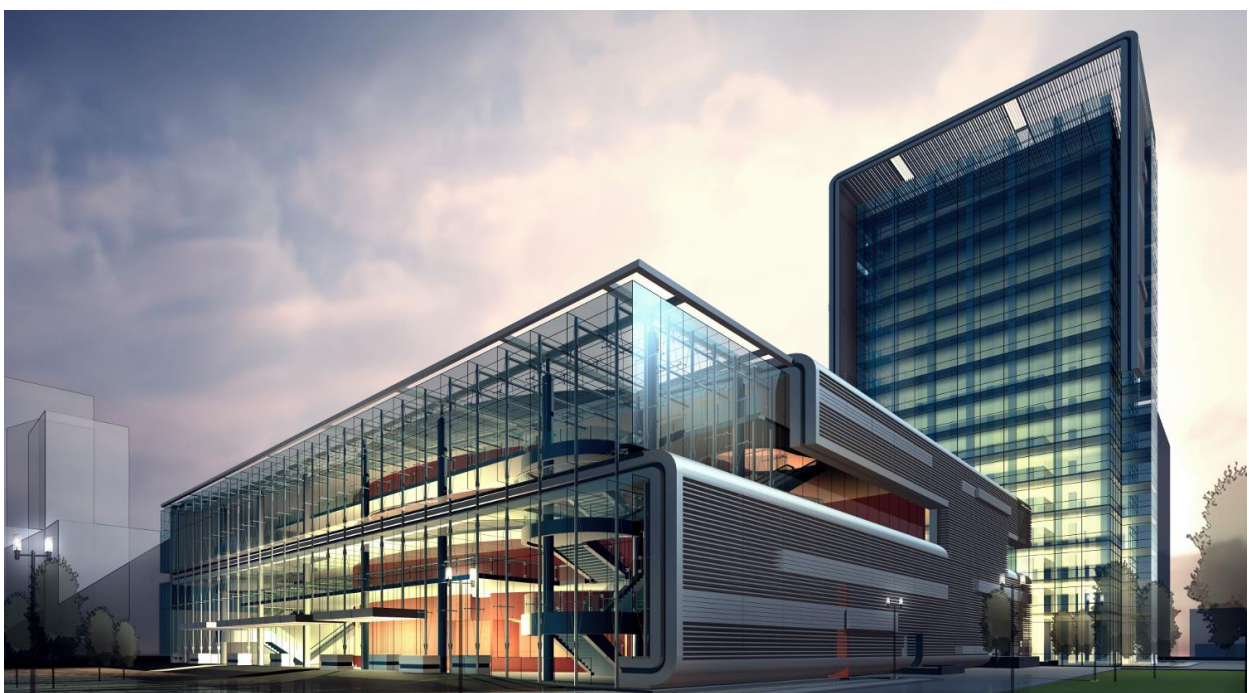
Empfehlenswert ist der Wechsel auf T5-Lampen vor allem dann, wenn gleichzeitig die gesamte Leuchte ausgetauscht wird und grundsätzlich natürlich bei Neuinstallationen. Bei Teilmanipulationen an Vorschaltgeräten und Leuchten geht gegebenenfalls die Gewährleistung verloren. T5-Lampen zeichnen sich neben der höheren Effizienz auch durch einen geringeren Quecksilbergehalt aus.

In Fällen, wo nicht die volle installierte Beleuchtungsstärke benötigt wird, ist gegebenenfalls auch ein Austausch von High-Output T5-Lampen durch High-Efficiency-T5 möglich. T5-High-Efficiency-Lampen weisen eine höhere Effizienz auf, allerdings bei geringerem zur Verfügung gestelltem Lichtstrom.

Das Dimmen von Leuchtstoffröhren ist grundsätzlich verlustbehaftet. Die Effizienz nimmt vor allem bei starker Dimmung deutlich ab, so dass bei 25 % Lichtstrom immer noch 50 % der vollen Betriebsleistung aufgenommen werden. Es ist daher

nicht empfehlenswert, Leuchtstofflampen längere Zeit im Teillastbereich unter 50 % des Nennlichtstromes zu betreiben. In Gängen von Bürogebäuden werden Leuchtstofflampen häufig als Streifleuchten eingesetzt. Bei einer dichten Reihung von Leuchtstoffröhren in der Gangbeleuchtung ist die Lichtmenge häufig zu hoch und es wird konstant heruntergedimmt. Eine solche Betriebsweise ist nicht zweckmäßig.

Hinsichtlich Wirtschaftlichkeit sind Leuchtstofflampen im Vergleich zu LEDs für die meisten Anwendungen derzeit noch konkurrenzlos. Die Einkaufspreise für vergleichbare Leuchtmittel unterscheiden sich um mehr als einen Faktor 2. Auch LED-Röhren rechnen sich im Vergleich zu neuen langlebigen Leuchtstoffröhren derzeit nicht und weisen darüber hinaus zahlreiche weitere Nachteile auf (siehe eigener Abschnitt zu LED). Leuchtstofflampen sind daher hinsichtlich Gesamtkosten für viele Anwendungen im Bereich der Innenbeleuchtung nach wie vor die kostengünstigste Technologie.



## 2.2 Halogenglühlampenlampen

### 2.2.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

#### Technologisches Prinzip und typische Bauformen

Halogenglühlampen werden traditionell vor allem für Anwendungen der Spotbeleuchtung eingesetzt und sind dementsprechend in verschiedenen Dienstleistungssektoren (Handel, Gastronomie etc.) sowie auch im privaten Wohnbereich sehr verbreitet. Das brillante Licht eignet sich gut zur Akzentbeleuchtung und zur Erzeugung von Lichtstimmungen. Halogenglühlampen im Retrodesign haben mittlerweile auch eine Ersatzfunktion für die klassischen Glühbirnen übernommen. Die gängigen Bauformen sind:

- Spotlampen (GU10, GU5.3)
- Retrofitlampen (Birne, Kerze E14, E27)
- Halogenstäbe (R7s)




Tabelle 2-2 zeigt die wichtigsten Halogenglühlampentypen. Bei den steckbaren

Sockeln (G, GU, GY) entspricht die im Sockeltyp angeführte Zahl dem Abstand der Pins.

Halogenglühlampen sind vom Funktionsprinzip her eine Weiterentwicklung der klassischen Glühlampe. Sie sind somit den mittlerweile im EU-Markt verbotenen klassischen Glühlampen hinsichtlich Lichtcharakteristik am ähnlichsten. Vom technischen Prinzip her handelt es sich um Temperaturstrahler, die über einen erhitzten Draht sichtbares Licht und Wärme abgeben.

Halogenglühlampen sind im Vergleich mit klassischen Glühlampen kompakt gebaut und dem Namen entsprechend mit einem halogenhaltigen Edelgas gefüllt. Dieses Design erlaubt im Vergleich zur klassischen Glühlampe einen höheren Lampendruck und höhere Wendeltemperaturen. Damit werden eine höhere Farbtemperatur, eine bessere Lichtausbeute und auch eine höhere Lebensdauer erreicht. Unterschieden werden Niedervolt- und Hochvoltlampen. Für Niedervoltlampen ist ein Transformator erforderlich.

**Tabelle 2-2: Halogenglühlampen Wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick** (Beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)

			
<b>Bauform</b>	<b>Halogen-Retrofitlampen</b>	<b>Halogen-Spotlampen</b>	<b>Halogen-Stäbe</b>
<b>Design &amp; Sockeltypen</b>	Birne, Kerze; E27, E14	HV GU10; Niedervolt GU5.3 (NV*)	R7s
	<b>Typischer Bereich</b>	<b>Typischer Bereich</b>	<b>Typischer Bereich</b>
<b>Farbtemperatur (K)</b>	2.700-3.000	2.700-3.000	2.800-3.000

Farbwiedergabe (Ra)	100	100	100
Lebensdauer (h)	2.000-3.000	1.000-2.000(5.000*)	2.000
Schaltzyklen (n)	5.000-50.000	50.000	1.000.000
Lichtstrom (lm)	250-2.800		700-10.000
Energieeffizienz (lm/W)	12-20	13-16(25*)	15-22
<b>Vorteile der Halogentechnologie</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brillantes Licht</li> <li>• Exzellente Farbwiedergabe</li> </ul>		<b>Nachteile der Halogentechnologie</b>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrige Energieeffizienz</li> <li>• Kurze Lebensdauer</li> </ul>	
<b>Empfehlungen</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Generell:</b> Einsatz nur dort, wo brillantes Licht mit sehr hoher Farbwiedergabe erforderlich ist, bei mäßigen Betriebsdauern</li> <li>• <b>Spotlampen:</b> Verwendung von IR-Niedervoltlampen für Spot-Anwendungen oder Austausch gegen LED-Spots: Vollwertiger Ersatz für 20-50W Spots verfügbar</li> <li>• <b>R7s-Lampen:</b> Vermeidung von Deckenflutern mit R7s-Lampen mit hohen Wattagen</li> <li>• <b>Professionelle Spotlampen &amp; Strahler:</b> Ersatz durch Halogenmetaldampflampen oder LED</li> </ul>			

### Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Halogenleuchtampen weisen ähnliche Vorteile und Nachteile auf wie klassische Glühlampen. Halogenleuchtampen haben ein kontinuierliches Farbspektrum und ermöglichen damit eine hervorragende Farbwiedergabe. Es wird ein Farbwiedergabeindex von Ra 100 erreicht. Die Farbtemperatur liegt typischerweise bei 2.700–3.200 K.

### Lebensdauer und Schaltfestigkeit

Die Lebensdauer liegt mit ca. 2.000–3.000 h nur wenig höher als bei klassischen Glühlampen. Spezielle Niedervoltlampen können auch 5.000 h erreichen. Verschiedene heute angebotene Spotlampen erreichen hingegen nur 1.000 h. Für Anwendungen mit hohen Betriebszeiten

sind Halogenleuchtampen daher ungeeignet.

Die Schaltfestigkeit variiert je nach Produkt zwischen 5.000 und 50.000 bei Spots und Retrodesign-Birnen, sowie bis zu 100.000 bei Halogenstäben (R7s).

### Energieeffizienz

Auf der Negativseite steht insbesondere die niedrige Energieeffizienz der Technologie. Halogenleuchtampen sind nur um etwa 30–50% effizienter als klassische Glühlampen, was im Vergleich zu Leuchtstofflampen und LEDs nur einen geringen Effizienzgewinn bedeutet. Standardlampen der Effizienzklasse C erreichen lediglich Lichtausbeuten zwischen ca. 12 und 20 lm/W. Eine etwas bessere Effizienz wird bei Lampen erzielt, die mit infrarot reflektierender Beschichtung versehen

sind. Durch diese Beschichtung wird Wärme auf die Wolframwendel zurück reflektiert und der Energiebedarf für die Aufwärmung des Drahtes reduziert. Diese Technologie ist allerdings nur bis zu bestimmten Lampentemperaturen einsetzbar und wird bei Niedervolt-Halogenglühlampen verwendet. Die Effizienz wird damit auf bis zu ca. 25 lm/W verbessert.

### **2.2.2 Anwendungsbereiche und Kosten**

Halogenglühlampen werden zumeist dort eingesetzt, wo ein glühlampenähnliches brillantes Licht erwünscht ist. Ein typischer Anwendungsbereich ist beispielsweise die Spotbeleuchtung. Eine Spezialanwendung sind die sogenannten Halogenstäbe (R7s), die in Deckenflutern verbreitet eingesetzt werden. Diese Lampen weisen einen sehr hohen Lichtstrom bei gleichzeitig sehr hoher Leistungsaufnahme (150 – 250 W)

auf. Diese Anwendung für zumeist indirekte Beleuchtung ist hinsichtlich des Energieverbrauchs sehr ineffizient.

Der Einsatz von Halogenglühlampen ist insbesondere bei hohen Betriebszeiten im Vergleich zu anderen Technologien sehr unwirtschaftlich. Zwar sind die Kosten für die Einzelbeschaffung mit ca. 1–6 Euro für Standardlampen gering. Die Betriebskosten und Ersatzkosten sind jedoch aufgrund der beschränkten Lebensdauer sehr hoch. Bei einer mit 50 Halogenglühlampen beleuchteten Fläche von 100 m<sup>2</sup> können bei 4.000 Betriebsstunden die Stromkosten beispielsweise ca. 2.000 € betragen plus zusätzlich ca. 1.000 € für Lampenkosten und entsprechendem Aufwand für den Lampenwechsel. Insbesondere für den gewerblichen Anwendungsbereich sind daher alternative Technologien (z.B. LED-Spots) zu bevorzugen

## 2.3 LED-Lampen

### 2.3.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

#### Technologisches Prinzip und typische Bauformen

LED-Lampen werden heute bereits in einer Vielzahl unterschiedlicher Bauformen angeboten. Es stehen unterschiedlichste Retrofit-Designs zur Verfügung sowie darüber hinaus neue auf die LED-Technologie optimierte integrierte Lampen-Leuchtendesigns zur Verfügung. Gängige Bauformen sind unter anderem:

- Retrofitlampen:
  - Kerze, Birne; E14, E27
  - Spots; GU10, GU5.3
  - LED-Röhren
- Professionelle LED Leuchten mit integrierten Lampen (Strahler, Downlights, siehe folgendes Kapitel)

Dieser Abschnitt ist überwiegend der Produktgruppe der Retrofitlampen gewidmet. In Leuchten fix integrierte LEDs werden in Kapitel 4 (Leuchten) behandelt.

Hinsichtlich des Funktionsprinzips sind Leuchtdioden (LEDs) elektronische Halbleiter-Bauelemente. Fließt durch die Diode elektrischer Strom, gibt sie, abhängig vom Halbleitermaterial, Infrarotstrahlung, Ultraviolettstrahlung oder Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich ab. Die Strahlung entsteht durch Anregung und Verschiebung von Elektronen in den Halbleiterschichten. Das Ausgangsmaterial für LEDs im Bereich der Beleuchtung sind zumeist Galliumverbindungen. LEDs geben im Vergleich zu thermischen Strahlern mit breitem Lichtspektrum nahezu monochromatisches Licht ab.

Im Bereich der Beleuchtung werden zumeist blaue LEDs verwendet, die in Kom-

bination mit einem Fluoreszenzfarbstoff, ähnlich wie bei den Leuchtstofflampen, weißes Licht erzeugen.

#### Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe (Ra) der heute angebotenen LED-Produkte variiert erheblich mit Werten im Bereich 70 bis 90. Durch eine entsprechende Auswahl der Fluoreszenzfarbstoffe kann bei qualitativ hochwertigen Produkten eine sehr gute Farbwiedergabe von über 90 erzielt werden. Gute LED-Lampen weisen einen Farbwiedergabeindex von mindestens 85 auf.

#### Lebensdauer und Schaltfestigkeit

Bezüglich Lebensdauer sind LED-Lampen den Kompaktleuchtstofflampen zumindest theoretisch überlegen. Für aktuelle Produkte werden häufig Werte zwischen 20.000 und 30.000 h angegeben. Gute LED-Retrofitlampen sollten heute mindestens eine Lebensdauer von 20.000 h aufweisen, Lampen für professionelle Strahler und Spots mindestens 30.000 h.

Die effektive Lampenlebensdauer in der Praxis ist allerdings auch wesentlich vom Temperaturniveau abhängig, bei dem die Lampen betrieben werden. LED-Lampen mit schlechter Wärmeabfuhr oder in Leuchten mit Wärmestau weisen deutlich geringere Lebensdauern auf. LED-Kompaktlampen benötigen daher einen ausreichend großen Metallkörper, gegebenenfalls mit Kühlrippen, um die Wärme entsprechend ableiten zu können.

LED-Module weisen grundsätzlich eine hohe Schaltfestigkeit auf. LED-Lampen sollten mindestens 25.000–30.000 Schaltungen überleben, bei entsprechendem Design der Lampen auch mehrere hunderttausend Schaltungen. Allerdings kann die erforderliche Elektronik durchaus schalttempfindlich sein und zu verfrühtem Ausfall führen.






### Lichtverteilung

Bei vielen LED-Glühlampenersatzprodukten ist eine von Glühbirnen deutlich abweichende Lichtverteilung zu beobachten. Diese Retrofitlampen geben den Hauptanteil des Lichtes nach vorne ab. Damit entsteht eine stärkere Lichtverteilung in Richtung Boden, anstatt nach oben und seitlich, und damit je nach Leuchte eine andere Beleuchtungscharakteristik. Es gibt jedoch auch Lampen, die eine den klassischen Glühbir-

nen sehr ähnliche Lichtverteilung aufweisen. Lampen im sogenannten Maiskolbendesign strahlen wiederum primär seitlich ab, d.h. die Lichtverteilung nach unten ist geringer. Die verschiedenen Designs sind somit für verschiedene Beleuchtungsanwendungen unterschiedlich gut geeignet. Die Lichtverteilung ist bei Retrofitlampen (die überwiegend im Haushaltsbereich eingesetzt werden) allerdings nicht Teil der Produktdeklaration und kann beim Kauf daher zumeist nicht berücksichtigt werden

**Tabelle 2-3: LED-Lampen: Wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick** (Beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)

			
Bauform	Standard-Retrofit	Spot-Retrofit	Röhren-Retrofit
Design & Sockel-typen	Birne, Kerze; E27, E14	Hochvolt GU10; Niedervolt GU5.3 (Niedervolt*)	G13
	Typischer Bereich	Typischer Bereich	Typischer Bereich
Farbtemperatur (K)	2.700-6.500	2.700-4.000	2.700-6.500
Farbwiedergabe (Ra)	80-90	80	70-90
Lebensdauer (h)	10.000-30.000	15.000-40.000	30.000-50.000
Schaltzyklen (n)	50.000-50.0000	15.000-50.000	
Lichtstrom (lm)	100-1.100	100-450	800-3.500
Energieeffizienz (lm/W)	45-75 (inkl. VG)	30-55 (inkl. VG)	90-100
Vorteile der LED-Technologie		Nachteile der LED-Technologie	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Energieeffizienz</li> <li>• Kein Quecksilber</li> <li>• Keine Aufwärmzeit</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derzeit noch hoher Preis</li> <li>• Für klassisches Röhrendesign weniger geeignet</li> <li>• Wärmeempfindlichkeit (gute Wärmeabfuhr notwendig, entsprechendes Lampen- und Leuchtendesign)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Große Auswahl an dimmbaren Lampen, kein Effizienzverlust bei Dimmung</li> <li>•</li> </ul>			

Empfehlungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Retrofit Birne/Kerze (E27,E14):</b> Energieeffizienz &gt;60lm/W, Lebensdauer&gt;25.000h, Schaltzyklen&gt;25.000, Ra&gt;80</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Retrofit Spot (GU10, GU5.3):</b> Energieeffizienz &gt;45lm/W, Lebensdauer&gt;25.000h, Schaltzyklen&gt;25.000, Ra&gt;80</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Integrierte Downlights und Strahler:</b> Idealer Ersatz für Halogenleuchten sowie zum Teil Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen. Leuchtenbetriebswirkungsgrad von mindestens 60 fordern.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>LED-Röhren:</b> Ersatz von T8-Fluoreszenzröhren durch LED-Röhren derzeit wenig empfehlenswert (siehe Ausführungen im Text)</li> </ul>

### Energieeffizienz

Die heute besten LED-Kompaktlampen befinden sich hinsichtlich Energieeffizienz etwa auf dem Niveau von Kompaktleuchtstofflampen oder etwas darüber. In der Praxis werden bei Spotlampen und Kompaktlampen derzeit bis zu ca. 50–70 lm/W erreicht, bei professionellen Downlights (zumeist zylindrische Deckenleuchte mit nach unten fokussiertem Lichtstrahl) ca. 85 lm/W und bei LED-Tubes teilweise 90 lm/W. In den kommenden Jahren ist mit einer weiteren Steigerung der Effizienz auf über 140 lm/W zu rechnen, d.h. deutlich über das aktuelle Effizienzniveau der Leuchtstofflampen hinaus.

Gute Spotlampen weisen abhängig vom Lichtstrom eine Effizienz von mindestens ca. 45 lm/W auf, Retrofitlampen (Birne, Kerze) mindestens ca. 60 lm/W, gute professionelle Lampen mindestens 70 lm/W.

### Vorteile von LEDs

Typische positive Eigenschaften von LED-Lampen sind unter anderem:

- Möglichkeit filigraner Lampen- und Leuchtdesigns aufgrund kompakter Bauweise

- Brillantes Licht aufgrund der punktförmigen Lichtquelle und damit idealer Ersatz für Halogenglühlampen.
- Kein Quecksilber in der Lampe
- Keine Start- und Aufwärmzeit. Der volle Lichtstrom steht sofort zur Verfügung.
- Grundsätzlich gute Dimmbarkeit. Im Gegensatz zu anderen Lichtquellen verlieren LEDs beim Dimmen nicht an Effizienz, sondern sind teilweise sogar effizienter.
- Hohe Effizienz bei niedrigen Temperaturen
- Möglichkeit zur Erzeugung der gewünschten Lichtfarbe über Farbmodulation mit professionellen LED-Strahlern.

### 2.3.2 Anwendungsbereiche und Kosten

#### Retrofitkompaktlampen und Spots

LED-Retrofitlampen stehen heute als Ersatz für klassische Halogenglühlampen oder auch Kompaktleuchtstofflampen zur Verfügung und werden in allen gängigen Designs (Birne, Kerze, Spot) angeboten. Leichte Einschränkungen bestehen noch hinsichtlich des maximal erreichbaren

Lichtstroms. Derzeit wird das Niveau einer 75 W-Glühlampe mit ca. 1.050 lm erreicht, erste Lampen entsprechend der 100W Glühbirne (ca. 1.500 lm) wurden von Philips bereits angekündigt. Damit stehen allerdings für die überwiegenden Retrofitanwendungen in Haushalten bereits geeignete Lampen zur Verfügung.

Die Konkurrenzfähigkeit mit Leuchtstofflampen ist vorübergehend noch durch den hohen Einkaufspreis eingeschränkt. Auch hinsichtlich Energieeffizienz sind die Vorteile von LED gegenüber Kompaktleuchtstofflampen derzeit noch beschränkt. Beste LEDs sind etwa um 10–15 % effizienter.

Offensichtliche Vorteile bietet der Ersatz von Halogenspots durch LED-Spots. LED-Spotlampen weisen eine 10-fach höhere Lebensdauer auf, bei gleichzeitig wesentlich höherer Energieeffizienz. Zugleich können hier sämtliche Vorzüge der LED-Technologie für gerichtete Beleuchtung ausgespielt werden.

## LED-Röhren

LED-Röhren werden heute bereits vielfach als Ersatz für T8-Fluoreszenzröhren angeboten.

Ein solcher Austausch lohnt sich heute weder aus Qualitäts-, Kosten- oder Effizienzüberlegungen. Im Weiteren können bei Eingriffen in die Leuchte Probleme hinsichtlich Gewährleistung auftreten.

Ein Vergleich einer aktuellen Long-Life-Leuchtstoffröhre und einer vergleichbaren LED-Röhre (**Tabelle 2-4**) zeigt zunächst, dass auch hinsichtlich Effizienzgewinn und Lebensdauer nicht unbedingt Vorteile zu erwarten sind, bei gleichzeitig etwa doppelt so hohem Preis der LED-Produkte.

Des Weiteren besteht für LED-Röhren (im Gegensatz zu LED-

Retrofitkompaktlampen) derzeit keine Deklarationspflicht für standardisierte Effizienz- und Qualitätsangaben. LED-Röhren sind von der Ecodesign-Verordnung von 2009 ausgenommen. Die auf freiwilliger Basis publizierten Effizienzwerte unterstehen somit nicht der Marktaufsicht und sind daher wenig abgesichert.

Hinzu kommt, dass die Lampen in bestehende Leuchten eingebaut werden, die nicht auf die Lichtverteilcharakteristik von LED-Röhren optimiert sind. Je nach Anwendung kann somit eine unerwünschte Lichtverteilung resultieren, die nicht der ursprünglichen Beleuchtungssituation entspricht. Damit stellt sich auch die Frage, ob mit der neuen Lösung die Anforderungen der geltenden Normen für Innenbeleuchtung eingehalten werden (ÖNORM EN 12646-1 2011). Für LEDs ist des Weiteren eine ausgezeichnete Wärmeabfuhr erforderlich, da der Wirkungsgrad der Lampen wie auch die Lebensdauer bei höheren Temperaturen deutlich abnimmt.

