

Licht! voraus

*Energieeffiziente Innenbeleuchtung
im Dienstleistungssektor*

Technologieleitfaden **Beleuchtungssysteme**

Wien!
voraus

Energieplanung

StadT  Wien

IMPRESSUM

Medieninhaber und Herausgeber:

Magistrat der Stadt Wien
Magistratsabteilung 20 – Energieplanung

Strategische Gesamtkoordination: Herbert Ritter
und Ursula Heumesser, MA 20 – Energieplanung
www.energieplanung.wien.at

Erstellt durch: Bernd Schäppi, Thomas Bogner
Austrian Energy Agency

Redaktions- und Abstimmungsteam:

Wilfried Doppler (Wiener Umwelthanwaltschaft)
Johann Gausterer (MA 54), Rudolf Hornischer (MA 39)
Michael Minarik (MA 34), Gerald Wötzl (MA 33)

Designkonzept, Illustration, Layout:

Typejockeys, Wien, www.typejockeys.at

Lektorat: Veronika Kofler

Druck: gugler cross media, www.gugler.at

Gedruckt auf Impact von Lenzing Papier:
(CO₂ neutral, 100 % rezyklierte Fasern)

Verlags- und Herstellungsort: Wien, Dezember 2013

Licht! voraus

**Energieeffiziente Innenbeleuchtung
im Dienstleistungssektor**

von
Bernd Schäppi
Thomas Bogner
Austrian Energy Agency

Wien, im Dezember 2013

Sehen Sie auf einem Blick die wesentlichen Informationen und Empfehlungen aus der Broschüre „**Licht! voraus – Energieeffiziente Innenbeleuchtung im Dienstleistungssektor**“. Lernen Sie nicht nur die wichtigsten Grundbegriffe und typische Kennwerte der Lichttechnik kennen, sondern erfahren Sie auch von den Vor- und Nachteilen für Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Lampen und Leuchten. Verschaffen Sie sich zusätzlich Wissen über grundlegende Aspekte aus dem Bereich Lichtmanagement und Beleuchtungsplanung.

Dank an alle Organisationen, Unternehmen und Personen, die zum Gelingen des Leitfadens beigetragen haben.

AUFTRAGGEBER Magistratsabteilung 20 – Energieplanung



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



**Wien!
voraus**

Energieplanung

StadDt+Wien

INHALTSVERZEICHNIS

Vorworte

Mag. ^a Maria Vassilakou	5
Mag. Bernd Vogl	6

Präambel	7
----------------	---

1. Beleuchtungsqualität und Beleuchtungseffizienz – Technische Grundlagen 8

1.1. Qualitativ hochwertige Beleuchtung – eine Frage des Systemdesigns	8
1.2. Beleuchtungsqualität	8
1.2.1. Wahrnehmung von Licht	8
1.2.2. Basisparameter der Beleuchtung: Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke	12
1.2.3. Farbtemperatur und Farbwiedergabe	14
1.2.4. Lampenlebensdauer, Lichtstromerhalt, Schaltfestigkeit	15
1.3. Beleuchtungseffizienz.....	17
1.3.1. Lampen	17
1.3.2. Vorschaltgeräte	17
1.3.3. Leuchten	17
1.4. Gesundheits- und Umweltaspekte	19
1.4.1. Quecksilber	19
1.4.2. UV-Strahlung und elektromagnetische Emissionen	20
1.4.3. Blaulichtgefährdung	20
1.4.4. Weitere Umweltwirkungen – Lichtverschmutzung	21

2. Lampentypen – Qualität, Effizienz, Einsatzbereich 22

2.1. Lampentypen im Überblick	22
2.2. Leuchtstofflampen.....	22
2.2.1. Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz.....	22
2.2.2. Anwendungsbereiche und Kosten.....	25
2.3. Halogenglühlampen	26
2.3.1. Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz.....	26
2.3.2. Anwendungsbereiche und Kosten.....	28
2.4. LED-Lampen.....	28
2.4.1. Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz.....	28
2.4.2. Anwendungsbereiche und Kosten.....	31
2.5. Hochdruckentladungslampen (Halogenmetaldampf lampen)	33
2.5.1. Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz.....	33
2.5.2. Anwendungsbereiche und Kosten.....	34
2.6. Internationale Standards und Labels für Lampen und Vorschaltgeräte.....	35
2.6.1. EU-Mindeststandards und Labels	35
2.6.2. Richtlinien und Standards für die Gestaltung von Beleuchtungssystemen	42
2.6.3. Internationale Qualitäts- und Effizienzstandards für LEDs	42