**Tabelle 2-4: Vergleich aktuelle Long-LifeT8-Leuchtstoffröhre mit aktueller LED-Röhre (nach Herstellerangaben 2013)**

Lampenmodell	Lichtstrom	Farbtemperatur (K)	Leistung (W)	Lichtausbeute (lm/W)	angegeb. Lebensdauer	Preis
T8-Longlife-Röhre	3300	4000	36	92	>58000-75000h	ca. 30€
LED-Röhre	2970	4000	33	90	>40000h	ca. 80€

Darüber hinaus ergeben sich wichtige Fragen hinsichtlich der technischen Manipulation der Leuchten. EVGs müssen entsprechend überbrückt werden. Bei Leuchten mit KVG bzw. VVG muss der Starter immer entfernt werden, das Vorschaltgerät aber als Überspannungsschutz belassen werden.

Ein wesentlicher Punkt ist, dass bei einem Eingriff in die Leuchte durch die Umrüstung alle Prüfzeichen des Herstellers erlöschen und der für den Umbau verantwort-

liche Experte für die Folgeschäden haftet. Jedenfalls ist eine Umbaukennzeichnung auf LED anzubringen.

Es ist zu klären, ob Gewährleistungen verloren gehen oder sämtliche Sicherheitsaspekte entsprechend gewahrt bleiben. Die Lichttechnische Gesellschaft (LTG) empfiehlt, bei einer geplanten Umrüstung von T8-Röhren auf LED-Tubes unbedingt zumindest folgende zentrale Punkte zu berücksichtigen:

LED-Tubes müssen die CE- und RoHS-Kennzeichnung (Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten) tragen und über das Prüfzeichen ENEC verfügen, das die Konformität mit den europäischen Sicherheitsnormen bestätigt. Die Produkte dürfen nicht schwerer als 500 g sein, um die Fassungen in der Leuchte nicht übermäßig zu belasten. Des Weiteren dürfen sie keinesfalls Spannung an offenen Kontaktstiften führen.

Zusammenfassend betrachtet kann der Ersatz von Leuchtstoffröhren durch LED-Röhren in bestehenden Leuchten aufgrund fehlender echter Vorteile und vieler möglicher Nachteile und Sicherheits- und Gewährleistungsprobleme daher derzeit nicht empfohlen werden.

### **Professionelle Strahler und Spots**

Professionelle LED-Spotlampen oder Strahler sind der Produktgruppe Leuchten mit integrierten LEDs zuzurechnen und werden daher in Kapitel 4 behandelt.

LED bietet für diese Produktgruppe einige Vorteile, wie beispielsweise geringe Wärme im Lichtstrom und geringe Wartungsanforderungen bzw. Unterhaltskosten. Des Weiteren bietet die LED-Technologie hier die Möglichkeit zur Modulation der Lichtfarbe. D.h., es können unterschiedli-

che Farbtöne der Umgebung hervorgehoben werden, ohne dass dafür Filter erforderlich sind. Für eine gute Farbwiedergabe in modulierbaren LED-Lampen werden meist kaltweiße LEDs mit gelben oder roten LEDs kombiniert und das Licht über einen Diffusor vermischt. Durch unterschiedliche Helligkeitsansteuerung der LEDs werden verschiedene Weißtöne mit hoher Farbwiedergabe generiert. Im Prinzip kann das gesamte relevante Farbspektrum zwischen 2.500 und 6.500 K realisiert werden.

Für Anwendungen im Handel können daher unterschiedliche Produktfarben entsprechend hervorgehoben werden. Professionelle Strahler sind damit eine Alternative zu Halogenmetaldampflampen, bieten allerdings im Vergleich hinsichtlich Energieeffizienz noch keine Vorteile.



## 2.4 Hochdruckentladungslampen (Halogenmetaldampflampen)

### 2.4.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

#### Technologisches Prinzip und typische Bauformen

Hochdruckentladungslampen werden verbreitet in der Außenbeleuchtung eingesetzt. Für die Innenbeleuchtung im Dienstleistungssektor sind lediglich Halogenmetaldampflampen relevant. Die folgenden Ausführungen sind daher auf diese Produktgruppe beschränkt.

Hochdruckentladungslampen basieren auf einem ähnlichen Prinzip wie Niederdruckentladungslampen (Leuchtstofflampen). Das technische Grundprinzip ist in beiden Fällen eine mit Quecksilbergas gefüllte



Röhre, in der eine Spannung zwischen Kathode und Anode eine Gasentladung und damit verbunden Licht erzeugt. Für den Betrieb ist ein Vorschaltgerät erforderlich.

Halogen-Metaldampflampen sind eine Weiterentwicklung der Quecksilberdampflampen und enthalten daher ebenfalls einige Milligramm Quecksilber. Durch Zugabe von Halogenen und seltenen Erden im Füllgas weisen sie eine höhere Lebensdauer und höhere Effizienz auf. Sie zeichnen sich im Weiteren durch ihre Kompaktheit, gute Richtbarkeit und gute Farbwiedergabe aus. Die fast punktförmige Lichtquelle erzeugt ein brillantes Licht.

#### Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe liegt bei guten Lampen für die Innenbeleuchtung bei Ra 85–90 und teilweise darüber.

**Tabelle 2-5 Halogenmetaldampflampen: Wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick** (Beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)

		
<b>Bauform</b>	<b>Metallhalogen-Kompaktlampe u. Standardlampe</b>	<b>Metallhalogen-Reflektorlampe</b>
<b>Design&amp;Sockeltypen</b>	G8.5, G12 etc.	E27
	<b>Typischer Bereich</b>	<b>Typischer Bereich</b>
<b>Farbtemperatur (K)</b>	3 000-4 000K	3 000-4 000K
<b>Farbwiedergabe (Ra)</b>	90	90
<b>Lebensdauer (h)</b>	12 000-30 000	12 000-15 000

<b>Schaltzyklen (n)</b>		
<b>Lichtstrom (lm)</b>	4 000-25 000	
<b>Energieeffizienz (lm/W)</b>	90-115	
<b>Vorteile</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brillantes Licht</li> <li>• Ideal für viele Anwendungen, wo hoher Lichtstrom, hohe Brenndauer sowie gute Lichtqualität und Farbwiedergabe erforderlich sind: Hallen, Shops, Ausstellungen, Entertainment etc.</li> <li>• Hohe Energieeffizienz</li> <li>• Lange Lebensdauer</li> </ul>	<b>Nachteile</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Abwärme</li> <li>• Quecksilbergehalt</li> <li>• UV</li> <li>• Lange Startzeit</li> </ul>	
<b>Empfehlungen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prüfung der Option von LED Strahlern in der Akzentbeleuchtung: Vorteile der LEDs gegenüber Halogenmetaldampflampen: Kein Quecksilber, kein UV, kurze Startzeit, geringe Wärme im Lichtstrom</li> </ul>		

### Lebensdauer und Schaltfestigkeit

Halogenmetaldampflampen weisen eine Lebensdauer von ca. 10.000 bis zu 30.000 h auf, bei allerdings langen Startzeiten von mehreren Minuten. Sie sind daher insbesondere für Anwendungen mit langen Betriebsdauern und niedriger Schaltfrequenz geeignet (Eingangshallen, Handel).

### Energieeffizienz

Halogen-Metaldampflampen erreichen eine hohe Energieeffizienz von bis zu 110 lm/Watt. Sie sind somit derzeit mindestens so effizient bzw. teilweise effizienter als LED-Lampen.

### 2.4.2 Anwendungsbereiche und Kosten

Die Halogenmetaldampflampen werden häufig in Strahlern mit gebündeltem Licht eingesetzt. Ideal ist der Einsatz für tageslichtähnliche Beleuchtung, bei langer Einschaltdauer und bei hohen erforderlichen Beleuchtungsstärken.

Halogen-Metaldampflampen werden in unterschiedlichen Leistungsklassen von 35 W bis zu mehreren hundert Watt sowie in unterschiedlichen Bauformen angeboten. Für Anwendungen zur Innenbeleuchtung und Akzentbeleuchtung werden spezielle Kompaktbauformen angeboten. Qualitativ hochwertige Lampen verfügen über einen Keramikbrenner.

Nachteile der Technologie sind vor allem die lange Startzeit der Lampen, sowie die

hohe Wärmeabstrahlung. Die verwendeten Leuchten müssen entsprechend Schutz gegen UV-Strahlung sowie bei eventuellem Bersten der Lampen bieten. Alternativ dazu sind Lampen mit sicherer Doppelverglasung erforderlich. Viele Lampentypen sind auf Betrieb in geschlossenen Leuchten ausgelegt.

Metalldampflampen kosten je nach Ausführung und typischen Wattagen für Innenraumanwendungen zwischen ca. € 10 und 50. Ein typisches Produkt mit 35 W Leistungsaufnahme und 3.700 lm mit angegebener Lebensdauer von 15.000 h kostet € 18 und weist eine Energieeffizienz von ca. 100 lm/W bei einer Farbwiedergabe von Ra 90 auf. Angesichts dieser Kenndaten ist die Konkurrenz für professionelle LED-Lampen beim aktuellen Preisniveau derzeit noch erheblich.

Praxis-Cases in Shops haben jedoch gezeigt, dass im Bereich der Akzentbeleuchtung mit entsprechend optimierter Dimmung dennoch gewisse Effizienzvorteile mit LED-Lösungen erzielt werden können. Der Effizienzgewinn liegt hier allerdings mehr im Systemdesign und nicht in der Lampeneffizienz

## **2.5 Internationale Standards und Labels für Lampen und Vorschaltgeräte**

Für Beleuchtungskomponenten und das Design von Beleuchtungssystemen im Bereich der Innenbeleuchtung existiert heute eine Reihe relevanter Normen und Standards. Verpflichtende Standards gibt es in der EU insbesondere für die Beleuchtungshardware, d.h. für Lampen und Vorschaltgeräte.

Auf entsprechende Normen und Standards für das Design von Beleuchtungssystemen wird in Kapitel 5 eingegangen. Richtlinien oder Verordnungen zur Unterstützung der Energieeffizienz auf der Ebene von Beleuchtungssystemen fehlen in Österreich bislang.

Für LED-Produkte wurde ein freiwilliger Qualitätsstandard entwickelt, der vor allem auf Produkte für den Wohnbereich ausgerichtet ist (LED-Quality Charter, EC JRC 2011).

### **2.5.1 EU-Mindeststandards und Labels**

Im Rahmen der EU-Rahmengesetzgebung für Ecodesign und Produktlabelling wurden drei Verordnungen zu Produkt-Mindeststandards und eine Verordnung für ein Produktlabel eingeführt. Damit wird das gesamte Spektrum an Lampentechnologien für den Haushaltsbereich, den Dienstleistungssektor und den gewerblichen Bereich inklusive Straßenbeleuchtung abgedeckt:

- Verordnung Nr. 245/2009 für Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät und Hochdruckentladungslampen (enthält auch Kriterien für Vorschaltgeräte und Leuchten) (EC 2009a)
- Verordnung Nr. 244/2009 für Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht (Glühlampen, Leuchtstofflampen, LEDs) (EC 2009b)
- Verordnung Nr. 874/2012 zum Labelling für Lampen und Leuchten (EC 2012a)
- Verordnung Nr. 1194/2012 für Lampen mit gebündeltem Licht (EC 2012b)

Insgesamt ist zu beachten, dass Produkte, die diese Verordnungen nicht erfüllen, jedoch vor Inkrafttreten der Verordnungen im EU-Raum in Verkehr gebracht wurden, vom Handel noch abverkauft werden dürfen. In der Praxis kann somit die Situation bestehen, dass noch Produkte angeboten werden, die aufgrund der geltenden Kriterien nicht mehr neu in Verkehr gebracht werden dürfen.

#### **2.5.1.1 Mindestkriterien für Niederdruck- und**



### **Hochdruckgasentladungslampen ohne integriertes Vorschaltgerät**

Für Gasentladungslampen wurden in der EU-Verordnung Nr. 245/2009 eine Reihe von Mindesteffizienzkriterien definiert, die von den Herstellern verpflichtend einzuhalten sind. Davon betroffen sind Leuchtstofflampen, Standard-Quecksilberhochdruckdampflampen, Natrium-Hochdruckdampflampen und Halogen-Metallampflampen.

Für Innenbeleuchtung sind ausschließlich die Regelungen für Leuchtstofflampen und für Metallhalogenidlampen relevant. Die übrigen Lampentypen werden in der Außenbeleuchtung bzw. Straßenbeleuchtung eingesetzt.

Für Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen ohne integriertes Vorschaltgerät gelten gestaffelte Anforderungen, die seit 2010 schrittweise in Kraft treten. T8- und T5-Lampen müssen seit 2012 je nach Lampenleistung Mindesteffizienzwerte zwischen 63 und 94 lm/W erfüllen. Für stabförmige und kreisförmige Kompaktleuchtstofflampen sowie weitere Bauformen gelten ebenfalls leistungsabhängige Mindestkriterien zwischen 50 und 100 lm/Watt.

Halophosphatlampen (Standardlampen älteren Typs mit Calciumhalogenphosphat als Leuchtstoff) der folgenden Bauformen entsprechen nicht mehr den Kriterien und dürfen nicht mehr auf den Markt gebracht werden:

Seit 2010:

- T8 stabförmig
- U-förmig
- T9 ringförmig

Seit 2012:

- T4 stabförmig
- T10
- T12

Für Hochdruckdampflampen gelten seit 2012 erstmals Mindestkriterien zur Energieeffizienz. Für die Innenbeleuchtung sind lediglich die Kriterien für Halogenmetallampflampen relevant (>60–85 lm/W je nach Leistungsklasse), die 2017 weiter verschärft werden.

Zum selben Zeitpunkt gilt auch ein Verbot von Leuchtstofflampen mit Zweistiftsockel mit integriertem Starter, die nicht mit Vorschaltgeräten der Effizienzklasse A2 betrieben werden können.

Die Verordnung definiert darüber hinaus Mindestanforderungen zum Lampenlichtstromerhalt und zur Lebensdauer für die einzelnen Lampentechnologien.

Für die Beschaffungspraxis bieten die neuen Verordnungen insbesondere folgende Vorteile:

- Phase-out der ineffizientesten Lampentypen. Diese dürfen von den Herstellern nicht mehr angeboten werden und sind durch geeignete Alternativprodukte zu ersetzen.
- Gestaffelte Effizienzkriterien, die signalisieren, welche Effizienzniveaus demnächst nicht mehr akzeptiert werden und daher bereits heute nicht mehr nachgefragt werden sollten.
- Verbesserte Produktinformation und Markttransparenz. Die Produktdaten zu den Effizienz- und Qualitätskriterien müssen zukünftig standardisiert deklariert und allgemein zugänglich publiziert werden (**Tabelle 2-6**).
- Referenzwerte bzw. Benchmarks zu besten verfügbaren Lampen. In den Verordnungen sind jeweils auch Daten zu Referenzwerten für die verschiedenen Lampentechnologien angegeben.

Da die Ecodesign-Verordnungen nur Mindestkriterien definieren, liegen gute Lam-

pen, die in der Beschaffung bevorzugt werden sollten, weit über diesem Niveau. **Tabelle 2-7** zeigt einige Benchmarks für Halogenmetaldampflampen. Die Effizienzwerte für sehr gute Lampen mit entsprechend guter Farbwiedergabe für Innenbeleuchtung liegen je nach Leistung zwischen 80 und 100 lm/W. Die Lampenlebensdauer liegt bei etwa 12.000 Stunden, der Lampenlichtstromerhalt und Lampenüberlebensfaktor bei >0,8.

**Tabelle 2-6: Informationsanforderungen für Lampen, Vorschaltgeräte und Leuchten (EC 2009a)**

<b>Lampe</b>
Nennwert und Bemessungswert für die Lampenleistung;
Nennwert und Bemessungswert für den Lichtstrom
Bemessungswert für den Lampenwirkungsgrad bei 100 h Betrieb
Lampenlichtstromerhalt bei 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 12.000, 16.000, 20.000 h
Lampenüberlebensfaktor bei 2.000, 4.000, 6.000, 8.000, 12.000, 16.000, 20.000h
Quecksilbergehalt der Lampen in X,X mg
Farbwiedergabeindex (Ra) der Lampe
Farbtemperatur der Lampe
Umgebungstemperatur für maximalen Lichtstrom
<b>Vorschaltgeräte</b>
„Energieeffizienzindex“ (EEI)
<b>Leuchten</b>
Bei Leuchten mit integrierten Vorschaltgeräten: Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts
Bei Leuchten mit integrierten Lampen: Wirkungsgrad der Lampe
Hinweis auf kompatible Lampen Vorschaltgeräte
Wartungsempfehlungen
Hinweise zur Zerlegung

**Tabelle 2-7: Benchmarks sehr guter Halogenmetaldampflampen (EC 2009a)**

Lampennennleistung [W]	Lichtausbeute [lm/W] Ra>80	Lichtausbeute [lm/W] 80>Ra>60
W ≤ 55	≥ 80	≥ 95
55 < W ≤ 75	≥ 90	≥ 113
75 < W ≤ 105	≥ 90	≥ 116
105 < W ≤ 155	≥ 98	≥ 117
155 < W ≤ 255	≥ 105	
255 < W ≤ 405	≥ 105	
Betriebsstunden	12 000	
Lampenlichtstromerhalt	> 0,80	
Lampenüberlebensfaktor	> 0,80	

### 2.5.1.2 Mindestkriterien für Vorschaltgeräte

Die Mindesteffizienz von Vorschaltgeräten wird ebenfalls in mehreren Umsetzungsstufen geregelt, wobei 2012 bereits die zweite Stufe in Kraft getreten ist und 2017 die dritte Stufe folgt. Die Effizienzanforderungen sind je nach Lampentechnologie und Leistungsklasse unterschiedlich. Insgesamt wird das Ziel verfolgt, mittelfristig nur noch elektronische Vorschaltgeräte mit sehr hoher Effizienz zuzulassen. Konventionelle Vorschaltgeräte erfüllen die Effizienzanforderungen der dritten Stufe nicht und werden ab 2017 nicht mehr angeboten.

Bei Vorschaltgeräten für Niederdrucklampen (Leuchtstofflampen) muss seit 2010 mindestens die Effizienzklasse B2 erreicht werden, für neu auf den Markt gebrachte Lampen gilt bereits Effizienzklasse A3 als Mindestanforderung.

Seit 2012 dürfen Vorschaltgeräte nur noch 0,5 W im Standby verbrauchen. Bei Vorschaltgeräten zu Hochdruckdampflampen gilt ab diesem Zeitpunkt die Mindestanforderung Effizienzklasse A3.

Ab 2017 gilt zwingend der Einsatz von bester verfügbarer Technologie, d.h. bei Leuchtstofflampen Klasse A1-BAT für dimmbare Vorschaltgeräte und A2-BAT für nicht dimmbare Geräte. Für Hochdruckdampflampen gilt ab diesem Zeitpunkt die Mindestanforderung Klasse A2.

Der Energieeffizienzindex muss von den Herstellern in der Produktinformation in Web- und Printmedien angegeben werden. Hinzu kommt eine entsprechende Kennzeichnungspflicht direkt auf den Produkten. Damit sind die Effizienzinformationen für die Beschaffung sehr einfach zugänglich.

Die effizientesten heute verfügbaren Vorschaltgeräte für Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen entsprechen der Klasse A1-BAT und sind dimmbar.

### 2.5.1.3 Mindestkriterien für Leuchten

Für Leuchten wurden bislang keine Energieeffizienzanforderungen festgelegt. Im Rahmen der Ecodesign-Verordnung wird jedoch gefordert, dass Leuchten ab 2012 mit Vorschaltgeräten kompatibel sind, die

der besten Effizienzklasse entsprechen (d.h. mit Klasse A1 oder A2-VGs). Es ist daher grundsätzlich empfehlenswert, bei Neubeschaffung bereits auf A1-Klasse oder A2-Klasse-Technologie umzusteigen.

Darüber hinaus bestehen für Leuchten mit einem Lichtstrom über 2000 lm folgende Informationsanforderungen für die Hersteller:

- Angabe der Lampeneffizienz und Effizienz der Vorschaltgeräte, wenn diese Komponenten der Leuchte beigefügt sind.
- Angaben zu kompatiblen Lampen und Vorschaltgeräten, wenn diese Komponenten nicht beigefügt sind.
- Anweisungen zur Zerlegung und Wartungshinweise

Die wichtigsten Kriterien zu Lampen, Vorschaltgeräten und Leuchten sind in Tab 2-8 zusammengefasst.

**Tabelle 2-8: Zusammenfassung der Ecodesign-Kriterien für Lampen im Dienstleistungssektor (Leuchtstofflampen ohne VG und Hochdruckentladungslampen, nach EC 2009a)**

Umsetzung	Komponenten	Anforderungen Leuchtstofflampen	Anforderungen Hochdruckentladungslampen
Umsetzungsstufe 1 (2010)	Lampen	Verbot von Halophosphatlampen T8, T9, U-Form, Generelle Deklarationspflicht der Produktdaten	Generelle Deklarationspflicht der Produktdaten
	Vorschaltgeräte	Nicht dimmbar, bereits verfügbare Lampen: mindestens EEI B2	
		Nicht dimmbar, neue Lampen: mindestens EEI A3	
		Dimmbar: mindestens EEI A3	
	Leuchten	Für Leuchten > 2000 lm müssen die technischen Informa-	

		tionen auf Webseiten und in technischen Unterlagen bereitgestellt werden	
Umsetzungsstufe 2 (2012)	Lampen	Verbot von Halophosphatlampen T4 stabförmig, T10, T12	Effizienzanforderungen an Natrium-dampfhochdrucklampen und Halogenmetallampflampen
	Vorschaltgeräte	Standby-Verluste <0,5W	mindestens EEI A3
	Leuchten	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3.Stufe kompatibel sein	Für Leuchten >2000lm: technische Informationen auf Webseiten und in technischen Unterlagen
Umsetzungsstufe 3 (2015)	Lampen		Quecksilberdampf-Hochdrucklampen sowie Natriumdampf-Hochdrucklampen, die als Ersatz für HPM-Lampen (E27, E40, PGZ12) bzw. für den Betrieb mit HPM-Vorschaltgeräten ausgelegt sind, sind nicht mehr zulässig
Umsetzungsstufe 4 (2017)	Lampen	Zweistift-Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Starter nicht mehr zulässig	Strengere Anforderungen an Halogen-Metallampflampen
	Vorschaltgeräte	Nicht dimmbar: mindestens EEI A2 oder A2-BAT Dimmbar: mindestens EEI A1-BAT	mindestens EEI A2
	Leuchten	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3.Stufe kompatibel sein	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3.Stufe kompatibel sein

#### 2.5.1.4 Mindestkriterien und Label für Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät, Halogenleuchtstofflampen und für LEDs

Mit der EU-Verordnung Nr. 244/2009 wurde der Ausstieg aus der klassischen Glühlampentechnologie beschlossen. Standard-Glühlampen dürfen aufgrund ihrer geringen Energieeffizienz seit Herbst 2012 nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Im Handel finden sich jedoch Restbestände, die noch verkauft werden dürfen.

Als Ersatz für Standard-Glühlampen stehen Halogenleuchtstofflampen, Kompaktleucht-

stofflampen und LED-Lampen zur Verfügung. Für diese Lampentechnologien wurden ebenfalls Mindestkriterien zur Energieeffizienz definiert, um ineffiziente Produkte sukzessive aus dem Markt zu verdrängen. Halogenleuchtstofflampen müssen derzeit mindestens Effizienzklasse C erfüllen (siehe Tabelle 2-11).

Ab 2016 gilt Effizienzklasse B als Mindestanforderung. Damit werden Hochvolthalogenleuchtstofflampen nicht mehr zulässig sein. Für die Umsetzung dieses Kriteriums wird allerdings vorausgesetzt, dass zu diesem Zeitpunkt ein umfassendes Sortiment an qualitativ vergleichbaren Ersatzprodukten

für Halogenhochvoltlampen zur Verfügung steht. R7s Lampen (Halogenstäbe) sind von dieser Regelung bislang ausgenommen.

Kompaktleuchtstofflampen mit matter Doppelverglasung (Retro Birnen- und Kerzendesign) müssen mindestens die Anforderung Effizienzklasse B erfüllen. Einfach verglaste Lampen müssen Effizienzklasse A erreichen. Dieselben Anforderungen gelten grundsätzlich für LED-Retrofitlampen mit ungebündeltem Licht (Birne, Kerze).

Weitere Mindestkriterien zur Qualität und Funktionalität (Farbwiedergabe, Lebensdauer etc.) von LED-Lampen wurden in der neuen Verordnung für Lampen mit gebündeltem Licht festgelegt (**Tabelle 2-9**). Die Anzahl der Schaltzyklen bis zum Ausfall muss mindestens der halben Lebensdauer in Stunden entsprechend, ab einer Lebensdauer von 30.000 h jedoch mindestens 15.000 betragen.

**Tabelle 2-9: Mindestqualitätskriterien für LED-Lampen (EC 2012b)**

Kriterium	
Lampenlebensdauerfaktor nach 6000h	≥ 0,90 (ab Sep. 2014)
Lichtstromerhalt nach 6000h	≥ 0,80 (ab Sep. 2014)
Anzahl Schaltzyklen bis zum Ausfall	≥ 15.000 wenn Lebensdauer ≥ 30.000h/ansonsten halbe Lebensdauer in Stunden
Startzeit	< 0,5s
Anlaufzeit bis 95% Φ	< 2s
Vorzeitiger Lampenausfall	≤ 5,0% at 1000h
Farbwiedergabe (Ra) für Innenbeleuchtung	≥ 80

Im September 2012 wurde die Verordnung zum neuen Lampenlabel für Lampen mit gebündeltem und nicht gebündeltem Licht publiziert. Die Label-Skala wurde dabei von A auf A++ erweitert. Die Effizienzklassen sind in **Tabelle 2-10** dargestellt.

Die besten derzeit angebotenen Produkte erreichen Klasse A+.

**Tabelle 2-10: Effizienzklassen des neuen Labels für Lampen mit ungebündeltem und gebündeltem Licht (EEI=Energieeffizienzindex, EC 2012a)**

Energieeffizienzklasse	Lampen mit ungebündeltem Licht	Lampen mit gebündeltem Licht
A++	EEI ≤ 0,11	EEI ≤ 0,13
A+	0,11 < EEI ≤ 0,17	0,13 < EEI ≤ 0,18
A	0,17 < EEI ≤ 0,24	0,18 < EEI ≤ 0,40
B	0,24 < EEI ≤ 0,60	0,40 < EEI ≤ 0,95
C	0,60 < EEI ≤ 0,80	0,95 < EEI ≤ 1,20
D	0,80 < EEI ≤ 0,95	1,20 < EEI ≤ 1,75
E	EEI > 0,95	EEI > 1,75

Der **Energieeffizienzindex (EEI)** Der EEI errechnet sich aus dem Verhältnis der Nennleistung der Lampe oder korrigierten Nennleistung (bei Modellen mit externem Vorschaltgerät) zur Referenzleistungsaufnahme. Die Referenzleistungsaufnahme errechnet sich auf Basis des Nutzlichtstroms der Lampe. (Gesamtlumen für ungebündeltes Licht, Lumen im 90° oder 120° Kegel für gebündeltes Licht bzw. Spotlampen).

Da das Segment der Spotlampen zunehmend von LEDs abgedeckt wird und Halogenleuchtstofflampen damit an Bedeutung verlieren, ist davon auszugehen, dass in wenigen Jahren nur noch Lampen der Effizienzklassen oberhalb von Klasse A angeboten werden. Allerdings ist auch dort das Feld breit und umfasst zukünftig voraussichtlich ein Effizienzspektrum zwischen 50 und 150 lm/W.

Abbildung 2-1 zeigt das neue Label, auf dem die Effizienzklasse und der Stromverbrauch der Lampe in 1000 h angegeben ist.

Die Labelverordnung definiert im Weiteren auch ein Label für Leuchten (**Abbildung 2-2**), das über die Kompatibilität der Leuchten mit Lampen unterschiedlicher Effizienzklassen informiert. Verschiedene Label-Varianten geben auch Auskunft darüber, mit Lampen welcher Effizienzklasse die Leuchte ausgeliefert wird oder informieren, ob die Leuchte nicht-austauschbare LED-Lampen enthält.

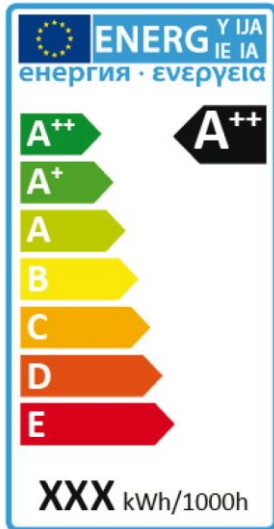


Abbildung 2-1: Neues Label für Lampen

Die Verordnungen im Rahmen der Ecodesign- und Label-Richtlinien umfassen ausschließlich die Hardwarekomponenten der Beleuchtung (Leuchtmittel, Leuchte, Vorschaltgerät). Das Design von Beleuchtungssystemen, steuerungs- & regelungstechnische Aspekte sowie die Außenlichtnutzung werden hier nicht berücksichtigt und sind entsprechend in gebäudeorientierten Verordnungen zu regeln. Eine Grundlage dafür bietet die Gebäuderichtlinie der EU. Seitens EU wurde im Jänner 2012 eine ergänzende Verordnung vorgelegt. (DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 244/2012 DER KOMMISSION vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU)

Hinsichtlich Qualitätsanforderungen für Beleuchtungssysteme setzt die ÖNORM EN 12464 2011 (Licht und Beleuchtung — Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen) den entsprechenden Standard. Weitere Details hierzu finden sich in Kapitel 5.

### 2.5.2 Internationale Qualitäts- und Effizienzstandards für LEDs

Internationale Qualitätsstandards wurden in jüngerer Vergangenheit unter anderem für LED-Produkte entwickelt. Die LED-Qualitäts-Charter des EU Joint Research Centre ISPRA (EC JRC 2011) wurde in Kooperation mit Beleuchtungsexperten aus mehreren EU-Ländern entwickelt. Das Kriterienpapier gibt Empfehlungen zu Qualitäts- und Effizianzstandards, die für Produkte zukünftig eingehalten bzw. angestrebt werden sollen. Es handelt sich um eine freiwillige Initiative, an der sich verschiedenste Marktakteure (Hersteller, Handel etc.) beteiligen können. Die wichtigsten Kriterien sind in Tabelle 2-11 dargestellt. Der Fokus liegt bislang auf Retrofit-Leuchtmitteln für Anwendungen im Wohnbereich.

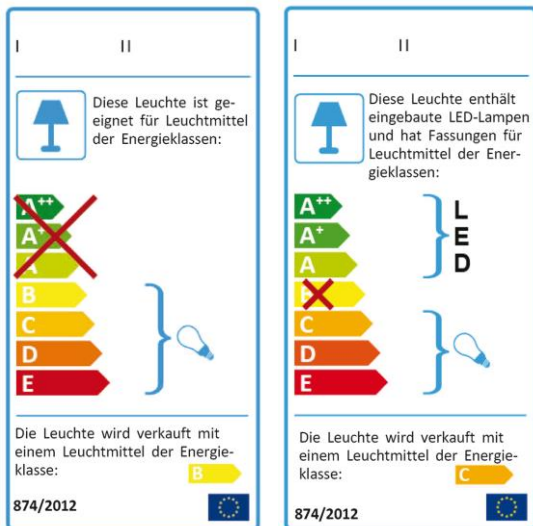


Abbildung 2-2: Neues Label für Leuchten  
Richtlinien und Standards für die Gestaltung von Beleuchtungssystemen

**Tabelle 2-11: Wichtigste Kriterien der LED-Charter** (Die Werte zum Lichtstromerhalt geben an, nach welcher Zeit noch welcher Prozentsatz der Lampen funktionstüchtig (F-Wert) sein muss und einen Mindestlichtstrom (L) im Vergleich zum Startwert aufweisen muss.

Lampentyp	Farbwiedergabe	Lampeneffizienz (lm/W)			
		2012	2013	2014	2015
Lampen mit ungebündeltem Licht	>80	65	70	75	80
	>90	55	60	65	70
Lampen mit gebündeltem Licht	>80	55	60	65	70
	>90	45	50	55	60
<b>Lichtstromerhalt</b>	L70F50	>15.000h			
	L85F05	>1.000h			
<b>Startzeit</b>		0,5s			
<b>Anlaufzeit 0,95</b>		2s			
<b>Farbwiedergabe</b>		>80			
<b>Blaulichtgefährdung</b>		RG0/RG1			
<b>Leistungsfaktor</b>		0,5			

# 3 Leuchten

## 3.1 Leuchteneffizienz und Leuchtenqualität

Leuchten für den professionellen Anwendungsbereich werden im Gegensatz zu Haushaltsleuchten nach lichttechnischen Kriterien gestaltet und getestet.

Primäre Aufgabe der Leuchten sind die Lichtlenkung sowie vielfach auch die Entblendung. Die Lichtlenkung wird zumeist über Reflektoren, Kunststoffprismen und Mattglasscheiben erreicht.

Für Innenbeleuchtung werden vor allem folgende Leuchtentypen eingesetzt:

- Deckenanbau- und Deckeneinbauleuchten
- Downlights
- Pendelleuchten
- Stehleuchten
- Strahler, Spotleuchten
- Tischleuchten und Wandleuchten
- Lichtbänder

Abhängig vom Designprinzip unterscheiden sich Leuchten auch hinsichtlich der Energieeffizienz. Für die Charakterisierung der Effizienz werden – wie in Kapitel 1 erläutert – die Kenngrößen Leuchtenbetriebswirkungsgrad (Verhältnis des Lichtstroms von Leuchte+Lampe zum Lichtstrom der Lampe, auch LOR oder Light Output Ratio) und die Gesamtenergieeffizienz des Systems Lampe-Vorschaltgerät-Leuchte (LEF in Lm/Watt) verwendet.

Beim Betriebswirkungsgrad wird berücksichtigt, dass Leuchtstofflampen und LEDs je nach Erwärmung bzw. Betriebstemperatur in der Leuchte unterschiedliche Lichtmengen abgeben. LOR-Werte sind daher immer auf eine bestimmte Kombination von Lampe und Leuchte bezogen und keine reinen Leuchteneffizienzwerte.

**Tabelle 3-1** zeigt maximale Wirkungsgrade für verschiedene Kombinationen von Lampentechnologien und Leuchtentypen. Die Werte für LED-Leuchten sind für integrierte LED-Systeme angegeben, bei welchen die Lampen nicht getrennt gemessen werden können (daher hier durchwegs 100 %). Bei Leuchtstoffröhren sind Werte über 100 % möglich, da die Lampeneffizienz (z.B. bei T5-Lampen) mit steigender Temperatur in der Leuchte bis zum spezifischen Optimum (ca. 35 °C) zunimmt.

Bislang gibt es hinsichtlich der Effizienz von Leuchten keine international verbindlichen Anforderungen. Im Rahmen des EU-Ecodesign-Prozesses wurden bereits Konzepte für eine Effizienz-Bewertung diskutiert, jedoch bislang nicht umgesetzt.

**Tabelle 3-1: Maximale Betriebswirkungsgrade (LOR) in Prozent für Leuchten-Lampen-Kombinationen** (n. Gasser & Tschudy 2012)

Entladungslampen	Hochdruckdampf lampen	Kompaktleuchtstoff lampen	LED	Leuchtstoffröhren
Deckenanbauleuchte		91	100	109
Deckeneinbauleuchte		83	100	93
Downlight		81	100	
Pendelleuchte		92	100	101
Stehleuchte	67	98	100	98
Strahler	87		100	
Tischleuchte		93	100	96
Wandleuchte		78		91



In der Schweiz wurde im Rahmen des Programms „Minergie“ ein Konzept zur Bewertung und zum Test von Leuchten und zur Vergabe von Energiezertifikaten entwickelt. Beurteilt wird dabei das Gesamtsystem aus Leuchte, Vorschaltgerät und Leuchtmittel mittels LEF (Gasser & Tschudy 2012). Die erforderlichen Mindesteffizienzwerte für „Minergie-Leuchtsysteme“ werden in Lumen/Watt angegeben.

Da unterschiedliche Leuchtendesigns und Leuchtmittel zu einer unterschiedlichen Systemeffizienz führen, wurde für die Bewertung eine Klassifizierung nach Leuchtentyp (direkt und indirekt), Lampentyp (Leuchtstoffröhren versus kompakte Leuchtmittel), Lampengröße (bei Röhren) oder Leistungsklasse (bei Kompaktlampen) eingeführt (insgesamt 12 Kategorien siehe Tab. **Tabelle 3-2**).

Neben der Leuchten- und Lampeneffizienz werden für die Zertifizierung weitere Anforderungen hinsichtlich Effizienz und Produktqualität gestellt.

Die Standby-Leistungsaufnahme muss bei ungerelgten Leuchten 0 W, bei regelbaren Stehleuchten <0,5 Watt betragen.

Die Blendziffer bzw. der UGR-Wert (Unified Glare Rating: Verhältnis der Direktblendung durch Leuchten im Innenraum zur allgemeinen Raumhelligkeit bzw. zur Leuchtdichte im Hintergrund, EU-Norm EN 12464) darf maximal 25 betragen. Frei strahlende Leuchten ohne Reflektor erfüllen die Zertifizierungskriterien daher nicht.

Erforderlich sind des Weiteren ein Farbwiedergabeindex von mindestens 80, eine Lebensdauer von mindestens 20.000 Stunden und ein Leistungsfaktor analog zu Leuchtstofflampen (mindestens 0,5 bis 25 Watt, mindestens 0,9 ab 25 Watt).

**Tabelle 3-2: Effizienzbewertung und Effizianzorderungen für Leuchten im „Minergie“-Programm der Schweiz (SAFE 2007)**

Abstrahlung	Leuchtstoffröhre		Kompaktleuchtstofflampe/LED/ Halogenmetaldampflampe	
	Baulänge <600mm	Baulänge >600mm	Leistung<35W	Leistung>35W
Indirekt	65lm/W	70lm/W	44lm/W+0,5lm/W	60lm/W
Beidseitig	60lm/W	65lm/W	39lm/W+0,5lm/W	55lm/W
Direkt	55lm/W	60lm/W	34lm/W+0,5lm/W	50lm/W

Neben der Energieeffizienz spielt wie bei Lampen also auch eine Reihe von Qualitätskriterien eine wesentliche Rolle. Dazu zählen Aspekte wie

- Leuchtendesign
- Lichtverteilung
- Kombination von direkter und indirekter Beleuchtung
- Lebensdauer
- Wartungsfreundlichkeit bei Komponententausch und Reparatur
- Verschmutzungsresistenz
- Sonderkomponenten für Steuerung und Regelung

Gute Leuchten für den Einsatz im Dienstleistungs- und Gewerbebereich weisen eine hohe Verschmutzungsresistenz auf, mit einem Lichtstromerhalt von über 90 % in vier Jahren.

Referenzleuchten bieten weiters folgende Funktionalitäten:

- Präsenzerkennung
- Lichtreaktives Steuern für wechselndes Tageslicht

- Lichtstromsteuerung zur Berücksichtigung wechselnder Anforderungen
- Lichtstromsteuerung zum Ausgleich von Verschmutzungen der Leuchte und veränderter Lichtleistung

### 3.2 Leuchtenbauformen und Anwendungsbereiche

**Tabelle 3-3** zeigt die besten Systemeffizienzen von Leuchten, die im Schweizer „Minergieprogramm“ zertifiziert wurden. Aus den Daten geht hervor, dass insbesondere folgende Kombinationen von Lampentechnologie und Leuchtenbauform sehr effizient sind:

- **Deckenanbauleuchten, Pendelleuchten, Wandleuchten:** Leuchtstoffröhren
- **Deckeneinbauleuchten und Downlights:** LED
- **Strahler:** Halogen-Metaldampflampen
- **Stehleuchten, Tischleuchten:** Kompaktleuchtstofflampen

**Tabelle 3-3: Maximale Leuchteneffizienzfaktoren (LEF) für Leuchten/Leuchtmittelkombinationen im Minergieprogramm (sowie Mindestanforderungen nach Schweizer Norm SIA 380/4) (Gasser & Tschudy 2012)**

	Hochdruckdampflampen (lm/W)	Kompaktleuchtstofflampen (lm/W)	LED (lm/W)	Leuchtstoffröhren (lm/W)
Deckenanbauleuchte		66 (35)	78	84(55)
Deckeneinbauleuchte		66 (35)	81	80 (55)
Downlight		51 (35)	77	
Pendelleuchte		70 (50)	55	84 (70)
Stehleuchte	59(40)	93 (50)	66	72 (65)
Strahler	71(40)		58	
Tischleuchte		68 (35)	44	67 (55)
Wandleuchte		61 (50)		77 (65)

Für die Wahl geeigneter Leuchten ist insbesondere auch die Berücksichtigung der gewünschten Lichtverteilung relevant. Im Folgenden werden die wichtigsten Leuchtentypen kurz charakterisiert und anhand von energieeffizienten Beispielen aus dem Schweizer Minergie-Programm dargestellt (**Tabelle 3-4**).

#### Deckeneinbauleuchten

Effiziente Deckeneinbauleuchten gewährleisten eine gute direkte Beleuchtung des Raumes, allerdings mit dem Nachteil, dass kein indirektes „Stimmungslicht“ erzeugt werden kann. Für Deckeneinbauleuchten im klassischen Design eignen sich effiziente Leuchtstoffröhren als Leuchtmittel nach wie vor am besten. LED-Lösungen verlangen nach einem neuen, an die Technologie angepassten Leuchtdesign. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad sehr guter Deckeneinbauleuchten liegt bei etwa 90 %, die Lichtausbeute bei über 70 lm/W.

#### Deckenanbauleuchte

Deckenanbauleuchten verfolgen den gleichen Anwendungszweck wie Einbauleuchten, haben je nach Design allerdings eine breitere Lichtverteilung. Für diesen Leuchtentyp ist nach wie vor die klassische Leuchtstoffröhre prädestiniert.

#### Downlights

Downlights lassen sich vielfältig für unterschiedliche Anwendungen einsetzen und unterstützen dabei auch eine akzentuierte Beleuchtung. Typische Anwendungsbereiche sind Gänge, Eingangshallen, Besprechungsräume sowie auch Shops. Downlights lassen sich sehr gut und effizient als LED-Lösungen realisieren, d.h. hier können LEDs ihre vielfältigen Vorzüge ausspielen. Farbmodulation bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Lichtstimmungen zu erzeugen. Insbesondere in Kombination mit effektiver Regelungs- und Steuerungstechnik können teilweise sehr hohe Effizi-

enzgewinne mit einer Amortisationszeit von nur 2 Jahren erreicht werden (siehe Beispiel in Kapitel 5). Energieeffiziente Produkte erreichen eine Effizienz von über 100 lm/W.

### **Strahler**

Strahler werden insbesondere im Verkaufsbereich von Shops gerne eingesetzt, um die Ware entsprechend hervorzuheben. Als Leuchtmittel kommen Metall-dampflampen sowie mittlerweile vor allem auch LED-Lampen in Frage. Moderne LEDs erlauben beispielsweise eine flexible Farbmodulation ohne Filter. Die Lichtausbeute bei LED-Strahlern erreicht bis zu 100 lm/W.

### **Pendelleuchten**

Pendelleuchten bieten je nach Design ideale Möglichkeiten für eine kombinierte direkte-indirekte Beleuchtung. Ideales Leuchtmittel sind hier nach wie vor Leuchtstoffröhren.

### **Stehleuchten (direkt/indirekt)**


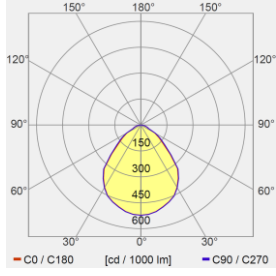

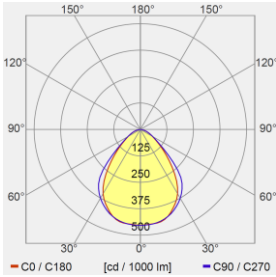

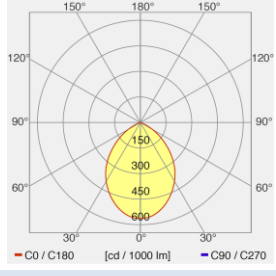

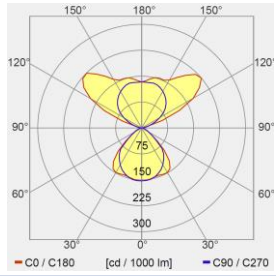

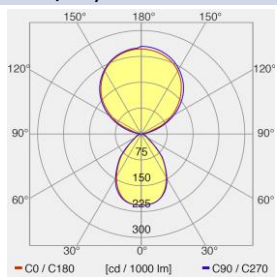
Stehleuchten bieten den Vorteil der flexiblen bedarfsgerechten Platzierung und ermöglichen gleichzeitig eine Kombination von direkter und indirekter Beleuchtung. Sie sind daher für die Arbeitsplatzbeleuchtung sehr gut geeignet. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad guter Lampen ist mit jenem von Deckeneinbauleuchten vergleichbar.