3. Leuchten 43

3.1. Leuchteneffizienz und Leuchtenqualität	43
3.2. Leuchtenbauformen und Anwendungsbereiche	46

4. Regelung und Steuerung..... 48

4.1. Allgemeines	48
------------------------	----

4.2	Lichtregelung.....	48
4.3	Komponenten.....	49
4.4	Technik und Protokolle.....	49
4.5	Sensoren und richtiger Einsatz.....	50
4.6	Richtige Planung und Herausforderungen beim Betrieb.....	51
4.7	Anwendungsbeispiele.....	52
4.8	Empfehlungen.....	53
5. Grundlagen der Beleuchtungsplanung.....		54
5.1	Einführung.....	54
5.2	Aspekte der Tageslichtnutzung.....	55
5.2.1	Vorteil der Tageslichtnutzung.....	55
5.2.2	Tageslicht-Quotient.....	56
5.2.3	Verschattungsmaßnahmen.....	56
5.3	Rechtliche Grundlagen und Standards.....	58
5.3.1	Neue Aspekte zur ÖNORM EN 12464-1 im Überblick.....	58
5.3.2	Beleuchtung von Arbeitsplätzen.....	58
5.3.3	Beleuchtungsstärken für Wände und Decken.....	60
5.3.4	Blendung und Blendungsbegrenzung.....	60
5.3.5	Bewertungsraster für Beleuchtungsstärke und Helligkeitsverteilung.....	62
5.3.6	Räumliche Beleuchtung.....	63
5.3.7	Wartung der Beleuchtungsanlage.....	64
5.4	Überblick über den Schweizer Minergie-Standard für Beleuchtung.....	67
5.5	Empfehlungen.....	69
5.6	Erhebung des Energieverbrauches und der Beleuchtungsqualität in bestehenden Systemen.....	69
5.6.1	Energieverbrauch.....	69
5.6.2	Beleuchtungsqualität.....	70
5.6.3	Bewertung der Ergebnisse der Erhebung.....	70
6. Energieeffiziente Beleuchtung – Best Practice Beispiele.....		71
6.1	Effiziente Bürobeleuchtung mit LED – Wiener Städtische Versicherung.....	71
6.1.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	71
6.1.2	Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse.....	71
6.1.3	Resümee.....	72
6.2	Modernisierung der Akzentbeleuchtung im Technischen Museum Wien.....	74
6.2.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	74
6.2.2	Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse.....	74
6.2.3	Resümee.....	74
6.3	Neue Beleuchtungsanlage in der Raiffeisenbank Aspang.....	76
6.3.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	76
6.3.2	Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse.....	76
6.3.3	Resümee.....	76
6.4	Neue LED-Beleuchtungsanlage in der Wiener Planungswerkstatt.....	78
6.4.1	Ausgangssituation und Zielsetzung.....	78
6.4.2	Realisierte Maßnahmen.....	78
6.4.3	Resümee.....	78
7. Glossar.....		80
8. Quellen- und Literaturhinweise.....		82

VORWORT MARIA VASSILAKOU

Effiziente Beleuchtung in Wien

Wien setzt seit Langem auf die Verknüpfung von Lebensqualität, Technologie und Umweltschutz und ist daher eine der führenden Umweltmusterstädte weltweit.

Die zukunftsorientierte Gestaltung unserer Energiepolitik ist eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit – im Hinblick auf den Klimaschutz, zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und zur Verringerung der Abhängigkeit von teuren Energieimporten. Es ist unsere Aufgabe, die Wiener Energieversorgung auf nachhaltige und erneuerbare Beine zu stellen. Energieeffizienz im Sinne der Verringerung des Energieverbrauchs ist dafür die Grundlage.

Die Städte tragen eine besondere Verantwortung. Sie sind weltweit für einen Großteil des Energieverbrauchs und rund 75 Prozent der Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Die energie- und klimapolitischen Herausforderungen unserer Zeit können daher am besten in den Städten gelöst werden. Wien will dabei als internationale „Smart City“ eine Vorreiterrolle einnehmen.

Es gibt dafür noch viel zu tun, doch uns stehen schon heute die notwendigen Technologien zur Verfügung. Die Entwicklungen am Beleuchtungsmarkt waren in den letzten Jahren rasant, und wir können heute noch nicht erahnen, welche vielversprechenden Möglichkeiten sich in Zukunft durch neue Innovationen noch eröffnen werden.



Mag.^a Maria Vassilakou



* Mag.^a Maria Vassilakou
Vizebürgermeisterin der
Stadt Wien, amtsfüh-
rende Stadträtin für
Stadtentwicklung,
Verkehr, Klimaschutz,
Energieplanung und
BürgerInnenbeteiligung



* **Mag. Bernd Vogl**
ist seit September
2011 Leiter der
Abteilung für Ener-
gieplanung (MA 20)
und war zuvor über 18
Jahre im Umweltminis-
terium mit dem Thema
Energieplanung und
innovative Energie-
systeme befasst.