**Tabelle 3-4:** Leuchtentypen: Anwendungsbereich, Eigenschaften und Beispiele für effiziente hochwertige Lampen aus der Minergie-Datenbank (mit freundlicher Genehmigung durch die Hersteller)

Leuchtentyp und Eigenschaften	Vorteile	Nachteile
<b>Deckeneinbauleuchte</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</li> <li>• Typische Anwendungsbereiche: Büros, Besprechungsräume etc.</li> <li>• Bei LED spezifische Designs, keine Retrofitlösungen (Röhren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Raumwirkungsgrad</li> <li>• Gute Blendschutzmöglichkeiten</li> <li>• Hohe Effizienz bei Spiegelraster und LED-Lösungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dunkle Decke</li> <li>• Kein Stimmungslicht</li> </ul>
<b>Deckenanbauleuchte</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</li> <li>• Typische Anwendungsbereiche: Büros, Besprechungsräume etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Raum- und Deckenausleuchtung</li> <li>• Gute Blendschutzmöglichkeiten</li> <li>• Breitere Lichtverteilung als Einbauleuchten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Design unterschiedliche Lichtausbeute</li> <li>• Geringe Effizienz bei opaler Abdeckung</li> </ul>
<b>Downlight</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</li> <li>• Typische Anwendungsbereiche: Gänge, Eingangshallen, Besprechungsräume, Shops etc.</li> <li>• Idealer Anwendungsbereich für LED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Raumwirkungsgrad (90% bis 100%)</li> <li>• Gute Effizienz auch in dunklen Räumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dunkle Decke</li> <li>• Mögliche Blendung</li> </ul>
<b>Pendelleuchte</b>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales Leuchtmittel: Leuchtstofflampen</li> <li>• Typische Anwendungsbereiche: Besprechungsräume</li> <li>• Effiziente Bauformen kombinieren direkte und indirekte Beleuchtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Leuchtenwirkungsgrad (bis 90%)</li> <li>• Gute Raumausleuchtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raumbedarf</li> <li>• Installationsaufwand</li> <li>• Verstaubung von oben</li> </ul>
<p><b>Stehleuchte</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</li> <li>• Typische Anwendungsbereiche: Büros</li> <li>• Effiziente Bauformen kombinieren direkte und indirekte Beleuchtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible Positionierung bzw. keine fixe Installation</li> <li>• Hohe Gesamteffizienz der Lösung wegen arbeitsplatzspezifischer Positionierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusätzlicher Platzbedarf und Kabel am Boden</li> <li>• Mögliche Blendung bei einfacher Rasterabdeckung</li> <li>• Verstaubung von oben</li> </ul>

(Zweiter Teil der Tabelle, A3 Format: Beispiele zur Lichtverteilung und zu Kennwerten für effiziente, qualitativ hochwertiger Leuchten, doppelseitig auf A3 umzusetzen) Daten und Abbildungen mit freundlicher Genehmigung der Firmen Zumtobel, XAL und Waldmann

Kennwerte für beispielhafte Lampen (nach Minergie)																																			
<b>Deckeneinbauleuchte</b> 	<b>Zumtobel Lightfields 1x44, 3570lm (Leuchtenlichtausbeute: 81lm/W)</b>  <table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Deckeneinbauleuchte</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>LED</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>42179998</td></tr> <tr><td>Vorschaltgerät</td><td>EVG digital DALI Dimmbar</td></tr> <tr><td>Messlampe (Typ / Anzahl)</td><td>LED HO / 1</td></tr> <tr><td>Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)</td><td>44 W / 0.5 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>3570 lm</td></tr> <tr><td>Integrierte Lichtregelung</td><td>Dimmung</td></tr> <tr><td>Leuchtenbetriebswirkungsgrad</td><td>-</td></tr> <tr><td>Anteil Direktlicht</td><td>100 %</td></tr> <tr><td>Abstrahlung</td><td>direkt strahlend</td></tr> <tr><td>Blendklasse UGR im Standardraum</td><td>&lt;16 / &lt;16 (längs/quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 1200 cd/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>4000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex Ra</td><td>80</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50000 h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>81 lm/W (50 lm/W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Deckeneinbauleuchte	Lampenkategorie	LED	Artikelnummer	42179998	Vorschaltgerät	EVG digital DALI Dimmbar	Messlampe (Typ / Anzahl)	LED HO / 1	Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	44 W / 0.5 W	Gesamtlichtstrom 25°	3570 lm	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-	Anteil Direktlicht	100 %	Abstrahlung	direkt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1200 cd/m <sup>2</sup>	Farbtemperatur	4000 K	Farbwiedergabeindex Ra	80	Lebensdauer	50000 h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	81 lm/W (50 lm/W)
Leuchtenkategorie	Deckeneinbauleuchte																																		
Lampenkategorie	LED																																		
Artikelnummer	42179998																																		
Vorschaltgerät	EVG digital DALI Dimmbar																																		
Messlampe (Typ / Anzahl)	LED HO / 1																																		
Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	44 W / 0.5 W																																		
Gesamtlichtstrom 25°	3570 lm																																		
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-																																		
Anteil Direktlicht	100 %																																		
Abstrahlung	direkt strahlend																																		
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)																																		
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1200 cd/m <sup>2</sup>																																		
Farbtemperatur	4000 K																																		
Farbwiedergabeindex Ra	80																																		
Lebensdauer	50000 h																																		
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	81 lm/W (50 lm/W)																																		
<b>Deckenanbauleuchte</b> 	<b>XAL Mino, 1x35W, 3300lm (Leuchtenlichtausbeute: 81lm/W)</b>  <table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Deckenanbauleuchte</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>Leuchtstoffrohren</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>056-611513#P</td></tr> <tr><td>Vorschaltgerät</td><td>OSRAM QTT 1x35/49/80 DALI DIM</td></tr> <tr><td>Messlampe (Typ / Anzahl)</td><td>FH 35W/840 Osram / 1</td></tr> <tr><td>Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)</td><td>39 W / 0.2 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>3300 lm</td></tr> <tr><td>Integrierte Lichtregelung</td><td>Dimmung</td></tr> <tr><td>Leuchtenbetriebswirkungsgrad</td><td>86 %</td></tr> <tr><td>Anteil Direktlicht</td><td>100 %</td></tr> <tr><td>Abstrahlung</td><td>direkt strahlend</td></tr> <tr><td>Blendklasse UGR im Standardraum</td><td>&lt;19 / &lt;19 (längs/quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 3000 cd/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>-</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex Ra</td><td>-</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>-</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>72 lm/W (60 lm/W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Deckenanbauleuchte	Lampenkategorie	Leuchtstoffrohren	Artikelnummer	056-611513#P	Vorschaltgerät	OSRAM QTT 1x35/49/80 DALI DIM	Messlampe (Typ / Anzahl)	FH 35W/840 Osram / 1	Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	39 W / 0.2 W	Gesamtlichtstrom 25°	3300 lm	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	86 %	Anteil Direktlicht	100 %	Abstrahlung	direkt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<19 / <19 (längs/quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 3000 cd/m <sup>2</sup>	Farbtemperatur	-	Farbwiedergabeindex Ra	-	Lebensdauer	-	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	72 lm/W (60 lm/W)
Leuchtenkategorie	Deckenanbauleuchte																																		
Lampenkategorie	Leuchtstoffrohren																																		
Artikelnummer	056-611513#P																																		
Vorschaltgerät	OSRAM QTT 1x35/49/80 DALI DIM																																		
Messlampe (Typ / Anzahl)	FH 35W/840 Osram / 1																																		
Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	39 W / 0.2 W																																		
Gesamtlichtstrom 25°	3300 lm																																		
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	86 %																																		
Anteil Direktlicht	100 %																																		
Abstrahlung	direkt strahlend																																		
Blendklasse UGR im Standardraum	<19 / <19 (längs/quer)																																		
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 3000 cd/m <sup>2</sup>																																		
Farbtemperatur	-																																		
Farbwiedergabeindex Ra	-																																		
Lebensdauer	-																																		
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	72 lm/W (60 lm/W)																																		
<b>Downlight</b> 	<b>Zumtobel Panos Infinity 200+ LED LG930, 1x25W, 2700lm (Leuchtenlichtausbeute: 104lm/W)</b>  <table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Downlight</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>LED</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>60819795</td></tr> <tr><td>Vorschaltgerät</td><td>LED Konverter</td></tr> <tr><td>Messlampe (Typ / Anzahl)</td><td>LED 2700 25W / 1</td></tr> <tr><td>Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)</td><td>25 W / 0.45 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>2700 lm</td></tr> <tr><td>Integrierte Lichtregelung</td><td>Dimmung</td></tr> <tr><td>Leuchtenbetriebswirkungsgrad</td><td>-</td></tr> <tr><td>Anteil Direktlicht</td><td>100 %</td></tr> <tr><td>Abstrahlung</td><td>direkt strahlend</td></tr> <tr><td>Blendklasse UGR im Standardraum</td><td>&lt;25 / &lt;25 (längs/quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 9000 cd/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>3000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex Ra</td><td>90</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50000 h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>104 lm/W (46.5 lm/W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Downlight	Lampenkategorie	LED	Artikelnummer	60819795	Vorschaltgerät	LED Konverter	Messlampe (Typ / Anzahl)	LED 2700 25W / 1	Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	25 W / 0.45 W	Gesamtlichtstrom 25°	2700 lm	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-	Anteil Direktlicht	100 %	Abstrahlung	direkt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<25 / <25 (längs/quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 9000 cd/m <sup>2</sup>	Farbtemperatur	3000 K	Farbwiedergabeindex Ra	90	Lebensdauer	50000 h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	104 lm/W (46.5 lm/W)
Leuchtenkategorie	Downlight																																		
Lampenkategorie	LED																																		
Artikelnummer	60819795																																		
Vorschaltgerät	LED Konverter																																		
Messlampe (Typ / Anzahl)	LED 2700 25W / 1																																		
Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	25 W / 0.45 W																																		
Gesamtlichtstrom 25°	2700 lm																																		
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-																																		
Anteil Direktlicht	100 %																																		
Abstrahlung	direkt strahlend																																		
Blendklasse UGR im Standardraum	<25 / <25 (längs/quer)																																		
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 9000 cd/m <sup>2</sup>																																		
Farbtemperatur	3000 K																																		
Farbwiedergabeindex Ra	90																																		
Lebensdauer	50000 h																																		
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	104 lm/W (46.5 lm/W)																																		
<b>Pendelleuchte</b> 	<b>Waldmann Tycoon DYP/D, 2x35W, 6600lm (Leuchtenlichtausbeute: 84lm/W)</b>  <table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Pendelleuchte</td></tr> <tr><td>Lampennummer</td><td>Leuchtstoffrohren</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>121 474 008</td></tr> <tr><td>Eingesetztes Vorschaltgerät</td><td>OSRAM QTT DALI 2x35/49/80/220-240 DIM</td></tr> <tr><td>Verwendete Messlampe</td><td>OSRAM FH 35W/840 HE</td></tr> <tr><td>Anzahl Lampen pro Leuchte</td><td>2</td></tr> <tr><td>Gemessene Leistung</td><td>75 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)</td><td>6600</td></tr> <tr><td>Standby-Leistung</td><td>0.737 W</td></tr> <tr><td>Integrierte Lichtregelung</td><td>Dimmung</td></tr> <tr><td>Leuchtenbetriebswirkungsgrad</td><td>95 %</td></tr> <tr><td>Anteil Direktlicht</td><td>36 %</td></tr> <tr><td>Abstrahlung</td><td>direkt-indirekt strahlend</td></tr> <tr><td>Blendklasse UGR im Standardraum</td><td>&lt;16 / &lt;16 (längs/quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 1200 cd/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>84 lm/W (65 lm/W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Pendelleuchte	Lampennummer	Leuchtstoffrohren	Artikelnummer	121 474 008	Eingesetztes Vorschaltgerät	OSRAM QTT DALI 2x35/49/80/220-240 DIM	Verwendete Messlampe	OSRAM FH 35W/840 HE	Anzahl Lampen pro Leuchte	2	Gemessene Leistung	75 W	Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)	6600	Standby-Leistung	0.737 W	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	95 %	Anteil Direktlicht	36 %	Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1200 cd/m <sup>2</sup>	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm/W (65 lm/W)		
Leuchtenkategorie	Pendelleuchte																																		
Lampennummer	Leuchtstoffrohren																																		
Artikelnummer	121 474 008																																		
Eingesetztes Vorschaltgerät	OSRAM QTT DALI 2x35/49/80/220-240 DIM																																		
Verwendete Messlampe	OSRAM FH 35W/840 HE																																		
Anzahl Lampen pro Leuchte	2																																		
Gemessene Leistung	75 W																																		
Gesamtlichtstrom 25° (Lumen)	6600																																		
Standby-Leistung	0.737 W																																		
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	95 %																																		
Anteil Direktlicht	36 %																																		
Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend																																		
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)																																		
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1200 cd/m <sup>2</sup>																																		
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm/W (65 lm/W)																																		
<b>Stehleuchte</b> 	<b>Waldmann Tycoon LED 1x105W, 9134lm (Leuchtenlichtausbeute: 84lm/W)</b>  <table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Stehleuchte</td></tr> <tr><td>Lampennummer</td><td>LED</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>121648000-00547606</td></tr> <tr><td>Vorschaltgerät</td><td>QTP DALI 80/220-240</td></tr> <tr><td>Messlampe (Typ / Anzahl)</td><td>Preva LED / 1</td></tr> <tr><td>Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)</td><td>109 W / 0.304 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>9134 lm</td></tr> <tr><td>Integrierte Lichtregelung</td><td>Präsenz / Tageslicht</td></tr> <tr><td>Leuchtenbetriebswirkungsgrad</td><td>-</td></tr> <tr><td>Anteil Direktlicht</td><td>34 %</td></tr> <tr><td>Abstrahlung</td><td>direkt-indirekt strahlend</td></tr> <tr><td>Blendklasse UGR im Standardraum</td><td>&lt;16 / &lt;16 (längs/quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 2700 cd/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>4000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex Ra</td><td>84</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50000 h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>84 lm/W (65 lm/W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Stehleuchte	Lampennummer	LED	Artikelnummer	121648000-00547606	Vorschaltgerät	QTP DALI 80/220-240	Messlampe (Typ / Anzahl)	Preva LED / 1	Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	109 W / 0.304 W	Gesamtlichtstrom 25°	9134 lm	Integrierte Lichtregelung	Präsenz / Tageslicht	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-	Anteil Direktlicht	34 %	Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 2700 cd/m <sup>2</sup>	Farbtemperatur	4000 K	Farbwiedergabeindex Ra	84	Lebensdauer	50000 h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm/W (65 lm/W)
Leuchtenkategorie	Stehleuchte																																		
Lampennummer	LED																																		
Artikelnummer	121648000-00547606																																		
Vorschaltgerät	QTP DALI 80/220-240																																		
Messlampe (Typ / Anzahl)	Preva LED / 1																																		
Gemessene Leistung (Betrieb / Standby)	109 W / 0.304 W																																		
Gesamtlichtstrom 25°	9134 lm																																		
Integrierte Lichtregelung	Präsenz / Tageslicht																																		
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-																																		
Anteil Direktlicht	34 %																																		
Abstrahlung	direkt-indirekt strahlend																																		
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs/quer)																																		
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 2700 cd/m <sup>2</sup>																																		
Farbtemperatur	4000 K																																		
Farbwiedergabeindex Ra	84																																		
Lebensdauer	50000 h																																		
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm/W (65 lm/W)																																		

# 4 Regelung und Steuerung

## 4.1 Allgemeines

Energieeffiziente Beleuchtung ist von mehreren Faktoren abhängig.

Voraussetzung hierfür ist die Verwendung von effizienten Leuchtmitteln (wie etwa Leuchtstoffröhren oder LEDs), der Einsatz von Leuchten mit hohem Wirkungsgrad und optimaler Lichtstärkeverteilung sowie ein Lichtmanagement, das auf die Deckung des tatsächlichen Bedarfs abzielt und das vorhandene Tageslicht bestmöglich nutzt.

Regelungs- bzw. Steuerungskonzepte, die in der modernen Gebäudetechnik nicht mehr wegzudenken sind, spielen daher auch bei Beleuchtungsanlagen eine Rolle. Die primären Ziele eines Lichtmanagements sind der effiziente Betrieb der Beleuchtungsanlage sowie Komfort und dynamische Anpassung an wechselnde Erfordernisse.

## 4.2 Lichtregelung

Grundsätzlich muss zwischen den Begriffen Regelung und Steuerung unterschieden werden. Das manuelle Bedienen von Leuchten per Lichtschalter (ob mechanisch oder per elektronischem Bedienpanel), eine Zeitschaltung oder auch der Abruf vorprogrammierter Beleuchtungsszenarien entspricht einer Steuerung. Bei einer Regelung wiederum wird in einem Regelkreis ein Soll-Ist-Vergleich durchgeführt. Die tatsächliche Beleuchtungsstärke wird beispielsweise im Raum gemessen, das Signal an die Regeleinrichtung rückgeführt und der Lichtoutput entsprechend dem (normgemäßen) Vorgabewert nachgere-

gelt. Dadurch kann je nach Tageslichtsituation bzw. der Anwesenheit von Personen die künstliche Beleuchtung angepasst werden. Bei der Steuerung ist keine Rückkopplung vorgesehen.

### Beispiel Konstantlichtregelung

Die Nutzung von Tageslicht sollte im Hinblick auf effizienten Energieeinsatz vorrangig sein.

In Räumen, in die durch Fenster oder Oberlichter Tageslicht einfällt, ist es ausreichend, wenn die künstliche Beleuchtung nur soweit einen Beitrag leistet, dass die Beleuchtungsstärke für die Sehaufgabe ausreichend ist. Die Beleuchtung muss nicht zu jeder Tageszeit komplett eingeschaltet sein. Eine mögliche Lösung bietet hier die sogenannte **Konstantlichtregelung**. Abhängig vom verfügbaren Tageslicht wird die Beleuchtungsanlage so geregelt, dass ein konstantes Beleuchtungsniveau als Summe von Sonnenlicht und künstlichem Licht gewährleistet wird.

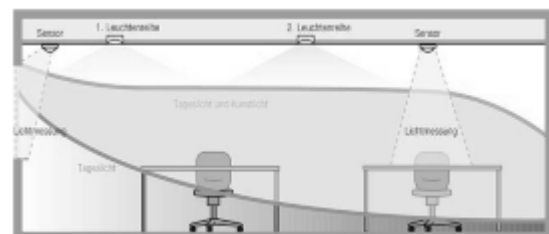


Abbildung 4-1: Schema einer Konstantlichtregelung

Bei Räumen mit größerer Raumtiefe müssen die Leuchten mit weiterer Distanz zur Fensterfront entsprechend mehr Licht abgeben als jene in Fensternähe, um das

abfallende Tageslichtniveau auszugleichen.

Bei einer vereinfachten Ausführung der Konstantlichtregelung ist der Lichtsensor außerhalb des Raumes an der Gebäudehülle (Fassade oder Dach) positioniert und reagiert nur auf die Umgebungslichtsituation.

### 4.3 Komponenten

Ein Lichtmanagementsystem besteht im Allgemeinen aus dimmbaren Leuchten und den dazugehörigen Betriebsgeräten (Vorschaltgeräte, Treiber), Sensoren (bspw. für die Erfassung von Tageslicht und Anwesenheit), Netzwerkeinheiten (Koppler, Signalverstärker, Router, Switch, etc.) und einer zentralen Steuereinheit (Controller, Zentral-Rechner).

Die Komplexität bzw. der Umfang des Lichtmanagementsystems bestimmen maßgeblich die Kosten in der Errichtung, aber auch in der Wartung.

### 4.4 Technik und Protokolle

Im Hinblick auf die Signalübertragung und Bussysteme für Lichtmanagementsysteme steht eine Reihe von bewährten Konzepten zur Verfügung:

#### **DALI:**

**D**igital **A**dressable **L**ighting **I**nterface, dieses Protokoll ist in der Norm IEC 62386 spezifiziert.

In der Lichttechnik gehört DALI zu den am weitesten verbreiteten Protokollen für Lichtmanagement. Jedes Betriebsgerät, das über eine DALI-Schnittstelle verfügt, kann über DALI-Kurzadressen einzeln angesteuert und in der Intensität verändert werden. Durch einen bidirektionalen Datenaustausch kann ein DALI-Steuergerät bzw. ein DALI-Gateway den Status von Leuchtmitteln bzw. von Betriebsgeräten einer Leuchte abfragen bzw.

den Zustand setzen. Darüber hinaus können bis zu 16 Stimmungen (= vordefinierte Intensitätsstellwerte) pro Betriebsgerät gespeichert und bei Bedarf aufgerufen werden. DALI kann als „Inselsystem“ oder als Subsystem über DALI-Gateways in modernen Gebäudeautomationssystemen (bspw. KNX) betrieben werden. Die Leitungen können in fast beliebigen Topologien, also Stern, Linien- oder Baumstrukturen verlegt werden.

#### **KNX:**

Dieser Feldbus zur Gebäudeautomation beschreibt, wie bei einer Installation Sensoren und Aktoren in einem Haus miteinander verbunden werden können, und legt fest, wie Sensoren und Aktoren miteinander kommunizieren müssen. Auf dem Markt der Gebäudeautomation ist KNX der Nachfolger des Europäischen Installationsbus (EIB). KNX ist mit EIB kompatibel und wurde 2006 als internationale Norm ISO/IEC 14543-3 akzeptiert. Auf Basis von KNX können u.a. folgende Bereiche integriert gemanagt werden: Beleuchtung, Beschattung, Heizung, Klima & Lüftung, Alarm bzw. Information, etc.

In modernen Gebäuden ist die Haustechnik allerdings nicht auf Lichtsteuerung beschränkt, sondern beispielsweise mit Präsenzmeldern gekoppelt, die auch die Lüftungsanlage, die Raumtemperatur, die Beschattung etc. mitsteuern. KNX ist folglich ein mindestens ebenso wichtiger Standard wie DALI, da KNX alle Bereiche der Gebäudeautomation umfasst. Jedoch ist es kein Problem, von einem KNX- auf ein DALI-Protokoll zu wechseln.

Zusammengehörige Aktoren und Sensoren werden mit einer sogenannten Gruppenadresse verbunden, die einfach einprogrammiert werden kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die Zusammengehörigkeit von zum Beispiel Schaltern und Lampen jederzeit zu ändern, ohne neue Leitungen verlegen zu müssen.



Die Kommunikation der Geräte erfolgt mit standardisierten Befehlen. So ist sichergestellt, dass Geräte verschiedener Hersteller zusammenarbeiten. Damit wurde erstmals ein einheitlicher Standard geschaffen, der offen ist für alle Hersteller von Elektrogeräten bzw. Steuerkomponenten. Der möglichen Energieeinsparung durch die zentrale Steuerung von Beleuchtung, Heizung und Klimatechnik steht der eigene Stromverbrauch der KNX-Anlage gegenüber. Pro Standard-Aktor oder Sensor ist mit 0,15 bis 0,24 Watt zu rechnen.

Darüber hinaus sind am Markt des Weiteren folgende Protokolle vertreten:

- LON: Local Operation Network (allgemeine Haustechnikanlagen)
- Luxmate: proprietäre Netzwerklösung des Unternehmens Zumtobel
- LAN: Local Area Network (gebäudeinternes Computer-Netzwerk)
- TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol

#### 4.5 Sensoren und richtiger Einsatz

Als Bewegungsmelder kommen üblicherweise Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) zum Einsatz, für die Tageslichterfassung werden Fotozellen eingesetzt.

##### Passiv-Infrarot-Sensor (PIR)

Der Passiv-Infrarot-Sensor dient der Detektion von Anwesenheit bzw. Bewegung von Personen im Raum zur Steuerung der künstlichen Beleuchtung. Die Funktionsweise des PIR ähnelt der einer einfachen in der Thermografie eingesetzten Infrarotkamera.

Der PIR nimmt regelmäßig ein Wärmebild des Raumes auf und vergleicht das aktuelle Infrarot-Bild mit dem vorherigen. Sofern

sich die Bilder im Zeitschritt  $t$  und  $t-1$  in mindestens einem Bildsegment unterscheiden, gibt der Sensor das Signal, dass eine Bewegung im Raum stattgefunden hat und die Beleuchtung somit nicht ausgeschaltet werden darf. Wenn über einen längeren Zeitraum (etwa über 15 Minuten) idente Bilder erfasst werden, kann ein Abschaltsignal gesendet werden.

PIR-Sensoren haben sich bestens etabliert und werden in vielen Gebäudetypen (Objektbau wie Wohngebäude) eingesetzt. Jeder PIR sollte nach der Montage einjustiert werden, um für den spezifischen Raum robuste Ergebnisse zu liefern.

Folgende Aspekte sollten dabei beachtet werden:

Bedingt durch die geringe Auflösung des Sensors darf die Entfernung nicht zu groß gewählt werden, damit Personen bzw. Bewegungen noch exakt erfasst werden können. Bei ungünstiger Platzierung kann ein PIR auch falsch ansprechen (z.B. bei Personen, die an der offenen Tür des Raumes am Flur vorbeigehen). Auch Druckaktivitäten eines Laserdruckers können fälschlich als Bewegung erfasst werden, da sich die Temperatur des Druckers ändert.

Es wird empfohlen, den PIR im sogenannten halbautomatischen Betrieb einzusetzen. Der PIR schaltet automatisch ab und wird bei Bedarf wieder manuell eingeschaltet. Diese Betriebsart verhindert Fehleinschaltungen durch Personen außerhalb des gewünschten Erfassungsbereichs oder durch andere Wärmequellen wie Kopierer oder Laserdrucker. Präsenz- und Bewegungsmelder funktionieren grundsätzlich nach dem gleichen Prinzip. Präsenzmelder haben eine höhere Messempfindlichkeit und können im Raum anwesende Personen detektieren, die etwa sitzen.

##### Foto-Diode für Tageslichterfassung

Für die Regelung des Kunstlichtes in Abhängigkeit vom Tageslicht werden Fotodioden eingesetzt, die auf sichtbares Licht reagieren. Ihr Funktionsprinzip entspricht dem einer Solarzelle. Bei Lichtregelungen mit Präsenz-Erkennung ist der Fotosensor als zusätzlicher Sensor oft direkt im Präsenzmelder integriert.

#### **4.6 Richtige Planung und Herausforderungen beim Betrieb**

Ein Lichtmanagementsystem (LMS) kann einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz eines Gebäudes leisten.

Je nach Standort, Gebäude und Nutzung können gegenüber einer unregelmäßigen Beleuchtung, die nach einem modernen Lichtkonzept (z.B. T8-Leuchtstofflampen mit EVG und energieeffizienten direkt bzw. direkt/indirekt strahlenden Leuchten) ausgeführt ist, bis zu 45 % Strom eingespart werden, wenn mittels Präsenzkontrolle, Tageslichtregelung und Abschaltung Einsparpotentiale optimal ausgeschöpft werden. Diese hohe Einsparung lässt sich jedoch nur bei optimalen Tageslichtverhältnissen sowie nach korrekter Installation und Inbetriebnahme realisieren.

Den Grundstein für einen kostengünstigen Betrieb bildet die umfassende Planung einer Anlage, unabhängig davon, ob es sich um eine klassische Beleuchtungsanlage oder um eine integrierte Regelung handelt, die Beschattung und Raumtemperatur mitberücksichtigt. Mit dem Auftraggeber ist abzuklären, welches Ziel mit der Anlage verfolgt wird (z.B.: Beleuchtungssteuerung). Im Hinblick auf die angestrebte Energieeinsparung im Betrieb gilt die Daumenregel, mit 20 % Aufwand 80 % der möglichen Einsparung zu lukrieren. Die restlichen 20 % Energieeinsparung bedeuten 80 % Aufwand.

Über die Hardware-Ebene des Lichtmanagementsystems hinaus spielen folgende

weitere Aspekte eine wichtige Rolle, die bereits im Planungsstadium bzw. in der Definition der Leistungsbeschreibung eingehend berücksichtigt werden müssen:

Für ein umfassendes Lichtmanagementsystem (LMS) wird eine Vielzahl von Komponenten benötigt, die einen Eigenverbrauch aufweisen. Da Lichtmanagementsysteme kontinuierlich in Betrieb gehalten werden, kann der aggregierte Eigenverbrauch abhängig von den installierten Elementen erheblich sein und die Effizienzgewinne teilweise wieder kompensieren.

Elektronische Komponenten weisen im Vergleich zu sehr simplen Schaltelementen (wie etwa einfache Wechselschalter für manuelle Bedienung) kürzere Lebensdauern auf. Über einen Betrachtungszeitraum von z.B. 25–30 Jahren, der für eine Beleuchtungsanlage realistisch ist, muss in Erwägung gezogen werden, dass im Vergleich zu einer sehr einfachen Lösung wesentlich mehr und teurere Komponenten benötigt werden. Kompetentes Personal, das für die Installation, Konfiguration bzw. Programmierung und Wartung einer komplexen Anlage eingesetzt wird, ist vergleichsweise teurer. Auch eine allfällige Fehlersuche wird deutlich komplexer.

Des Weiteren ist auch ein Betrieb von halb- oder vollautomatischen Systemen deutlich aufwändiger, da Betriebspersonal, welches mit diesen Systemen vertraut ist, permanent verfügbar sein muss.

Bei optimaler Betriebsführung lassen sich signifikante Einsparungen gut darstellen. Wesentlich ist eine ganzheitliche Betrachtung, die eine nachhaltige Einsparung entsprechend nachvollziehbar und glaubhaft macht.

Die Auswahl der Komplexität des Systems muss gut durchdacht sein. Es ist in der Folge insbesondere sicherzustellen, dass ausreichend Betriebspersonal mit der

entsprechenden Qualifikation zur Verfügung steht. In diesem Zusammenhang stellen sich aus Praxissicht u.a. folgende Fragen:

- Was passiert bei einem ausgeklügelten Beleuchtungskonzept, wenn ein Mitarbeiter einen Schreibtisch umstellt, ein Plakat auf dem Fenster gegen störende Blendung durch Sonnenlicht befestigt, die Arbeitszeit durch Gleitzeit oder Schichtarbeit verschoben wird oder ein nicht plangemäßer Betrieb (am Wochenende, z.B.: Wahlsonntag in einer öffentlichen Schule oder Amtshaus) gewährleistet werden muss?
- Steuerungen, die nicht ausreichend gewartet werden, entwickeln ein Eigenleben, insbesondere wenn das System seit einigen Jahren in Betrieb ist und die ersten Komponenten nicht mehr einwandfrei funktionieren. Wer stellt sicher, dass bei sukzessiv steigendem Energieverbrauch zeitnah die Fehlerursache gesucht wird?
- Ist sichergestellt, dass auch nach 15 bis 20 Jahren Betrieb alle Ersatzteile zur Verfügung stehen, und wenn ja, zu welchen Kosten bzw. Lieferzeiten?

#### 4.7 Anwendungsbeispiele

Wie bereits erwähnt, können verschiedene Faktoren den maximalen Einsparungseffekt von Lichtmanagement-Systemen (LMS) limitieren. Bei einer Konstantlichtregelung ist der Standby-Verbrauch bei ausgeschalteten Leuchten kritisch. Hier könnte Abhilfe geschaffen werden, indem das gesamte LMS in Zeiten der Nichtnutzung (Nachtzeiten, Feiertage, Wochenende) in einen Niedrigenergie- bzw. Off-Modus geschaltet wird.

Stark gedimmte Leuchtstoffröhren weisen bezogen auf den Lichtoutput eine überproportionale Leistungsaufnahme auf.

Dem könnte dadurch entgegengewirkt werden, dass Dimmwerte der Beleuchtung unter 20 % vermieden und die Leuchten für diese Betriebsweise auf Standby gesetzt bzw. ganz abgeschaltet werden.

Für bestimmte Anwendungen erlauben LED-Beleuchtungssysteme mit entsprechendem Lichtmanagement im Vergleich zu Systemen mit Leuchtstoffröhren deutlich höhere Einsparungen. Bei einer Teststellung in einem Schweizer Verwaltungsgebäude [Gasser S., Tschudy 2012] wurden zwei Korridore jeweils mit Leuchtstofflampen (10 Minuten-Schalt-Intervall) sowie mit einer LED-Lichtlinie und Präsenzmeldern (bei einem Minuten-Intervall) gemessen. Hier zeigte sich eindeutig, dass das verlustfreie Dimmen von LED-Lampen wirkungsvoll greift: Im dokumentierten Fall konnte eine Reduktion von 5,9 W/m<sup>2</sup> (Leuchtstofflampen) auf 2,6 W/m<sup>2</sup> (LED) gemessen werden.

Andererseits reduzieren sich die täglichen Betriebszeiten aufgrund der kürzeren Schaltzeiten von durchschnittlich 13,2 h/d bei der Beleuchtung mit Leuchtstofflampen auf 5,7 h/d bei LED. Während die via Bewegungsmelder gesteuerten Leuchtstofflampen bedingt durch die längeren Einschaltintervalle lediglich 4-mal pro Tag ein- und ausschalten, sind es bei der LED-Beleuchtung über 100-mal. Daraus ergibt sich eine Reduktion der Energiekennzahl für die Korridorbeleuchtung von 19,5 kWh/m<sup>2</sup> auf 3,6 kWh/m<sup>2</sup>, was einer effektiven Energieeinsparung von 81 % entspricht. Ergänzend dazu wurde versuchsweise eine zusätzliche Stufe in der LED-Beleuchtung eingefügt, bei welcher das Licht nicht völlig ausgeschaltet wird, sondern auf 15 % Lichtstrom bleibt. Durch dieses Komfortlicht, welches den Effekt des häufigen Schaltens stark vermindert, reduziert sich die Einsparung nur geringfügig von 81 % auf 77 %.

## 4.8 Empfehlungen

Zusammenfassend können hinsichtlich Planung von Lichtmanagement-Systemen (LMS) folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Eine exakte Festlegung des Anforderungsprofils vor der Planungsphase, vor allem hinsichtlich der Integration in das Gebäudemanagement-System und gewünschte Eingriffsmöglichkeiten, ist wichtiger Ausgangspunkt.
- Eine optimale Planung von LMS ist die Voraussetzung für große Einsparpotentiale. Folgende Parameter sind dabei zu berücksichtigen: Eigenverbrauch des LMS durch Sensoren, Aktoren, Netzwerkeinheiten und Steuereinrichtungen. Kostenaufwand für speziell geschultes Personal in der Errichtung und Wartung des LMS. Schnelle Verfügbarkeit von geschultem Personal im Fehlerfall. Kosten für allfällige Erweiterungen und Ersatzteilbeschaffung im Hinblick auf sehr lange Betriebszeiten. Praxiserfahrungen von bereits implementierten Lösungen sowie herstellerneutrale Dokumentationen von Best-practice-Beispielen sollten umfassend berücksichtigt werden.
- Passive Infrarot-Sensoren (PIR), die zur Bewegungs- und Präsenzmeldung eingesetzt werden, sollten individuell einjustiert werden, um für jeden spezifischen Raum robuste Ergebnisse zu garantieren. Günstig ist auch, PIR halbautomatisch zu betreiben (automatisches Ausschalten und Einschalten per manuelle Betätigung).
- Konstantlichtregelungen ermöglichen die bestmögliche Nutzung von Tageslicht, da nur so viel künstliche Beleuchtung zusätzlich bereitgestellt wird, wie für die Sicherstellung der

jeweils notwendigen Beleuchtungsstärken erforderlich ist.

Für den Betrieb von Lichtmanagementsystemen stehen vor allem folgende Maßnahmen im Vordergrund:

- Klare Zuständigkeiten sollten für den Betrieb und die Wartung definiert werden. In der Regel steigt bei LMS mit fortschreitender Betriebsdauer der Energiebedarf bedingt durch teilweise nicht mehr optimal funktionierende Komponenten. Dieser Effekt sollte beobachtet werden und zum geeigneten Zeitpunkt gegengesteuert werden.
- Eine starke Dimmung von Leuchtstoffröhren sollte vermieden werden. In diesem Betriebsmodus haben Leuchtstoffröhren einen überverhältnismäßigen Energieverbrauch bezogen auf ihren Lichtoutput. Im Gegensatz dazu können LED-Lampen auch bei sehr starker Dimmung fast verlustfrei betrieben werden.

# 5 Grundlagen der Beleuchtungsplanung

## 5.1 Einführung

Vom sicherheitstechnischen Standpunkt aus betrachtet hat der Gesetzgeber in der Arbeitsstättenverordnung (AStV) bzw. im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) für die Beleuchtung von Arbeitsräumen festgelegt, dass Arbeitsräume mit einer möglichst gleichmäßigen farbneutralen künstlichen Beleuchtung auszustatten sind. Für die Beleuchtung von Arbeitsplätzen ist des Weiteren zu beachten, dass die Allgemeinbeleuchtung mindestens 100 Lux beträgt und die Arbeitsplatzbeleuchtung entsprechend der Sehaufgabe angepasst wird. Zu vermeiden sind Blendung, Flimmern und große Helligkeitsunterschiede. Es ist vorgeschrieben, dass Lichtschalter bei Ein- und Ausgängen, leicht zugänglich, angeordnet sein müssen und von Leuchten keine Verletzungsgefahr ausgehen darf.

Das Arbeitsinspektorat weist auf die entsprechenden Informationen zur Auswahl der richtigen Beleuchtung in einer Arbeitsstätte gemäß ÖNORM EN 12464-1 „Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten“ hin.

Für die energetische Bewertung von Beleuchtungsanlagen sieht der verpflichtende Energieausweis für Nicht-Wohngebäude im Rahmen der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie auch die Angabe des Beleuchtungsenergiebedarfs vor. Das Berechnungsverfahren für den Beleuchtungsenergiebedarf ist in der ÖNORM EN 15193: „Energetische Bewertung von Gebäuden – Energetische Anforderungen an die Beleuchtung“ festgelegt. Standardwerte, die herangezogen werden können,

wenn keine genaue Berechnung des Beleuchtungsenergiebedarfs erfolgt, findet man in der nationalen Ergänzungsnorm ÖNORM H 5059: „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Beleuchtungsenergiebedarf“.

Der Beleuchtungsenergiebedarf setzt sich im Wesentlichen aus folgenden zwei Faktoren zusammen:

- Beleuchtungsenergiebedarf, der zur Erfüllung der Ausleuchtungsfunktion im Gebäude erforderlich ist.
- Leerlaufverlust-Energiebedarf, der für das Aufladen von Akkumulatoren für die Notbeleuchtungen und für die Standby-Energie für Beleuchtungskontrollen im Gebäude erforderlich ist. Als Standard-Wert für bestehende Anlagen ist 6 kWh/(m<sup>2</sup>.a) anzusetzen.

Der Energiebedarf für die Beleuchtung fließt 2-fach in die Berechnung der Energiekennzahl ein. Er wird sowohl bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs als auch des Kühlbedarfs (Beleuchtung ist eine innere Wärmelast) berücksichtigt. Der sogenannte LENI-Wert (Lighting Energy Numeric Indicator) drückt den Energiebedarf für Beleuchtung inkl. Leerlaufverluste bezogen auf Nutzfläche und Jahr in Abhängigkeit von der Gebäudekategorie aus (siehe ÖNORM H 5059). Diese Referenzwerte stellen Richtwerte für bestehende Anlagen dar und sind keine Zielwerte für neue Beleuchtungsanlagen.

**Tabelle 5-1: LENI-Referenzwerte nach ÖNORM H 5059**

Gebäudenutzung	LENI kWh/(m <sup>2</sup> × a)
Bürogebäude	32,2
Kindergärten und Pflichtschulen	24,8
Höhere Schulen und Hochschulen	24,8
Krankenhäuser	82,3
Pflegeheime	50,7
Pensionen	34,6
Hotels	65,1
Gaststätten	27,1
Veranstaltungsstätten	27,1
Sportstätten	37,9
Verkaufsstätten	70,6
Hallenbäder	37,9

In neu errichteten Bürogebäuden sind LENI-Werte unter 20 kWh/m<sup>2</sup>.a erzielbar. Die in Abschnitt 5.3 im Überblick vorgestellten Anforderungen des Minergie®-Programmes sind daher als Referenz für neue Beleuchtungsanlagen besser geeignet.

## 5.2 Rechtliche Grundlagen und Standards

### 5.2.1 Neue Aspekte zur ÖNORM EN 12464-1 im Überblick

Die ÖNORM EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen“ stellt die zentrale Norm für die Definition von Anforderungen an die Innenraumbeleuchtung dar. Die Norm wurde als europäische Norm erarbeitet und dokumentiert mit der nun gültigen Fassung vom August 2011 den anerkanntesten Stand der Technik. Die Europäische Norm wurde in drei wortgleichen Sprachfassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) publiziert und gilt europaweit sowie in ähnlicher Form als ISO-Standard (ISO8995/CIE S 008) weltweit.

Die Norm deckt alle wesentlichen Kriterien für Beleuchtungsqualität ab, wie unter anderem:

- Angenehme Lichtumgebung
- Harmonische Leuchtdichteverteilung

- Ausreichende Beleuchtungsstärke gemäß den im „Verzeichnis der Beleuchtungsanforderungen“ angeführten Innenraumbereichen, Bereichen der Sehaufgaben oder Bereichen der Tätigkeit (Abschnitt 5 der Norm)
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtung
- Begrenzung von Direkt- und Reflexblendung sowie von Schleierreflexionen
- Richtige Lichtrichtung und angenehmes Modelling
- Passende Lichtfarbe und Farbwiedergabe
- Vermeidung von Flimmern und stroboskopischen Effekten
- Qualitäten des Tageslichts
- Veränderlichkeit von Licht

Die Norm enthält keine Anforderungen zu Sicherheits- und Gesundheitsaspekten. Hinsichtlich Energienutzung wird lediglich auf allgemeine Aspekte hingewiesen (Tageslichtnutzung, Raumbelegung, Wartungseigenschaften einer Beleuchtungsanlage, Lichtsteuerung/-regelung). Konkrete Anforderungen diesbezüglich sind nicht enthalten.

Die Neufassung der Norm (2011) wurde gegenüber der Ausgabe von 2003 in vielen Punkten überarbeitet und erweitert. Unter anderem wird der Aspekt der Tageslichtnutzung nun explizit aufgegriffen und in den meisten Anforderungen direkt berücksichtigt.

Weitere wesentliche Änderungen sind:

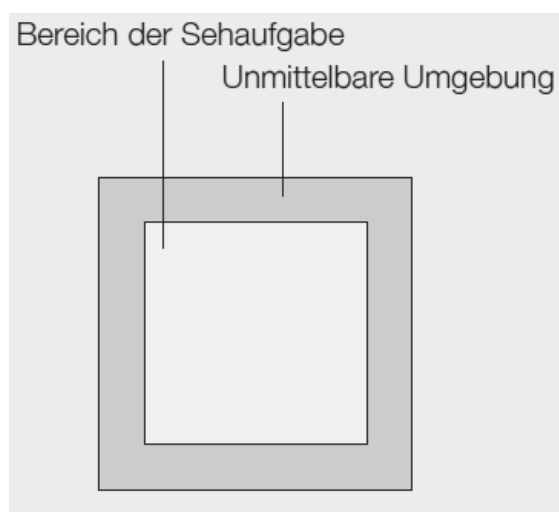
- Anforderungen für minimale Beleuchtungsstärken an Wänden und Decken
- Anforderungen an zylindrische Beleuchtungsstärken und ausführliche Angaben bezüglich Modelling

- Zuweisung der Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke zu den einzelnen Sehaufgaben und Tätigkeiten
- Definition eines „Hintergrundbereichs“ mit spezifischen Beleuchtungsanforderungen
- Definition eines Beleuchtungsstärke-Rasters in Übereinstimmung mit EN 12464-2
- Neue Leuchtdichtegrenzwerte für Leuchten, die sich in Flachbildschirmen (nach ISO 9241-307) spiegeln können.

### 5.2.2 Beleuchtung von Arbeitsplätzen

Die ÖNORM EN 12464-1 stellt die spezifische Sehaufgabe in den Vordergrund und definiert Anforderungen hinsichtlich einer für den Zweck ausreichenden Beleuchtung. Abhängig von den maßgeblichen Parametern der Sehaufgabe, wie der Größe des zu bearbeitenden bzw. zu beurteilenden Objektes, des Kontrastes, aber auch der Darbietungszeit wird die erforderliche Sehleistung definiert.

Zusätzlich zum Bereich der Sehaufgabe wird der unmittelbare Umgebungsbereich definiert und zwar als Streifen von mindestens 0,5m Breite, der den Bereich der Sehaufgabe innerhalb des Gesichtsfeldes umgibt.



### Abbildung 5-1: Bereich der Sehaufgabe und unmittelbare Umgebung

Das Konzept der Bereichsdefinition gibt der Planerin/ dem Planer Flexibilität, die Lichtplanung entsprechend der visuellen Anforderung in einem Raum bzw. für eine bestimmte Tätigkeit auszulegen. Es können einzelne oder verschiedene Sehaufgaben in verschiedenen Bereichen auftreten. Die Größe und Lage des Bereiches oder der Bereiche der Sehaufgabe ist daher entsprechend zu dokumentieren. Falls diese Information nicht bekannt ist, muss entweder der gesamte Raum (oder die Raumzone) als Bereich der Sehaufgabe angenommen werden, oder der gesamte Raum wird mit einem von der Planerin /vom Planer festgelegten Beleuchtungsstärke-niveau gleichmäßig beleuchtet.

Für die Planung spielt weiters der Wert der Beleuchtungsstärke ( $E_m$ ) eine wesentliche Rolle. Dieser gibt abhängig von der Sehaufgabe den spezifischen Wert an, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe im Laufe der Zeit nicht sinken darf (siehe dazu Abschnitt „Wartung der Beleuchtungsanlage“).

Für typ. Bürotätigkeiten wie Schreiben, Lesen und Datenverarbeitung sowie für Konferenz- und Besprechungsräume ist mindestens eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500 lx erforderlich. Für Verkehrsflächen und Flure sind mindestens 100 lx einzuhalten (weitere Werte siehe dazu auch Tab. 6-5). Des Weiteren ist der Zusammenhang zwischen den Beleuchtungsstärken des unmittelbaren Umgebungsbereiches und denen der Sehaufgabe geregelt

**Tabelle 5-2: Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärken des unmittelbaren Umgebungsbereiches ( $E_{\text{Aufgabe}}$  [lx]) und der des Bereichs der Sehaufgabe**

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe EAufgabe [lx]	im unmittelbaren Umgebungsbereich [lx]
>= 750	500
500	300
300	200
200	150
150	EAufgabe
100	EAufgabe
<= 50	EAufgabe

Für die Beleuchtung im Hintergrundbereich, der den unmittelbaren Umgebungsbereich mit einer Breite von mindestens 3 Metern umgibt, gilt ein Drittel des für die Aufgabe vorgesehenen Wertes.

### 5.2.3 Beleuchtungsstärken für Wände und Decken

Im Hinblick auf Beleuchtungsstärken für Wände und Decke werden Leuchtdichte-verhältnisse entsprechend Tabelle 5-3 und Reflexionsgrade für Flächen entsprechend Tabelle 5-4 empfohlen.

**Tabelle 5-3: Empfohlene Leuchtdichte-verhältnisse**

Sehaufgabe	100%
Tischoberfläche	20% - 70%
Wände	20% - 80%
Decke	30% - 300%

**Tabelle 5-4: Reflexionsgrade für Flächen**

Arbeitsflächen	0,2 – 0,7
Wände	0,5 – 0,8
Decken	0,7 – 0,9
Boden	0,2 – 0,4

### Ausgewogene Leuchtdichteverteilung

Die neue ÖNORM stellt nun auch Anforderungen an Beleuchtungsstärken für Decken und Wände im Sinne einer ausgewogenen Leuchtdichteverteilung. Diesbezüglich haben die Reflexionsgrade der Oberflächen einen wesentlichen Einfluss.

Es wird empfohlen, helle Raumboberflächen zu verwenden, die höheren Sehkomfort gewährleisten. Die Wartungswerte der Beleuchtungsstärke sollten auf den Wänden deutlich über 50 lx und auf der Decke über 30 lx liegen. Für ausgewählte Räume (z.B. Büros, Klassenzimmer, Krankenhäuser, Flure und Treppen) wird eine Erhöhung der Wartungswerte für die Wände auf 75 lx bzw. für die Decke auf 50 lx empfohlen.

### 5.2.4 Blendung und Blendungsbegrenzung

Blendung wird durch zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld eines Beobachters oder durch Flächen zu hoher Leuchtdichte hervorgerufen. Dabei werden zwei Typen von Blendung unterschieden:

- Physiologische Blendung: Blendung, die zu unmittelbarer und messbarer Beeinträchtigung des Sehvermögens führt.
- Psychologische Blendung: Blendung, die subjektiv und nicht messbar als unangenehme Empfindung beurteilt wird.

Direktblendung als Blendung durch Leuchten im Innenraum kann mittels des Unified Glare Rating (UGR)-Verfahrens der CIE bewertet werden. Das UGR-Verfahren ist auf direkt und direkt/indirekt strahlende Leuchten mit bis zu 65 % Indirektanteil beschränkt. Nach CIE-117 ist das UGR-Verfahren bei großen Lichtquellen (Raumwinkel > 1 sr) und bei kleinen Lichtquellen (Raumwinkel < 0,0003 sr) nicht mehr anwendbar.

Der UGR-Wert kann entweder berechnet oder einfacher aus technischen Unterlagen der Hersteller entnommen werden.

Die Anforderung an die Sehaufgabe bestimmt den maximalen Wert UGR<sub>L</sub> (engl.

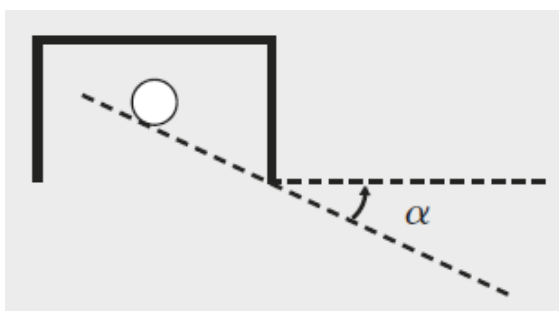


Unified Glare Rating limit) der nicht überschritten werden soll.

**Tabelle 5-5: Ausgewählte Sehaufgaben und lt. Norm geforderte mittlere Beleuchtungsstärken  $E_m$  und oberer UGR<sub>L</sub>-Grenzwerte**

	Mittlere Beleuchtungsstärke $E_m$	Oberer UGR <sub>L</sub> -Grenzwert
Ablegen, Kopieren	300	19
Verkehrszonen in Arbeitsräumen	300	19
Schreiben, Lesen, Datenverarbeitung, CAD-Arbeitsplätze, Konferenz- und Besprechungsräume	500	19
Unterrichtsräume in Grund- und weiterführenden Schulen	300	19
Empfangstheke	300	22
Archive	200	25
Verkehrsflächen und Flure	100	28

Durch geeignete Abschirmungsmaßnahmen wird sichergestellt, dass Lampen mit zu hoher Leuchtdichte keine Blendung verursachen können. Maßgeblich ist dabei der Abschirmwinkel, der definiert ist als Winkel zwischen der horizontalen Ebene und der Blickrichtung, unter der das Leuchtmittel gerade noch einsehbar ist.



**Abbildung 5-2: Mindestabschirmwinkel zur Vermeidung von Blendung**

Tab. 5-6 zeigt Mindestabschirmwinkel für Lampen unterschiedlicher Leuchtdichte.

**Tabelle 5-6: Mindestabschirmwinkel (nach ÖNORM EN 12464-1)**

Lampen-Leuchtdichte [ $cd/m^2$ ]	Mindestabschirmwinkel
20.000 – < 50.000 z.B. Leuchtstofflampen (High Output) und Kompaktleuchtstofflampen, LED	15°
50.000 – < 500.000 z.B. Hochdruckentladungslampen und Glühlampen mit mattierten Kolben	20°
≥ 500.000 z.B. Hochdruckentladungslampen und Glühlampen mit klarem Kolben, Hochleistungs-LED	30°

Diese Werte gelten nicht für Deckenfluter oder für Leuchten, die unterhalb der Augenhöhe angebracht sind.