VORWORT BERND VOGL

In der Klima- und Energiepolitik kommen große Herausforderungen auf uns zu. Die Abhängigkeit von endlichen fossilen Energien muss reduziert und langfristig gänzlich durch erneuerbare Energieformen ersetzt werden. Der Umstieg auf erneuerbare ist aber nur durch die Optimierung der Energieeffizienz zu bewältigen. Durch gezielte Maßnahmen konnten schon beachtliche Einsparungen erreicht werden. Nichtsdestotrotz muss Wien weiter auf Energieeffizienz setzen, um den Energieverbrauch zu senken und langfristig auf einem nachhaltigen Niveau zu halten.

Die Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union (2009/125/EG) zur Steigerung der Energieeffizienz dient als Antriebsmotor für Innovationen. Gerade im Bereich der Beleuchtungssysteme hat sich in einem relativ kurzen Zeitraum enorm viel verändert. Kaum ist die sogenannte Energiesparlampe auf dem Markt, wird sie auch schon durch neue und effizientere Technologien verdrängt. Besonders deutlich wird die rasante Entwicklung am Beleuchtungsmarkt anhand der LED-Lampen (Licht-emittierende-Dioden). Waren sie anfangs nur zur Signalbeleuchtung im Verkehr von Bedeutung, so sind sie heute in allen Anwendungsbereichen im Einsatz.

Angesichts des Gesamtenergieverbrauchs der Stadt Wien scheint der Umstieg von der herkömmlichen Glühbirne auf energieeffizientere Lampen auf den ersten Blick wie ein Tropfen auf den heißen Stein. Bei genauer Betrachtung stecken jedoch im Bereich der Innenbeleuchtung große Energiesparpotenziale. Grob geschätzt könnte durch den Umstieg aller Wiener Haushalte auf effiziente Technologien, wie LED-Lampen, der Stromverbrauch um circa 470 GWh Strom gesenkt werden. Diese Menge entspricht dem jährlichen Verbrauch aller U-Bahnen und Straßenbahnen Wiens.

Mit dem vorliegenden Technologieleitfaden für Innenbeleuchtung möchten wir aufzeigen welche Energieeinsparungen in diesem Bereich vor allem in Dienstleistungsgebäuden möglich sind. Der Leitfaden soll eine Orientierung bieten, was sich in der letzten Zeit an Entwicklungen bei den verschiedenen Beleuchtungstechnologien getan hat und wie der heutige Stand der Dinge ist.

Als junge Abteilung der Stadt Wien für den Bereich Energieplanung sind wir bestrebt, kontinuierlich die Grundlagen für den Weg in eine nachhaltige Energiezukunft zu schaffen. Wir verstehen uns auch als eine Art Service- und Informationsplattform für BürgerInnen, Betriebe sowie den öffentlichen Sektor und wollen mit dem Leitfaden ProjektplanerInnen und -umsetzerInnen ein Werkzeug zur Erschließung von Energieeffizienzpotentialen anbieten.

Mag. Bernd Vogl

PRÄAMBEL

Energieeffiziente Beleuchtung im Dienstleistungssektor ist nicht zuletzt aufgrund der raschen Technologieentwicklung im Bereich LED und der neuen rechtlichen Rahmenbedingungen auf EU-Ebene ein sehr aktuelles, dynamisches Thema.

Der vorliegende Technologieleitfaden bietet einen Überblick über die wesentlichen heute zur Verfügung stehenden Technologien für Lampen, Leuchten und Betriebsgeräte sowie ihre typischen Kenndaten und Vor- und Nachteile für verschiedene Anwendungsbereiche. Darüber hinaus wird eine Übersicht über die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen für Beleuchtungstechnologien geboten und ein Einstieg in grundlegende Aspekte der Steuer- und Regelungstechnik und der Beleuchtungsplanung.

Der Leitfaden wendet sich an Interessierte und AkteurInnen, die mit den Themen Qualität und Effizienz für Innenbeleuchtung in Dienstleistungsgebäuden befasst sind. Er informiert in kompakter Form über die wichtigsten Aspekte und ist kein Handbuch für die Beleuchtungsplanung.