Besondere Anforderungen sind bei Bildschirmarbeitsplätzen einzuhalten. Hier ist zu beachten, dass der Kontrast der Bildschirmdarstellung durch Schleierreflexionen oder sich am Display spiegelnde Leuchten und helle Flächen verringert werden kann.

Bei Arbeitsplätzen mit senkrechten oder bis zu 15 ° geneigten Monitoren mit mittlerer Leuchtdichte (max. 200  $cd/m^2$ ) für übliche Anforderungen dürfen Leuchtdichten bis zu 1.500  $cd/m^2$  geplant werden. Bei Monitoren für helle Raumsituationen (Leuchtdichte über 200  $cd/m^2$ ) sind bis zu 3.000  $cd/m^2$  akzeptabel. Im Fall von Monitoren mit negativer Zeichendarstellung (hell auf dunkel, wie etwa CAD-Anwendungen) gelten reduzierte Werte.

Für Notebooks oder Tablets gelten die Norm-Anforderungen nicht, da hier die Neigung und Anordnung der Bildschirme flexibel einstellbar ist und einfach auftretende störende Reflexionen durch Verdrehen bzw. Neigen vermieden werden können.

### 5.2.5 Bewertungsraster für Beleuchtungsstärke und Helligkeitsverteilung

Die Norm sieht vor, dass ein Bewertungsraster zur Planung, Berechnung und Überprüfung der mittleren Beleuchtungsstärken für die Bereiche der Sehaufgabe, unmittelbare Umgebungsbereiche und Hintergrundbereiche definiert wird. In Tab. 5-7 sind empfohlene Rasterweiten für unterschiedliche Raumgrößen angeführt. Die Rasterweite ist von der Größe und Form der spezifischen Fläche abhängig. Die Anordnung der Messpunkte ist so zu wählen, dass sie nicht mit der Anordnung der Leuchten übereinstimmt. Die Randzone in einem Abstand von 0,5 m von den Wänden wird von der Berechnung ausgenommen, sofern nicht Bereiche der Sehaufgabe innerhalb dieses Streifens liegen.

**Tabelle 5-7: Empfohlenes Rastermaß (ÖNORM EN 12464-1)**

	Längste Bereichs- oder Raumausdehnung [m]	Rastermaß [m]
Bereich der Sehaufgabe	ca. 1	0,2
Kleine Räume / Raumzonen	ca. 5	0,6
Mittlere Räume	ca. 10	1
Große Räume	ca. 50	3

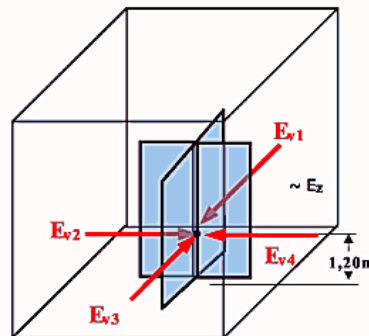
### 5.2.6 Räumliche Beleuchtung

Die neue ÖNORM unterstreicht die Bedeutung der Lichtqualität im Raum. Zusätzlich zur Beleuchtung der Sehaufgabe sollte der von Personen genutzte Raum ausgeleuchtet werden. Damit werden Objekte und Oberflächenstrukturen betont und die visuelle Kommunikation verbessert.

Die Begriffe „mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke ( $E_z$ )“, „Modelling“ und „gerichtetes Licht“ charakterisieren die räumlichen Beleuchtungsverhältnisse.

Die zylindrische Beleuchtungsstärke  $E_z$  ist der Mittelwert der Beleuchtungsstärke auf der Mantelfläche eines Zylinders. Sie kann näherungsweise als mittlere vertikale Beleuchtungsstärke durch Berechnung oder Messung der vertikalen Beleuchtungsstärken in den vier Raumrichtungen wie im Bild dargestellt ermittelt werden.

$$E_z = \frac{1}{4} (E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + E_{v4})$$



**Abbildung 5-3: Schema zur näherungsweisen Bestimmung der Zylindrischen Beleuchtungsstärke  $E_z$**

Der Wert von  $E_z$  beträgt 50 lx und sollte in Bereichen, in denen es auf eine gute visuelle Kommunikation ankommt (z.B. im Büro oder in Besprechungs- und Unterrichtsräumen) auf 150 lx angehoben werden. Diese Anforderung gilt in 1,2 m Höhe für sitzende und in 1,6 m Höhe für stehende Personen in Raum- und Tätigkeitsbereichen. Die geforderte Gleichmäßigkeit liegt jeweils bei mindestens 0,10.

### Modelling

Modelling ist ein Maß für die räumliche Wahrnehmung von Personen und Objekten. Es beschreibt die Balance zwischen diffusem und gerichtetem Licht und wird durch das Verhältnis der zylindrischen Beleuchtungsstärke  $E_z$  zur horizontalen Beleuchtungsstärke  $E_h$  in einem Punkt (in der Regel in einer Höhe von 1,2 m über dem Fußboden) beschrieben. Als optimaler Bereich gilt der Modelling-Indikator  $0,3 < E_z/E_h < 0,6$ .

Gerichtetes Licht kann Sehdetails betonen. Es soll jedoch vermieden werden, dass starke und störende Schatten auftreten. Mehrfachschatten, die durch gerichtetes Licht von mehreren punktförmigen Lichtquellen entstehen und zu „verwirrenden visuellen Effekten“ führen können, sind zu vermeiden.

### 5.2.7 Wartung der Beleuchtungsanlage

Mit dem Betrieb einer Beleuchtungsanlage geht in der Regel eine Reduktion der bereitgestellten Lichtmenge durch Alterung und Verschmutzung einher. Die prognostizierte Lichtstromabnahme ist abhängig von der Art der eingesetzten Lampen, Leuchten und Betriebsgeräte, den Raumbooberflächen sowie von den spezifischen Betriebs- und Umgebungsbedingungen.

Um ein angestrebtes Beleuchtungsniveau (sogenannter Wartungswert der Beleuchtungsstärke) über einen angemessenen Zeitraum hinweg zu gewährleisten, muss die Lichtstromabnahme bei der Planung der Beleuchtungsanlage durch einen entsprechenden Wartungsfaktor berücksichtigt werden.

Der Wartungsfaktor MF („Maintenance Factor“) ist als das Verhältnis vom Wartungswert zum Anfangswert der Beleuchtungsstärke bei der Inbetriebnahme definiert.

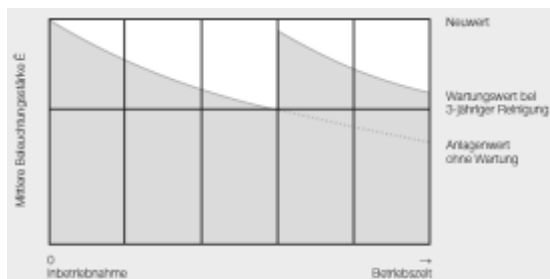


Abbildung 5-4: Beziehung des Wartungswertes zum Neuwert

Der Wartungsfaktor kann durch folgende Faktoren erhöht werden:

- Einsatz von Lampen mit geringer Lichtstromabnahme (in Abhängigkeit von der Brenndauer), z. B. Leuchtstofflampen
- Einsatz von Leuchten mit nur geringer Neigung zur Staubansammlung
- Einsatz von Betriebsgeräten, die die Lampen-Lebensdauer verlängern (z. B. EVG)
- Kurze jährliche Nutzungszeiten
- Geringe Schaltheufigkeit
- Kurze Reinigungs- und/oder Wartungsintervalle, Einzel- und Gruppenauswechslung der Lampen
- Geringe Staubbelastung der Umgebung
- Geringe Neigung zur Staubansammlung beziehungsweise zur Vergilbung der reflektierenden Flächen

Der Wartungsfaktor ergibt sich aus der Multiplikation der folgenden vier Einzel-faktoren:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RMF$$

LLMF Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor

LSF ... Lampenlebensdauerfaktor

LMF ... Leuchtenwartungsfaktor

RMF ... Raumwartungsfaktor

Diese Abkürzungen entsprechen der CIE Publikation 97 (CIE 097-2005 – Maintenance of indoor electric lighting systems).

#### Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor LLMF

Der Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (LLMF) bezeichnet das Verhältnis des

Lichtstroms nach einer bestimmten Brenndauer zum Anfangswert.

In der Regel nimmt der Lichtstrom bei allen Lampen mit der Betriebsdauer ab. Der zeitliche Verlauf sowie das Ausmaß der Abnahme sind dabei vom Typ und von der Leistung der Lampe sowie gegebenenfalls vom verwendeten Betriebsgerät abhängig.

Werte zum Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor sind den technischen Datenblättern der Hersteller zu entnehmen.

### **Lampenlebensdauerfaktor LSF**

Die mittlere Lampenlebensdauer entspricht dem Mittelwert der Brennstunden einer betrachteten Lampengruppe, bei dem die Hälfte der Lampen ausgefallen ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach einer bestimmten Brenndauer eines Lampenkollektivs noch eine relative Menge funktionsfähig ist, wird durch den Lampenlebensdauerfaktor (LSF) ausgedrückt.

Auch der LSF ist vom Typ und von der Leistung der betrachteten Lampe sowie im Weiteren vom verwendeten Betriebsgerät sowie von der Schalthäufigkeit der Anlage abhängig.

### **Leuchtenwartungsfaktor LMF**

Die Verschmutzung von Lampen und Leuchten hat vergleichsweise den größten Einfluss auf die Reduktion des Lichtstroms. Der LMF bildet den Rückgang des Lichtstromes einer Leuchte in Folge von Verschmutzung und Bauart der Leuchte ab und ist demnach von der Bauform der Leuchte und der damit verbundenen Möglichkeit einer Verschmutzung abhängig. Die LMF-Klassifikation wird jeweils bei der Leuchte angegeben. Zur Typisierung häufig vorkommender Leuchtenarten schlägt die CIE-Publikation 97 ein sechsstufiges Schema vor. In Abhängigkeit von

Leuchtentyp und Staub-/Schmutzbefall können hier die Leuchtenwartungsfaktoren (LMF) als Funktion der Verweildauer der Leuchten in der Beleuchtungsanlage seit der jeweils letzten Reinigung abgelesen werden.

### **Raumwartungsfaktor RMF**

Der Raumwartungsfaktor RMF (Room Maintenance Factor) berücksichtigt den Lichtstromrückgang als Folge der Verschmutzung der Raumbegrenzungsflächen. Staubablagerungen auf Decke, Wänden, Boden und Einrichtungsobjekten führen meistens zu einer Verminderung der durch Mehrfachreflexion hervorgerufenen Indirekt-Komponente der Beleuchtungsstärke.

Der Raumwartungsfaktor RMF bezeichnet das Verhältnis der Reflexionsgrade der Raumflächen zum Zeitpunkt der Reinigung im Vergleich zum Ausgangszeitpunkt. Er ist von der Verschmutzung des Raumes bzw. den Umgebungsbedingungen eines Raumes und dem gewählten Reinigungsintervall abhängig. Ebenso relevant sind die Größe des Raumes und die Art der Beleuchtung (direkt strahlend bis indirekt strahlend).

Die Klassifizierung der Raumverschmutzung sieht vier Verschmutzungsklassen vor:

- P pure (sehr sauberer Raum)
- C clean (sauberer Raum),
- N normal (normal verschmutzter Raum)
- D dirty (verschmutzter Raum)

Für vereinfachte Annahmen können Standardwerte zu Raumwartungsfaktoren herangezogen werden (siehe CIE-Publikation 97 Werte).

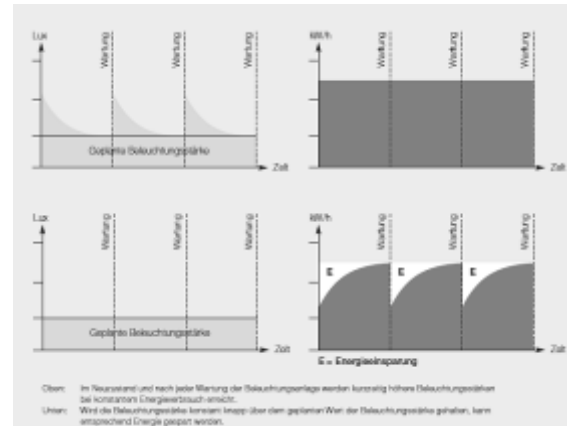
### Optionen für die Festlegung von Wartungsfaktoren

Über den Wartungsfaktor MF bzw. über die vier Einzelfaktoren bietet sich der Beleuchtungsplaner/in/dem Beleuchtungsplaner die Möglichkeit, Beleuchtungsanlagen durch den Einsatz geeigneter Lampen, Leuchten und Betriebsgeräte hinsichtlich der Wartungsintervalle und damit auch bezüglich der Investitions- und Betriebskosten zu optimieren.

Bei der Festlegung des MF ist jedenfalls zu beachten, dass ein Wechsel der Lampen vor der Erreichung der Nutzlebensdauer sowie eine häufige Reinigung der Leuchten und Lampen in der Regel unrealistisch sind. Folgende Empfehlungen sollten berücksichtigt werden:

- Ansetzen längerer Wartungsintervalle und Wahl eines Referenzwartungsfaktors unter der Annahme, dass mit Lampen, die eine hohe Lebenserwartung aufweisen, auch nach mehrjähriger wartungsloser Nutzung ein Betrieb der Anlage über den Wartungswerten gewährleistet ist.
- Einsatz von Lichtplanungsprogrammen wie Dialux und Relux und Erstellung der optimalen Wartungspläne auf Basis von Hersteller-Daten, die auch als Beilage zur Lichtplanung dokumentiert werden sollten.

Der Wartungsfaktor hat einen großen Einfluss auf die Energieeffizienz. Der MF sollte so optimiert werden, dass sich ein hoher Wert ergibt, ohne dass zu hohe Kosten für eine aufwändige Wartung entstehen.



**Abbildung 5-5: Einspar-Effekt durch Ausregeln auf konstanten Wert (Wartungswert)**

Durch moderne Steuer- und Regeltechnik kann sichergestellt werden, dass bei Auslegung auf einen hohen Anfangswert und lange Wartungsintervalle die Beleuchtungsstärke konstant im Bereich des Wartungswertes eingeregelt wird. Konkret wird die Leistung der Beleuchtungsanlage nach Inbetriebnahme sukzessive so hochgeregelt, dass über das Wartungsintervall hinweg das gleiche Beleuchtungsniveau gewährleistet wird und nur so viel Energie eingesetzt wird, wie erforderlich.

Bei fehlenden Detailinformationen oder für vereinfachte Projektierungen bieten die Richtwerte in Tabelle 5-8 eine Orientierung.

**Tabelle 5-8: Richtwerte für Wartungs- und Neuwertfaktoren (als 1/Wartungsfaktor)**

Wartungs-faktor	Neuwert-faktor	Anwendungsbeispiel
0,8	1,25	Sehr sauberer Raum, Anlagen mit geringer Nutzungsdauer
0,67	1,5	Sauberer Raum, dreijähriger Wartungszyklus
0,57	1,75	Innen- und Außenbeleuchtung, normale Verschmutzung, dreijähriger Wartungszyklus
0,5	2	Innen- und Außenbeleuchtung, starke Verschmutzung

Für den wartungsunabhängigen Vergleich von Lichtplanungen empfiehlt sich ein Wartungsfaktor von 0,67.

### Energieeffizienzanforderungen

Die ÖNORM EN 12464-1 hält fest, dass die Beleuchtungsanforderungen für bestimmte Sehaufgaben oder Räume auf energieeffiziente Weise erfüllt werden sollen. Es wird jedoch betont, dass die visuellen Gesichtspunkte nicht durch einfache Energieverbrauchssenkung gefährdet werden dürfen. Jedenfalls stellen die in der Norm festgelegten Beleuchtungsstärken Mindestwerte dar, die nicht unterschritten werden dürfen.

### 5.3 Überblick über den Schweizer MINERGIE-Standard für Beleuchtung

Der in der Schweiz etablierte MINERGIE®-Standard ist ein freiwilliger Standard für den Baubereich, der den effizienten Energieeinsatz und die Nutzung erneuerbarer Energien bei gleichzeitigen Qualitätsverbesserungen unterstützt.

Im Rahmen von Minergie wurden für den Bereich Beleuchtung zwei Standards definiert:

- der maximal zulässige Beleuchtungsbedarf je nach Auslegung in kWh/m<sup>2</sup> als Gebäude-Standard
- ein Leuchtenlabel

Beide Standards basieren auf der SIA-Norm 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ (SIA steht für „Schweizer Ingenieur und Architekten-Verein“). Diese Norm soll den rationellen Einsatz von Elektrizität in Bauten und Anlagen unterstützen und als Planungshilfe dazu beitragen, den Elektrizitätsverbrauch von Neu- und Umbauten zu optimieren. Sie definiert die maßgebenden Kenngrößen und legt eine standardisierte Darstellung des Elektrizitätsbedarfs fest.

Aus der Norm können folgende Kennwerte für die Berechnung, Optimierung und Erfolgskontrolle abgeleitet werden:

- *Projektwert* als berechneter Elektrizitätsverbrauch des Objektes mit Standardnutzung (Variante: mit effektiver Nutzung)
- *Grenz- und Zielwert* als berechneter Elektrizitätsverbrauch eines entsprechenden Vergleichsprojektes (mit Standardnutzung und Standardannahmen). Grenzwerte entsprechen dem Stand der Technik und sind wirtschaftlich. Diese sind bei Neubauten einzuhalten und bei Umbauten anzustreben. Zielwerte wiederum ergeben sich durch optimale Kombination der am Markt verfügbaren Produkte und sind bei Neubauten anzustreben.
- *Objektwert* als tatsächlicher beim erstellten Gebäude im Betrieb gemessener Elektrizitätsverbrauch.

SIA 380/4 sieht eine Energieverbrauchsbilanz vor, die installierte Leistungen, Volllaststunden und Energiebedarfswerte für unterschiedliche Raumtypen umfasst. In der Norm sind 45 Raumnutzungen mit spezifischen Kennwerten für installierte Leistungen und Volllaststunden für jeweils Grenz- und Zielwerte definiert. In die Berechnung der spezifischen Leistung (W/m<sup>2</sup>) fließen folgende Faktoren mit ein:

- Beleuchtungsstärke (lm/m<sup>2</sup>)
- Lichtausbeute von Lampe und Vorschaltgerät (lm/W)
- Planungsfaktor (Kompensation für Alterung und Verschmutzung, i.d.R. mit 1,25 festgelegt)
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad (Light output ratio LOR)
- Raumwirkungsgrad

Die von SIA 380/4 abgeleitete Minergie-Anforderung besagt, dass der Beleuchtungsenergiebedarf höchstens um 25 % der Differenz von Ziel- und Grenzwert über dem in SIA 380/4 definierten Zielwert liegen darf (siehe Tab. 6-9).

Minergie-Level = Zielwert + (Grenzwert – Zielwert) / 4).

**Tabelle 5-9: Minergie-Anforderung für ausgewählte Beispiele für Standard-Nutzungen**

Standard-Nutzung	Spez. Energiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> .a]		
	Grenzwert SIA 380/4	Zielwert SIA 380/4	Minergie-Anforderung
Einzel- und Gruppenbüro	16	11,5	12,625
Großraumbüro	12,5	9	9,875
Sitzungszimmer	16	11,5	12,625
Verkehrsfläche	7	4,5	5,125

Auch wenn Minergie sowie SIA 380/4 Regelwerke sind, deren Geltungsbereich auf die Schweiz beschränkt ist, bieten sie eine gute Vergleichsbasis für die Neuerichtung bzw. Sanierung von Beleuchtungsanlagen.

#### 5.4 Empfehlungen

Für die Planung von Beleuchtungsanlagen sind folgende Empfehlungen prioritär:

- Als Basis für eine Planung ist jedenfalls die ÖNORM EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen“ in der Fassung August 2011 heranzuziehen. In dieser sind alle zentralen Aspekte für eine gute Planung spezifiziert.
- Die ÖNORM EN 12464-1 selbst legt keine Anforderungen an die Energieeffizienz fest. Daher sollte unbedingt eine Querschau zu anderen aktuellen Regelwerken vorge-

nommen werden. Vor allem der Schweizer Minergie-Standard für Beleuchtungsanlagen bietet eine sehr gute Referenz für die Planung von neuen bzw. zu sanierenden Anlagen.

- Wenn möglich, sollte die Anlage auf den konstanten Wartungswert der Beleuchtungsstärken eingeregelt werden. Die Leistung der Beleuchtungsanlage sollte nach der Inbetriebnahme beginnend von einem Startniveau, das durch Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor, Lampenlebensdauer-Faktor, Leuchten- und Raum-Wartungsfaktor abhängt, sukzessive hochgeregelt werden. Damit wird vermieden, dass mehr künstliches Licht (und elektrische Energie) als notwendig eingesetzt wird.



# 6 Außenbeleuchtung

Der Fokus des vorliegenden Beleuchtungsleitfadens liegt primär im Bereich der Innenbeleuchtung. Darüber hinaus werden im folgenden Kapitel jedoch auch wesentliche ausgewählte Aspekte der Außenbeleuchtung dargestellt. Für detailliertere planungsrelevante Informationen wird auf weiterführende Quellen und die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Außenbeleuchtung im Dienstleistungssektor umfasst im Wesentlichen Beleuchtungslösungen für den Außenbereich von Dienstleistungsgebäuden sowie die Beleuchtung öffentlicher und gewerblicher Verkehrsflächen.

Das Kapitel bietet einen kurzen Überblick zu den Themen Lampen, Leuchten, Steuerung und Regelung sowie zu Basisthemen der Beleuchtungsplanung.

## 6.1 Allgemeine Aspekte zur Außenbeleuchtung im Dienstleistungssektor

Außenbeleuchtung beansprucht in österreichischen Städten und Gemeinden etwa 45% des Stromverbrauches des öffentlichen Sektors. Hinzu kommen Beleuchtungsanlagen von privaten Dienstleistungsbetrieben.

Viele Beleuchtungssysteme im öffentlichen Bereich sind heute mehr als 30 Jahre alt. Die Erneuerungsrate war in den vergangenen Jahren mit 2-3% pro Jahr relativ niedrig. Das Energiesparpotenzial beträgt je nach Ausgangssituation bis zu 65%. Optimierte Standardtechnologien, d.h. beispielsweise effiziente Natriumdampflampen und Leuchtstofflampen mit effizienter Leuchten- und Steuerungssystemen

erlauben vielfach erhebliche Einsparungen jenseits von 30%.

In den letzten Jahren wurden verbreitet Best Practice Projekte mit LED-Technologie umgesetzt, die sich wirtschaftlich bislang nur langfristig rechnen. Die Technologie ist jedoch gezielt für passende Anwendungen effektiv und wirtschaftlich einsetzbar.

Abbildung 6.1 zeigt den Anteil der verschiedenen Leuchtmitteltechnologien, die heute im Bereich der Außenbeleuchtung eingesetzt werden.

Es überwiegen nach wie vor die Hochdruck-Natriumdampflampen und Quecksilberdampflampen mit 40 bzw. 33%. Letztere Technologie wird allerdings aufgrund der EU-weit gültigen neuen Mindesteffizienzstandards in den kommenden Jahren vom Markt verschwinden. Metallampflampen haben derzeit einen relativ geringen Marktanteil von weniger als 5% jedoch mit steigender Tendenz. Ein knappes Viertel der eingesetzten Leuchtmittel sind Fluoreszenzlampen. Die LED-Technologie spielt quantitativ derzeit noch keine Rolle. Der Anteil liegt heute noch unter einem Prozent. LED-Lösungen sind unter anderem dort sehr effizient einsetzbar, wo eine dynamische Steuerung des Beleuchtungssystems zweckmäßig ist (z.B. Radwege mit Bewegungsabhängiger Steuerung).

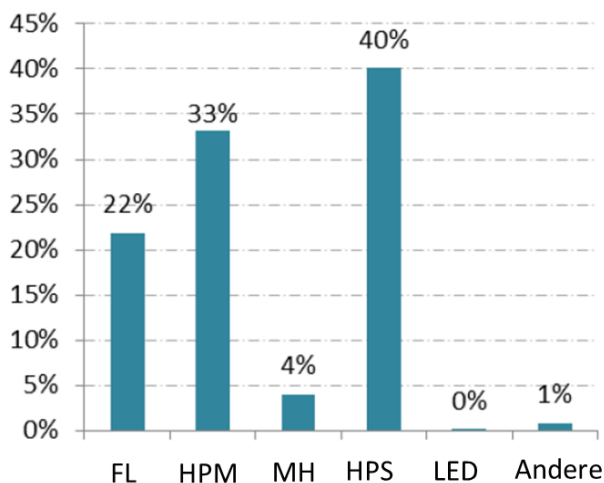
Bislang existieren für die Gestaltung von Außenbeleuchtungssystemen weder nationale noch internationale verpflichtende Kriterien.



Zentraler freiwillig anzuwendender Standard für die Gestaltung von Beleuchtungssystemen ist die ÖNORM-EN 13201/1-4. Diese gibt Kriterien für unterschiedliche Verkehrsflächen bzw. Straßentypen vor.

Relevante nationale Verordnungen bestehen in Österreich lediglich in Bezug auf die Gestaltung und Erhaltung von Straßen. Dazu zählt implizit auch die Sicherstellung von adäquater Beleuchtung. Besonderes Augenmerk wird dabei bislang auf die Gestaltung sogenannter Konfliktzonen gelegt, wie beispielsweise Kreuzungen, Straßen mit Gehsteigen, Fahrradwege, Tunnels, etc. Die relevanten Sicherheitsbelange sind mit Ausnahme der Nationalstraßen Angelegenheit der Städte und Gemeinden.

Auf EU-Ebene wurden Energieeffizienz-Mindeststandards für Beleuchtungskomponenten wie Lampen, Leuchten, Vorschaltgeräte eingeführt. Diese Mindestanforderungen stellen sicher, dass sehr ineffiziente Produkte nicht mehr im EU-Markt vertrieben werden dürfen.



**Abb.6.1 Anteil der verschiedenen Lampentechnologien für Außenbeleuchtung** (FL: Fluoreszenzlampen, HPM: Quecksilberdampflampen, MH: Metalldampflampen, HPS: Natriumdampflampen)

## 6.2 Lampentechnologien

Die verschiedenen heute gebräuchlichen Lampentechnologien sind Großteils bereits in den Kapiteln zur Innenbeleuchtung vorgestellt worden. Von den vier gebräuchlichsten Lampentechnologien werden Metalldampflampen und Leuchtstofflampen sowohl in der Außen- als auch in der Innenbeleuchtung eingesetzt. Hinzu kommen im Außenbereich noch Natriumhochdruckdampflampen. Halogenleuchtstofflampen werden im Außenbereich kaum verwendet.

Im folgenden Abschnitt werden nur ausgewählte zusätzliche Aspekte erläutert, die in den Kapiteln Innenbeleuchtung noch nicht behandelt worden sind. Einen Überblick zu den Eigenschaften der verschiedenen Lampentechnologien für den Außenbereich gibt Tabelle 6.1.

### 6.2.1 Leuchtstofflampen

Bei Leuchtstofflampen für die Außenanwendung ist auf die Auswahl der geeigneten Lampentyps zu achten. Hierbei sind unter anderem die Aspekte Umgebungstemperatur und Lebensdauer zu berücksichtigen. Es stehen Lampentypen mit Eignung für unterschiedliche Umgebungstemperaturen zur Verfügung sowie Produkte mit besonders hoher Lebensdauer. Letztere erlauben längere Wartungsintervalle und sind insbesondere auch für schlecht zugängliche Lichtpunkte gut geeignet. Leuchtstofflampen sind für den Bereich der Außenanwendungen grundsätzlich eine effiziente Technologie, allerdings mit gewissen Einschränkungen hinsichtlich der Temperaturtauglichkeit. Die Effizienz variiert abhängig vom Produkt zwischen 65 und 110 lm/W. Die typische Farbwiedergabe liegt zwischen Ra 80 und 90, die Lebensdauer bei etwa 20.000h, bei so genannten Long-Life-Lampen jedoch bis zu 70.000h.

In der Vergangenheit wurden für den Betrieb von Leuchtstofflampen überwie-

gend wenig effiziente konventionelle magnetische Vorschaltgeräte eingesetzt. In der Zukunft kommen nur noch elektronische Vorschaltgeräte zum Einsatz.

### **6.3 Hochdruck-Quecksilberdampflampen**

Hochdruckquecksilberdampflampen sind gemäß EU-Ecodesignverordnung ab 2015 nicht mehr zulässig bzw. dürfen ab diesem Zeitpunkt zwar noch verwendet, jedoch nicht mehr in den Markt gebracht werden. Die Technologie befindet sich mit ca. 40-70lm/W am unteren Ende der Produkte für Außenbeleuchtung und wird daher zukünftig von Metaldampflampen und Natriumdampflampen abgelöst. Quecksilberdampflampen weisen auch eine relativ niedrige Farbwiedergabe auf (Ra 40-60) sowie eine im Vergleich zu Natriumdampflampen und Leuchtstofflampen geringere Lebensdauer von etwa 16.000h auf. Aus Sicht der Beleuchtungsplanung ist zu berücksichtigen, dass die Ersatzlampen für Quecksilberdampf-lampen auch eigene Vorschaltgeräte benötigen. Reine Retrofitlampen, die mit den vorhandenen Vorschaltgeräten betrieben werden können, sind zukünftig auch nicht mehr verfügbar. Die Leuchten müssen daher mit geeigneten Vorschaltgeräten umgerüstet werden

### **6.4 Natriumhochdruckdampflampen**

Natriumhochdruckdampflampen sind sehr effiziente Leuchtmittel für die Außenbeleuchtung, haben allerdings die typische nicht überall erwünschte Eigenschaft der leicht gelblichen Lichtfarbe und eine vergleichsweise geringe Farbwiedergabe. Der Farbwiedergabe-index beträgt typischerweise nur Ra 20-40.

Die Produkte erreichen jedoch eine Effizienz von bis zu 150lm/W bei einer Lebensdauer von bis zu 20.000h. Natriumdampflampen sind daher überall dort eine gute Wahl, wo nicht zwingend eine neutralweiße Lichtfarbe gewünscht ist. Ein weiterer

Vorteil besteht darin, dass die Lichtqualität dieser Lampentechnologie für Insekten nur wenig attraktiv ist bzw. Insekten nicht anzieht. Natriumdampflampen eignen sich grundsätzlich auch als Ersatz für Quecksilberdampflampen, allerdings wie oben angeführt mit zusätzlichen Anforderungen hinsichtlich Austausch des Vorschaltgeräts.

### **6.5 Metaldampflampen**

Metaldampflampen eignen sich insbesondere für Anwendungsbereiche wo eine neutralweiße Lichtfarbe und eine gute Farbwiedergabe gefordert ist. Im Bereich der Straßenbeleuchtung sind die Anforderungen hinsichtlich Farbwiedergabe allerdings zumeist nicht so hoch. Metaldampflampen werden daher bislang überwiegend im Bereich der Innbeleuchtung eingesetzt.

Standard-Metaldampflampen haben nur eine relativ kurz Lebensdauer von durchschnittlich 12.000h. Metaldampflampen mit Keramik-sockel erreichen 16.000h sind jedoch vergleichsweise teuer. Die Energieeffizienz der Lampen ist hoch und liegt bei etwa 80-110 lm/W.

### **6.6 LED-Lampen**

Die LED-Technologie ist ähnlich wie im Bereich der Innenbeleuchtung bislang noch wenig verbreitet. Dies ist nicht zuletzt durch die vergleichsweise noch hohen derzeitigen Beschaffungskosten bedingt. Zahlreiche Pilotprojekte zeigen jedoch bereits das große Einsatzpotenzial der Technologie. LED-Lampen bieten eine Energieeffizienz zwischen 60 und 110 lm/W, eine Farbwiedergabe von Ra 60 bis 90 und eine Lebensdauer von bis zu 50.000h.

Die Vorteile der LED-Technologie sind im Weiteren der sofort voll verfügbare Lichtstrom, eine gute Dimmbarkeit von dimmbaren Lampen sowie geringe Streulichtverluste.

**Tab.6-2. Vergleich der verschiedenen Lampentechnologie**

Lampentechnologie	Farbwiedergabe	Effizienz [lm/W]	Lebensdauer [h]	Vorteile und Nachteile
Natriumhochdruckdampflampen	Gelbliches Licht Ra: 20 – 40	90 – 150	bis 20.000	+ hohe Effizienz + wenig attraktiv für Insekten - Schlechte Farbwiedergabe
Standard-Metaldampflampen	Weißes Licht Ra: 80 – 90	80 – 110	bis 12.000	+ Gute Farbwiedergabe - Hoher Preis
Keramik-Metaldampflampen	Weißes Licht Ra: 80 – 90	>110	bis 16.000	
LED	Weißes Licht, Ra: 60 – 90	60 – 110	bis 50.000	+ lange Lebensdauer + sofortiger voller Lichtstrom, gute Dimmung + geringe Verluste durch Streulicht - keine Langzeiterfahrung - teuer - keine standardisierten Komponenten
Leuchtstofflampen	Weißes Licht Ra: 80 – 90	65 – 110	bis 20.000	+ kostengünstig + lange Lebensdauer - temperatursensitiv
Quecksilberhochdruckdampflampen	Weißes Licht Ra: 40-60	40 – 70	bis 16.000	- Geringe Effizienz

**6.7 Mindestanforderungen zur Lampeneffizienz und –qualität auf Basis der EU-Verordnungen**

Im Rahmen der neuen EU-Verordnungen für Beleuchtungstechnologien im Dienstleistungssektor sind Mindestanforderungen hinsichtlich Energieeffizienz und Qualitätsanforderungen für Leuchtmittel, Vorschaltgeräte und Leuchten festgelegt worden. Damit dürfen entsprechende Produkte zukünftig nur noch dann in der EU angeboten werden, wenn sie die vorgeschriebenen Kriterien erfüllen. Standardquecksilberdampflampen werden aufgrund dieser Anforderungen ab 2015 in der EU nicht mehr angeboten. Dies ist insbesondere für die längerfristige Planung und Wartung von Beleuchtungsanlagen zu berücksichtigen. Beleuchtungssys-

teme für Außenbeleuchtung sollten daher heute keinesfalls mehr auf Basis von Quecksilberdampflampen geplant werden.

Für Natriumhochdruckdampflampen, Leuchtstofflampen und Metaldampflampen gelten spezifische Mindestanforderungen an die Energieeffizienz, die im Zeitraum 2012 bis 2017 sukzessiv umgesetzt werden. Die wichtigsten Anforderungen sind in den Tabellen 6.3 und 6.4 zusammengefasst.

**Tab. 6-3 Mindestanforderungen für Leuchtstofflampen**

Datum	Komponente	Anforderung
April 2010	Lampen	Verbot von T8, T9, T4 Halophosphat-Lampen
	Vorschaltgeräte	Existierende nicht dimmbare Lampenmodelle: Effizienzindex = B2 Neue nicht dimmbare Lampenmodelle: Effizienzindex A3 Dimmbare Lampenmodelle: Effizienzindex= A1
	Leuchten	Technische Information für Leuchten mit >2000lm
April 2012	Lampen	Verbot von T10 und T12 Halophosphatlampen
	Vorschaltgeräte	Standby-Verluste <0,5W
	Leuchten	Kompatibilität mit Vorschaltgeräten der Klassen A1, A2BAT
April 2017	Vorschaltgeräte	Nicht dimmbare VGs: Effizienz-Index A2/A2BAT Dimmbare VGs: Effizienz-Index A1BAT
	Leuchten	Kompatibilität mit effizientesten Vorschaltgeräten

**Tab. 6-4 Mindestanforderungen an Gasentladungslampen**

Datum	Komponente	Anforderung
April 2012	Lampen	Mindesteffizienzkriterien für Natriumdampflampen und Metaldampflampen (E27, E40 und PGZ12)
	Vorschaltgeräte	Mindesteffizienzklasse EEI=A3
	Leuchten	Technische Information für Leuchten mit einem Lichtstrom >2000lm, Kompatibilität mit Vorschaltgeräten der Effizienzklasse EEI=A2
April 2015	Lampen	Verbot von Quecksilberdampflampen sowie Retrofit-Natriumdampflampen die als Ersatz für Quecksilberdampflampen eingesetzt werden (E27, E40 PGZ12)
April 2017	Lampen	Mindesteffizienzanforderungen für Metaldampflampen (E27, E40 PGZ12)
	Vorschaltgeräte	Mindesteffizienz EEI=A2
	Leuchten	Kompatibilität mit A2 Vorschaltgeräten

Neben den Effizienzkriterien schreiben die neuen Ecodesignverordnungen auch Mindestanforderungen für verschiedene Qualitätsaspekte vor. Tab. 6.5 zeigt bei-

spielhaft die Kriterien zum Lichtstromerhalt und zur Lampenlebensdauer für Natriumdampflampen und Metaldampflampen.

**Tab. 6-5 Mindestanforderungen an die Qualität von Natriumdampflampen und Metaldampflampen.**

HPS Lampen	Lampenlichtstromerhalt	Lampenlebensdauerfaktor
P<75W LLMF und LSF gemessen nach 12000 Betriebsstunden	Ra<60	>0,8
	Ra>60	>0,75
Retrofitlampen für HPM-Vorschaltgeräte	>0,75	>0,80
P>75W LLMF und LSF gemessen nach 16000 Betriebsstunden	Ra<60	>0,85
	Ra>60	>0,70
Retrofitlampen für	>0,75	>0,55
Metaldampflampen	Lampenlichtstromerhalt	Lampenlebensdauerfaktor
12000 Betriebsstunden	>0,8	>0,9

## 6.8 Vorschaltgeräte und Leuchten

### Vorschaltgeräte

Neben den Leuchtmitteln hat auch die Effizienz der eingebauten Vorschaltgeräte und Leuchten maßgebliche Auswirkung auf die Gesamteffizienz des Beleuchtungssystems. Bei den Vorschaltgeräten ist, wie bereits in den Kapiteln zu Innenbeleuchtung ausgeführt, grundsätzlich zwischen konventionellen und elektronischen Vorschaltgeräten zu unterscheiden. In älteren Beleuchtungssystemen trifft man vor allem noch die billigeren und ineffizienteren konventionellen Vorschaltgeräte an. Ab 2013 dürfen allerdings nur noch Produkte der Effizienzklasse A3 im EU-Markt angeboten werden. Damit sind zukünftig nur noch relativ effiziente elektronische Vorschaltgeräte zugelassen.

Die Effizienzanforderungen an Vorschaltgeräte werden in den kommenden Jahren noch weiter verschärft, so dass ab 2017 nur noch Produkte mit Effizienzklasse A2 oder höher angeboten werden.

Der konsequente Übergang von konventionellen zu elektronischen Vorschaltgeräten war lange Zeit durch das Argument eingebremst worden, dass elektronische Vorschaltgeräte für die typischen Temperaturanforderungen im Außenbereich nicht robust genug sind. Dieses Argument wurde jedoch mittlerweile entkräftet.

### Leuchten

Für Leuchten wurde im Rahmen der EU-Verordnungen festgelegt, dass Produkte zukünftig mit Vorschaltgeräten der Effizienzklassen A2 oder A1 kompatibel sein müssen. Damit wird sichergestellt, dass eine weitere Effizienzverbesserung und Verbreitung effizienter Vorschaltgeräte bzw. Beleuchtungssysteme insgesamt nicht durch ungeeignete Leuchten behindert wird.

Im Weiteren ist auch das Leuchtendesign ähnlich wie im Bereich der Innenbeleuchtung sehr wesentlich ausschlaggebend für die Effizienz des gesamten Beleuchtungssystems. Ein wesentlicher Aspekt der Leuchteneffizienz ist der Beleuchtungsanteil in den unterschiedlichen Raumwinkeln bzw. im Bereich der zu beleuchtenden Flächen. Leuchten mit entsprechend hohem Lichtanteil nach unten auf die zu beleuchtenden Flächen sind entsprechend effizient. Rundum strahlende Leuchten z.B.: Kugelleuchten sind vergleichsweise ineffizient und werden in modernen Leuchten Konzepten zunehmend ersetzt. Als Zielwert für den nach unten bzw. auf die zu beleuchtende Fläche gerichteten Lichtanteil sind in effizienten Beleuchtungssystemen zumindest Werte > 75% anzustreben.



**Abb. 6-1 Ineffiziente Kugelleuchten und Leuchten mit gerichteter Optik**

Insbesondere die LED-Technologie ist für gerichtete Beleuchtungsanwendungen prädestiniert.

Tabelle 6-6 zeigt ein Beispiel für die unterschiedliche Effizienz einer Beleuchtungslösung mit Natriumhochdruckdampf lampen und LEDs. Obwohl die Natriumdampf-technologie auf Ebene des Leuchtmittels derzeit noch Vorteile gegenüber LED aufweist, ist die Gesamtlösung aufgrund der reduzierten Streulichtverluste und optischen Verluste ähnlich effizient.

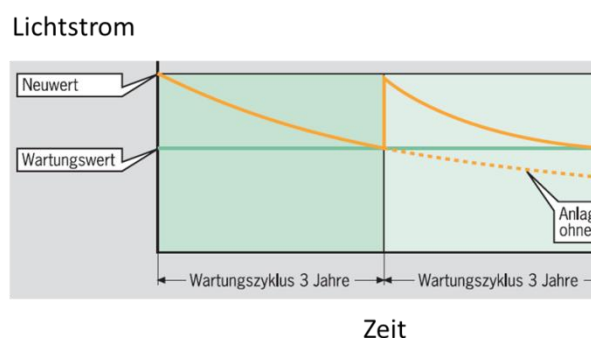
**Tab. 6-6. Effizienz einer klassischen Lösung mit Natriumdampf lampen im Vergleich zu einem LED-System**

	Natriumhochdruckdampf lampen	LED
Effizienz Leuchtmittel	90 – 130 lm/W	70 – 100 lm/W
Verluste durch Thermomanagement und elektronische Komponenten	10 – 15 %	30 – 35 %
Optische Verluste	20 – 25 %	10 – 15 %
Streulichtverluste	20 – 25 %	5 – 10 %
Effektive Effizienz	45 – 75 lm/W	35 – 60 lm/W

Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Beleuchtungseffizienz im Außenbereich ist die Verschmutzungsresistenz der Lampen und der Wartungsfaktor. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang auch der sogenannte Ingressprotection-Faktor also der Schutz gegenüber Verschmutzung im inneren der Lampe. Für wartungsarme Lampen kann beispielsweise ein IP-Faktor von 65 gefordert werden.,

Für die Gestaltung eines wartungsoptimierten Beleuchtungsdesigns bietet die EN13201 die Grundlage. Die Zielsetzung einer optimierten Wartung ist, dass der gewünschte Lichtstrom bzw. die geforderte Helligkeit auf einer zu beleuchtenden Fläche auch am Ende des definierten Wartungsintervalles noch zur Verfügung steht. Der sogenannte Wertungswert bzw. der Mindestwert für die Beleuchtungsstärke, der nicht unterschritten werden soll, ergibt sich aus dem Lichtstromerhaltungsfaktor des Leuchtmittels, dem Lampenüberlebensfaktor und dem Leuchtenwartungsfaktor.

Für effiziente Beleuchtungssysteme und wartungsarme Beleuchtungssysteme sind daher alle drei Komponenten erforderlich.



Wartungsfaktor =  $LLEF \times LLF \times LEF$   
 LLEF: Lampenlichtstromerhaltungsfaktor  
 LLF: Lampenlebensdauerfaktor  
 LEF: Leuchtenwartungsfaktor

## Abb.6-2 Leuchtenwartung

### 6.9 Norm für Straßenbeleuchtung

Außenbeleuchtung und insbesondere Straßenbeleuchtung haben abgesehen von einer Schaffung eines angenehmen visuellen Eindrucks für NutzerInnen auch einen wichtigen Einfluss auf die Sicherheit. Ausreichende Beleuchtung verbessert die Sehleistung und trägt dazu bei, Unfälle im Straßenverkehr zu reduzieren. Darüber hinaus nimmt mit zunehmender Beleuchtungsstärke die Zahl der in der Dämmerung und in der Nacht verübten Straftaten

(Einbrüche, Überfälle, sexuelle Gewalt) deutlich ab.

Der europaweit einheitliche Beleuchtungsstandard EN 13201 für die Straßenbeleuchtung gilt in 28 europäischen Staaten, darunter auch in Österreich. Die Bearbeitung erfolgte im Technischen Komitee (TC) CEN TC 169 (CEN – Comité Européen de Normalisation). Eine österreichische Norm basierend auf der europäischen Norm EN 13201, die sich für die Straßenbeleuchtung als Stand der Technik etabliert hat, gibt einen Rahmen für eine adäquate Auslegung von Außenbeleuchtungsanlagen vor und liegt in den folgenden Teilen 1 – 4 vor:

- ÖNORM CEN/TR 13201 – 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen (Sept. 2005)
- ÖNORM EN 13201 – 2: Gütemerkmale (Feb. 2004)
- ÖNORM EN 13201 – 3: Berechnung der Gütemerkmale (Feb. 2004)
- ÖNORM EN 13201 – 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale (Feb. 2004)

Als Maxime gilt hier: Das jeweilige Gefährdungspotential definiert die Anforderungen an die Straßenbeleuchtung!

Risikofaktoren bei (zu) wenig Tageslicht sind in erster Linie das Verkehrsaufkommen und die Übersichtlichkeit des Verkehrswegs, die durch dessen Ausbau und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bestimmt ist. Autofahrer, Radfahrer und Fußgänger unterscheiden sich grundlegend in Erkennbarkeit, Geschwindigkeit, Größe. Deshalb steigt das Gefährdungspotential, wenn unterschiedliche Verkehrsteilnehmer Straßen gemeinsam nutzen.

Die ÖNORM CEN/TR 13201 – 1 enthält ein Bewertungsraster zur Bestimmung der

Anforderung an die Beleuchtung (siehe Tabelle 6.7).

Das gegebene Gefährdungspotential leitet sich aus der Kombination der folgenden Grundparameter ab:

- Hauptnutzer des Verkehrsweg und ihre Geschwindigkeit

- weitere zugelassene Nutzer sowie
- ausgeschlossene Nutzer

Aus den möglichen Kategorisierungen leiten sich die Beleuchtungssituationen A1 – E2 ab.

**Tab. 6.7 Beleuchtungssituationen nach ÖNORM EN 13201**

Geschwindigkeit des Hauptnutzers	Hauptnutzer	Andere zugelassene Nutzer	Ausgeschlossene Nutzer	Anwendungsbeispiele	Beleuchtungssituation
> 60 km/h	Motorisierter Verkehr		Langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger	Autobahnen und Kraftfahrstraßen	A1
		Langsam fahrende Fahrzeuge	Radfahrer, Fußgänger	Höhergradige Landstraßen, ggf. mit separatem Rad- und Fußweg	A2
		Langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger		Nachgeordnete Landstraßen	A3
30 km/h bis 60 km/h	Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge	Radfahrer, Fußgänger		Hauptverkehrsstraßen, Verbindungsstraßen, Sammelstraßen	B1
	Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer	Fußgänger			B2
5 km/h bis 30 km/h	Radfahrer	Fußgänger	Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge	Radwege, Rad-/Fußwege	C1
5 km/h bis 30 km/h	Motorisierter Verkehr, Fußgänger		Langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer	Autobahnrastanlagen	D1
		Langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer		Bahnhofsvorplätze, Busbahnhöfe, Parkplätze	D2
	Motorisierter Verkehr, Radfahrer	Langsam fahrende Fahrzeuge, Fußgänger		Anlieger- und Wohnstraßen, Zone 30 km/h-Straßen (meist mit Gehweg)	D3
	Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer, Fußgänger			Anlieger- und Wohnstraßen, Zone 30 km/h-Straßen (meist ohne Gehweg)	D4
Schrittgeschwindigkeit	Fußgänger		Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer	Fußgänger- und Einkaufszonen, Fußwege	E1
		Motorisierter Verkehr, langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer		Fußgänger- und Einkaufszonen mit Lade- und Zubringerverkehr, verkehrsberuhigte Zonen (Spielstraßen)	E2

Einen weiteren Einfluss haben spezifische Parameter (siehe Abbildung 6.3), die allenfalls erhöhte Anforderungen an Verkehrswege beschreiben. Im Hinblick auf die Geometrie spielen die Art der Knotenpunkte, eine evtl. vorhandene Trennung der Richtungsfahrban bzw. das Bestehen einer Konfliktzone (bspw. Kreuzungen und Einmündungen, Kreisverkehre, Fußgängerüberquerungen und Radwegquerungen) eine Rolle. Je nach Verkehrsnutzung spielen weiter Kriterien eine Rolle: normaler bzw. hoher Verkehrsfluss von PKWs, Radfahrer und Fußgängern, parkende Fahrzeuge, eine allenfalls notwendige Erkennung entgegenkommender Personen und vor allem ihres Verhaltens bzw. Absichten zur Kriminalitätsprävention sowie ein evtl. erhöhtes Kriminalitätsrisiko.

Gemäß ÖNORM CEN/TR 13201 – 1 sind folgende Beleuchtungsklassen definiert:

- ME ...Motorway Europe
- MEW ... Motorway Europe Wet
- CE ...Conflict (area) Europe
- S ...Slow (traffic)
- EV ... "E" Vertical
- ES ... "E" Semi cylindrical

Weiteres werden noch Lichtstärkeklassen („Glare“, G1 – G6, ) und Blendindexklassen (Disturbing, D1 – D6) eingeführt.

Die genannten Grund- und spezifischen Parameter ergeben gemeinsam den Beleuchtungsklassen die konkrete Anforderung an die Gütemerkmale für einen Abschnitt eines Verkehrsweges, wie etwa Fahrbahnleuchtdichte – Wartungswert, Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit, Umgebungsbeleuchtungsstärke, Blendung, etc.

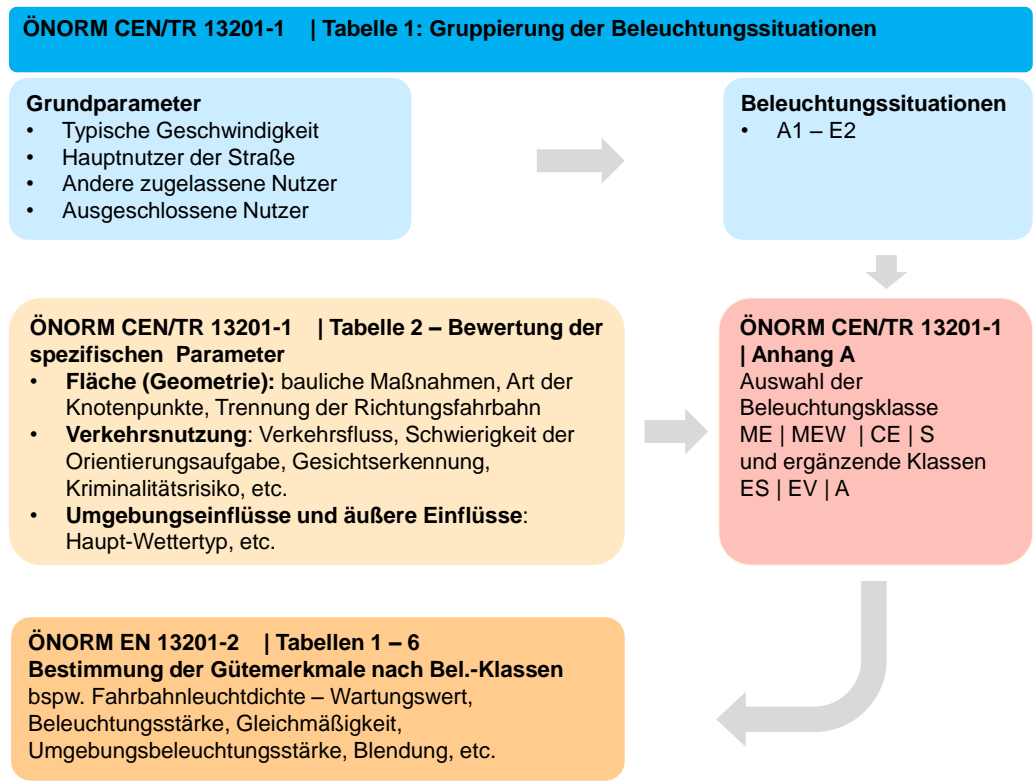


Abb.6-3 Anwendungsschema für die ÖNORM EN13201



## 6.10 Steuerungs- und Regelungskonzepte

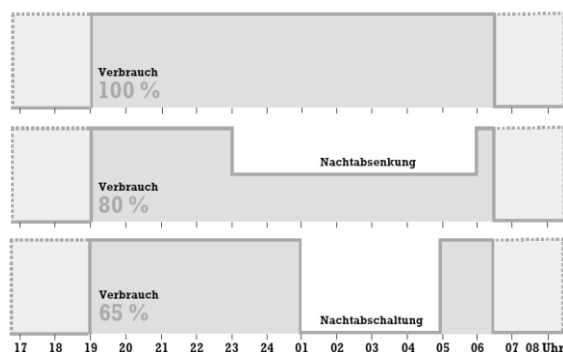
Die im vorherigen Abschnitt vorgestellte ÖNORM EN 13201 definiert Qualitätskriterien wie Mindestbeleuchtungsstärken für Straßenbeleuchtung. Die Frage stellt sich nun für Anlagenbetreiber, ob diese Vorgaben einen Spielraum für Maßnahmen zur Energieverbrauchssenkung geben. Die vorgeschriebenen Werte sind auch abhängig von der Umgebungshelligkeit sowie dem Verkehrsaufkommen. Bei niedriger Nutzungsfrequenz und in Dämmerungsstunden ist daher eine Absenkung des Beleuchtungsniveaus jedenfalls zulässig.

Es bestehen mehrere Möglichkeiten zur effektiven Energieeinsparungen, angefangen von einer eher simplen Teilabschaltung bis hin zu sehr ausgefeilten Regelungskonzepten.

Im Folgenden werden gängige Konzepte sowie ihre Vor- und Nachteile kurz skizziert:

### 6.10.1 Nachtabschaltung und Nachtabsenkung

Die Reduktion des Beleuchtungslevels bzw. eine komplette Abschaltung der Anlage in den Nachtsunden (beispielsweise zwischen 1 Uhr bis 5 Uhr früh) erzielt Einsparungen von 20 – 35 %.



**Abb.6-4 Schema Nachtabsenkung und Nachtabschaltung**

Eine Komplettabschaltung kann aus sicherheitsrelevanten Überlegungen gege-

benenfalls als ungünstig beurteilt werden. Teilabschaltungen bzw. Maßnahmen zur Absenkung sind daher meist ein guter Kompromiss zwischen energiesparendem Betrieb und ausreichender Sicherheit.

Nicht empfehlenswert ist es, jede zweite Leuchte (Lichtpunkt) auszuschalten. Hier treten abwechselnd hellere und dunklere Bereiche auf. Im Einzugsgebiet der abgeschalteten Leuchten (Straßenlaternen) könnten Verkehrsteilnehmer bzw. Hindernisse auf der Straße leichter übersehen werden.

Die Option „Halbnacht“-Schaltung ermöglicht, einzelne Leuchten in der Nacht auszuschalten und nur Lichtpunkte an neuralgischen Abschnitten wie etwa bei Schutzwegen oder gefährlichen Kreuzungen durchgängig zu betreiben.

Eine bessere Lösung ist die Deaktivierung jeder zweiten Lampe statt jeder zweiten Leuchte. Die Zahl der Lichtpunkte bleibt erhalten, wobei das Beleuchtungsniveau um die Hälfte abgesenkt wird. Die Ansteuerung an sich ist relativ einfach. Ein Nachteil ist jedoch die etwas komplexere Wartung, da die Lampen unterschiedliche Betriebszeiten aufweisen. Abhilfe schafft eine Wechselschaltung, die einen täglich alternierenden Betrieb ermöglicht.

### 6.10.2 Dimmung

Eine Dimmung der Straßenbeleuchtung durch eine Spannungsabsenkung ist ebenfalls eine technisch relativ einfach zu realisierende Lösung. Hier muss in der Spannungsversorgung für die Beleuchtungsanlage eine Einrichtung zur Spannungsstellung integriert werden. Die Absenkung wirkt sich auf den gesamten versorgten Abschnitt aus.

Hinsichtlich der Implementierung gibt es mehrere Möglichkeiten:

#### ▪ **Reine Spartransformatoren:**

Reine Spartransformatoren senken das Spannungsniveau im Beleuchtungsstromkreis auf einfachste Weise in einem konstanten Verhältnis zur Netzspannung auf ca. 200 V ab. Die Sekundärspannung bleibt rein sinusförmig. Der Startvorgang erfolgt daher bei verminderter Spannung, die Zündsicherheit sinkt. Bei zu schwachen Netzen, Spannungsverlust auf der Zuleitung oder bei Spannungsschwankungen ist ein Zünden der Lampen oft nicht mehr möglich.

#### ▪ **Stelltransformatoren:**

Stelltransformatoren gewährleisten zunächst ein Zünden der Lampen bei Netzspannung. Durch einen motorisch verstellbaren Abgriff über Schleifkontakte wird die Spannung im angeschlossenen Stromkreis nach einer gewissen Verzögerungszeit gleitend und unterbrechungsfrei bis auf ca. 190 V (oder darunter) gesenkt. Grundsätzlich ist dies nach dem Zünden physikalisch möglich; ein späteres Zuschalten einzelner Leuchten in diesem Kreis ist jedoch ausgeschlossen. Dieses Prinzip ist gegenüber dem reinen Spartransformatoren aufwendiger.

#### ▪ **Beschaltete Transformatoren:**

Grundsätzlich gelten dieselben Eigenschaften wie bei Stelltransformatoren, jedoch ohne Mechanik, dafür aber mit kontaktbehafteten Schaltelementen. Um die Unterbrechung beim Schalten von der hohen auf die niedrige Spannungsebene zu unterbinden, sind Hilfsrelais/-schütze erforderlich. Die Leuchten würden sonst nach der Umschaltung auf reduzierten Spannungsbetrieb einen erneuten Zündversuch bei bereits abgesenkter Spannung unternehmen.

Alle vorgestellten Systeme sollen bei Hoch- und Niederdruckentladungslampen (also bei Leuchtstofflampen, HQL, HQL,

NAV) eine Leistungsreduzierung bewirken und sich so über die Energieeinsparung refinanzieren.

Bei einer Dimmung durch Spannungsabsenkung sind jedoch einige Faktoren zu berücksichtigen, die gegebenenfalls den Einsatz dieses Konzept nicht vorteilhaft machen:

#### ▪ **Energieeinsparung**

Eine Reduzierung der Leistungsaufnahme zwischen 15 und 30 % wird je nach individuellen Verhältnissen in der Anlage an der Leuchte erreicht. Unberücksichtigt bleibt aber oft, dass bei schlechter Güte der Trafos eine Verlustleistung bis zu 10 % der Nennleistung vorliegen kann. Weiteres ist zu bedenken, dass die Gesamtbilanz sich weiter verschlechtert, wenn Leerlaufverluste über die gesamten 2h auftreten, sofern keine netzseitige Freischaltung der Transformatoren erfolgt.

#### ▪ **Lebensdauer.**

Eine Verlängerung der Lampenlebensdauer durch die Reduzierung der Betriebsspannung kann von den Lampenherstellern in den meisten Fällen nicht oder nur eingeschränkt bestätigt werden. Oft wird eine Lebensdauerverlängerung mit anderen Nachteilen eingekauft.

#### ▪ **EVG-Betrieb.**

Vollelektronische Vorschaltgeräte mit Leistungskonstanz sind in weiten Bereichen nahezu unabhängig von der Speisepannung. Dadurch haben spannungsreduzierende Maßnahmen bei EVG-Betrieb praktisch keine Auswirkung bezüglich der Energieeinsparung. Da jedoch EVG ständig versuchen die Ausgangsleistung konstant zu halten, wird bei Verringerung der Versorgungsspannung eine Zunahme des Stromes zu erkennen sein. Dies kann zur Überlastung des Primärkreises führen, die sich durch Überhitzung des EVG äußert.

Bauteile im EVG werden dadurch gefährdet und meist auch geschädigt.

▪ **Spannungsabfall.**

In der Regel muss die Spannungsabsenkung auf die am weitesten entfernte Leuchte abgestimmt werden. Bei großen Leitungslängen, wie sie in der Straßenbeleuchtung in der Regel vorkommen, kann die versprochene Spannungsabsenkung gar nicht erfolgen, da man sonst den Betrieb und Funktion der letzten Leuchten im Strang gefährdet.

**6.10.3 Intelligente Steuerungssysteme**

Ein sehr ausgefeiltes Konzept stellen Intelligente Steuerungssysteme dar, die Tageszeit, Witterungsbedingungen und das Verkehrsaufkommen berücksichtigen sowie über den aktuellen Status der Betriebsmittel (Betriebsstunden oder Defektmeldungen) Daten auswerten.

**6.10.4 Vorteile der LED-Technologie und Pilot-Anlagen**

LED haben gegenüber Entladungslampen den Vorteil, dass sie nach dem Einschalten unmittelbar die volle Lichtmenge abgeben und sehr häufig geschaltet werden können.

**Tab. 6.8 Vergleich ausgewählter Parameter von LED und Hochdruckentladungslampen**

	Hochdruck-Entladungslampen		
	LED	Natrium	Halogen-Metaldampf
Einschaltung	sofort	verzögert	
Ansteuerung durch Bewegungssensor	Für rasche Einschaltung geeignet	Nicht möglich (lange Verzögerung, Lampe muss vor dem erneutem Einschalten mind. 10 Minuten abkühlen)	
Regelung des Lichtstroms	10 – 100 %	50 – 100 %	

LED-Straßenlampen sind daher grundsätzlich eine interessante Option, wenn eine bedarfsabhängige Steuerung eingesetzt wird, wo in kurzen Zeitintervallen Lichtpunkte ein- bzw. ausgeschaltet werden sollen.

In einigen Schweizer Gemeinden werden bereits LED-Straßenbeleuchtungen bei Rad- und Fußwegen eingesetzt, die per Bewegungssensor eingeschaltet werden. Beispielsweise kann die Leistung der Anlage auf 10 % heruntergedimmt werden, wenn sich kein Fußgänger oder Radfahrer in der Nähe befindet. Sobald jedoch ein Passant in das Erfassungsfeld der miteinander vernetzten Sensoren gelangt, werden die jeweilige Leuchte sowie die beiden benachbarten Leuchten auf ihre volle Leistung hochgefahren: In der Grundbeleuchtung hat die Beleuchtungsstärke 1 Lux, sobald ein Abschnitt genutzt wird, werden 5 Lux gewährleistet.

Statt in Nachtstunden dauerhaft unbenutzte Wege zu beleuchten, wandert ein Lichtkegel mit den Personen mit. Erste Praxistests zeigen, dass das Konzept gut funktioniert. Für eine Pilotinstallation in der Schweizer Gemeinde Baar konnte eine Einsparung von 27 % gegenüber einer LED-Beleuchtung ohne Sensor-Steuerung erreicht werden. Hier wurden die Varianten LED mit Nachtabschaltung und durchgehende Dimmung mittels Bewegungsmelder miteinander verglichen.

**Tab. 6.9 Beleuchtungssituationen nach ÖNORM EN 13201**

	Nachtabschaltung	Dimmung
Anzahl der Lichtpunkte	20	20
Leuchte	LED	LED
Systemleistung per Lichtpunkt	29 W	31 W (inkl. Bewegungsmelder)
Steuerung	Nachtabschaltung 23:00 bis 5:00 Uhr	Durchgehende Dimmung mittels Bewegungsmelder
Helligkeit Abend	5 Lux	1 – 5 Lux
Helligkeit Abend	0 Lux	1 – 5 Lux
Volllaststunden	2.200 h/a	1.500 h/a
Energieverbrauch	1.280 kWh/a	930 kWh/a
Einsparung	-	27 %

# 7 Glossar

**Absorption:** Die Eigenschaft von Stoffen, auftreffende Strahlung (z.B. Licht) in andere Energieformen (größtenteils Wärme) umzusetzen.

**Beleuchtungsstärke E (Lux, [lx]):**

Der auf eine Fläche A auftreffende Lichtstrom ( $E = \phi/A$ ).

**Blendung:** Verminderung der Sehleistung oder Störung der Wahrnehmung durch hohe Leuchtdichten oder Leuchtdichtekontraste. Unterschieden werden unter anderem Direktblendung (z.B. extreme Leuchtdichten einer Lichtquelle) und Reflexblendung (Blendung durch Reflexion der Lichtquelle auf Oberflächen).

**Energieeffizienzindex (EEI):** Effizienzindex für das EU-Label für Halogenleuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen mit integriertem Vorschaltgerät. Der EEI errechnet sich aus dem Verhältnis der Nennleistung der Lampe oder korrigierten Nennleistung (bei Modellen mit externem Vorschaltgerät) zur Referenzleistungsaufnahme. Die Referenzleistungsaufnahme errechnet sich auf Basis des Nutzlichtstroms der Lampe. (Gesamtlumen für ungebündeltes Licht, Lumen im 90° oder 120° Kegel für gebündeltes Licht bzw. Spotlampen)

**Farbwiedergabeindex (Ra, 0-100%):**

Die Fähigkeit einer Lichtquelle bzw. eines Leuchtmittels, Objektfarben möglichst natürlich wiederzugeben. Der Farbwiedergabeindex ist von der spektralen Zusammensetzung des Lichtes abhängig. Als Bezugslichtquelle gilt im Allgemeinen Tageslicht. Der Farbwiedergabeindex wird

aus einer vergleichenden Bewertung von 8 Testfarben ermittelt. Je höher der Index, desto besser die Farbwiedergabe.

**Farbtemperatur (Kelvin, K)** Jene Temperatur,

auf die man einen schwarzen Strahler aufheizen müsste, damit er Licht der gleichen Farbe abgibt.

**Goniophotometer:**

Messgerät zur Bestimmung des Lichtstroms einer Lichtquelle in bestimmten Raumwinkeln.

**Lampenlichtstromerhalt:** (Lamp Lumen Maintenance Factor, LLMF): das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihrer Lebensspanne ausgesendeten Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom (nach 100h).

**LED-Retrofitlampe:** LED-Lampe für den Einsatz als Ersatzlampen für herkömmliche Technologien (Glühlampe, Leuchtstofflampe, Halogenleuchtstofflampe) mit entsprechend standardisierten Lampensockeln (E27, E14, GU10, GU5.3).

**LENI-Wert [kWh/(m<sup>2</sup>Jahr)]:** Der „Lighting Energy Numeric Indicator“ drückt den Energiebedarf für Beleuchtung inkl. Leerlaufverluste bezogen auf die Nutzfläche und Jahr gemäß ÖNORM H 5059 aus.

**Leuchtdichte L [cd/m<sup>2</sup>]:** Anteil des Lichtstroms, der auf einer Fläche auftrifft und zum sehenden Auge reflektiert wird. Sie ist ein Maß für den Helligkeitseindruck

einer Lichtquelle oder beleuchteten Fläche.

**Lichtausbeute [lm/W]:** Verhältnis von Lichtstrom zur Leistungsaufnahme in Watt beschreibt die Lichtausbeute einer Lampe.

**Lichtstärke (Candela [cd]):** Jener Teil des Lichtstroms, der von einer Lichtquelle in einem bestimmten Raumwinkel abgestrahlt wird (Raumwinkel  $\Omega$ ).

**Lichtstärkenverteilung:** Charakteristische räumliche Verteilung der Lichtstärke um eine Lichtquelle (Lampe oder Leuchte). Sie wird mit einem so genannten Goniophotometer gemessen.

**Lichtstrom  $\phi$  (Lumen [lm]):** Die von einer Lichtquelle ausgesandte Strahlungsleistung korrigiert mit der spektralen Empfindlichkeit des Auges ( $V(\lambda)$ -Kurve).

**Lichtfarbe:** Farbeindruck einer Lichtquelle für das menschliche Auge.

**Leuchtenbetriebswirkungsgrad ( $\eta_{LB}$ ):** Verhältnis des Lichtstroms  $\phi$  [lm] des Leuchtmittels zum Lichtstrom des Systems Leuchte + Lampe. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad gibt Aufschluss über die Effizienz der Leuchte in Kombination mit einem bestimmten Leuchtmittel. Dieser Wirkungsgrad wird auch als LOR (LOR = Light Output Ratio) bezeichnet. Unterschieden werden dabei häufig die Komponenten DLOR und ULOR, d.h. der Anteil des Lichts, der nach unten und nach oben abgegeben wird.

**Mittlere Lampenlebensdauer:** Zeitraum, nach welchem noch 50 % der Lampen eines statistischen Samples funktionstüchtig sind.

**Nutzlebensdauer der Lampen:** Zeitraum, nach welchem eine Lampe noch einen definierten Mindestlichtstrom aufweist,

der für eine volle Funktionstauglichkeit erforderlich ist. Typischerweise 70–80 % des Nennlichtstroms. Diese Kenngröße ist für Gasentladungslampen und LED-Lampen relevant.

**Leuchten-Effizienz-Faktor (LEF Lighting Efficiency Factor):** Gesamteffizienz des Systems Vorschaltgerät-Leuchte-Lampe berechnet als Produkt aus Lichtausbeute der Lampe, Wirkungsgrad Vorschaltgerät und Wirkungsgrad Leuchte.

**Unified Glare Rating (UGR):** Das UGR-Verfahren wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission International de l'Eclairage) entwickelt. Es ist eine Methode, die die Bewertung der Blendung weltweit vereinheitlichen soll. Je niedriger der UGR-Wert, desto geringer ist die psychologische Direktblendung der Beleuchtungsanlage

## 8 Quellen- und Literaturhinweise

- Berson, D.M., F.A. Dunn & M. Takao (2002): Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 295(5557).
- EC 2008: Light Sensitivity. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. DG Health & Consumers, Brüssel.
- EC 2009a: VERORDNUNG (EG) Nr. 245/2009 DER KOMMISSION vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG für Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten.
- EC 2009b: VERORDNUNG (EG) Nr. 244/2009 DER KOMMISSION vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht.
- EC 2010: VERORDNUNG (EU) Nr. 347/2010 DER KOMMISSION vom 21. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission in Bezug auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb.
- EC 2010: DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 244/2012 DER KOMMISSION vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten.
- EC 2011: RICHTLINIE 2011/65/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (Neufassung).
- EC 2012a: DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) Nr. 874/2012 DER KOMMISSION vom 12. Juli 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten.
- EC 2012b: VERORDNUNG (EU) Nr. 1194/2012 DER KOMMISSION vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten.

- EC JRC 2011: EUROPEAN LED QUALITY CHARTER. EU Joint Research Centre ISPRA.
- ZVEI 2012: Blaulichtgefährdung. Fotobiologische Sicherheit in der Beleuchtung. ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V.. Fachverband Licht. Frankfurt a.M. 2012
- LTG 2012: Umrüsten von LED-Tubes. Lichttechnische Gesellschaft. November 2011.
- CELMA/ELC 2009: Annex A to joint CELMA / ELC Guide on LED related standards: Photobiological safety of LED lamps and lamp systems, CELMA/ELC Brussels.
- CELMA/ELC 2010: Leitfaden der europäischen Beleuchtungsindustrie (CELMA&ELC) zur Anwendung der Verordnung(EG) Nr. 245/2009 der Kommission. Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union. Brüssel
- Gasser, S., Tschudy, D. 2012: Licht im Haus. Energieeffiziente Beleuchtung. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau.
- Förderungsgemeinschaft Gutes Licht. 2010: Wirkung des Lichts auf Menschen. Licht Wissen 19. Förderungsgemeinschaft Gutes Licht Frankfurt a. Main.
- Land use Planning Policy (2010): BIRD-FRIENDLY URBAN DESIGN GUIDELINES. City of Calgary 2010.
- Mills, P.R., S.C. Tomkins & L.J. Schlangen 2007: The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. J. Circadian Rhythms, 2007.
- ÖNORM EN 12665 2011: Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 62471 2009: Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 12646-1 2011: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 60081 2012: Zweiseitig gesockelte Leuchtstofflampen – Anforderungen an die Arbeitsweise. Österreichisches Normungsinstitut 2012.
- SAFE 2007: Reglement und Nachweisverfahren zur Vergabe des MINERGIE®-Labels für Leuchten. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz und Verein MINERGIE, Bundesamt für Metrologie (METAS), Leuchtenhersteller, Bauherren und Licht-Planer, Zürich.
- SN 380/4 2006: Elektrische Energie im Hochbau. Schweizer Norm. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

**topprodukte.at**  
ein Service von **klima:aktiv**



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den AutorInnen. Sie gibt nicht unbedingt die Meinung der Europäischen Union wieder. Weder die EACI noch die Europäische Kommission übernehmen Verantwortung für jegliche Verwendung der darin enthaltenen Informationen.