Der Leitfaden gliedert sich in **6 ABSCHNITTE** mit folgenden Themenschwerpunkten. **ABSCHNITT 1** gibt einen Überblick über allgemeine Grundlagen und Grundbegriffe zur Beleuchtung. Die **ABSCHNITTE 2 UND 3** widmen sich den wesentlichen heute verfügbaren Lampen- und Leuchtentechnologien sowie ihren Vor- und Nachteilen für unterschiedliche Anwendungen. In den **ABSCHNITTEN 4 UND 5** wird schließlich eine Einführung in die Aspekte der Regelungs- und Steuerungstechnik sowie in die Beleuchtungsplanung angeboten. **ABSCHNITT 6** bietet schließlich Praxisbeispiele zu erfolgreich umgesetzten Projekten mit LED-Technologie.

1. BELEUCHTUNGSQUALITÄT UND BELEUCHTUNGSEFFIZIENZ – TECHNISCHE GRUNDLAGEN

1.1. Qualitativ hochwertige Beleuchtung – eine Frage des Systemdesigns

Qualitativ hochwertige und zugleich energieeffiziente Beleuchtung wird insbesondere im Dienstleistungs- und Wohnbausektor 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 gibt 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.

1.2. Beleuchtungsqualität

1.2.1 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.

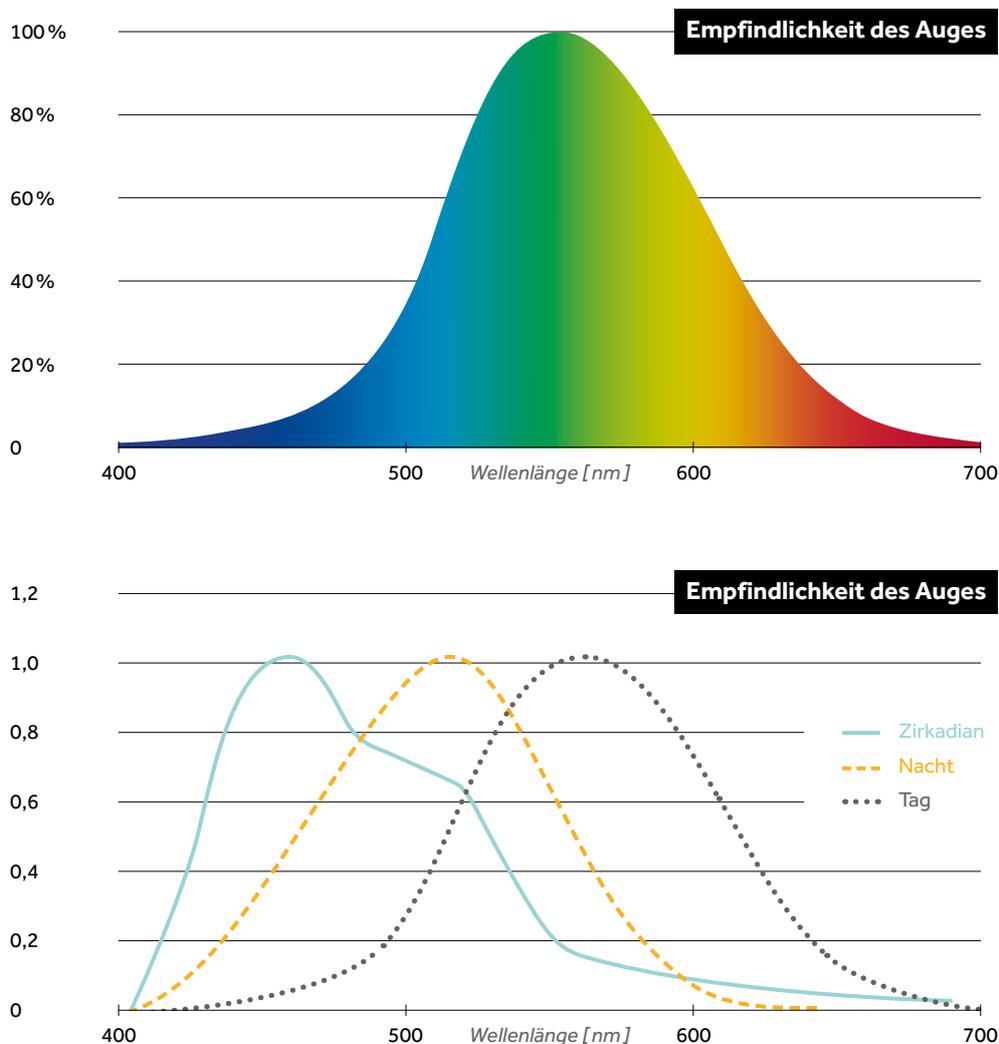


Abb. 1.1 Darstellung der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei Tag und bei Nacht sowie der Empfindlichkeit für tageslichtgesteuerte tagesrhythmische (zirkadiane) Prozesse.

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 auf Basis der LED-Technologie 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.).

ABB. 1.2 zeigt die Abhängigkeit der Aktivierungswirkung von der Lichtfarbe.

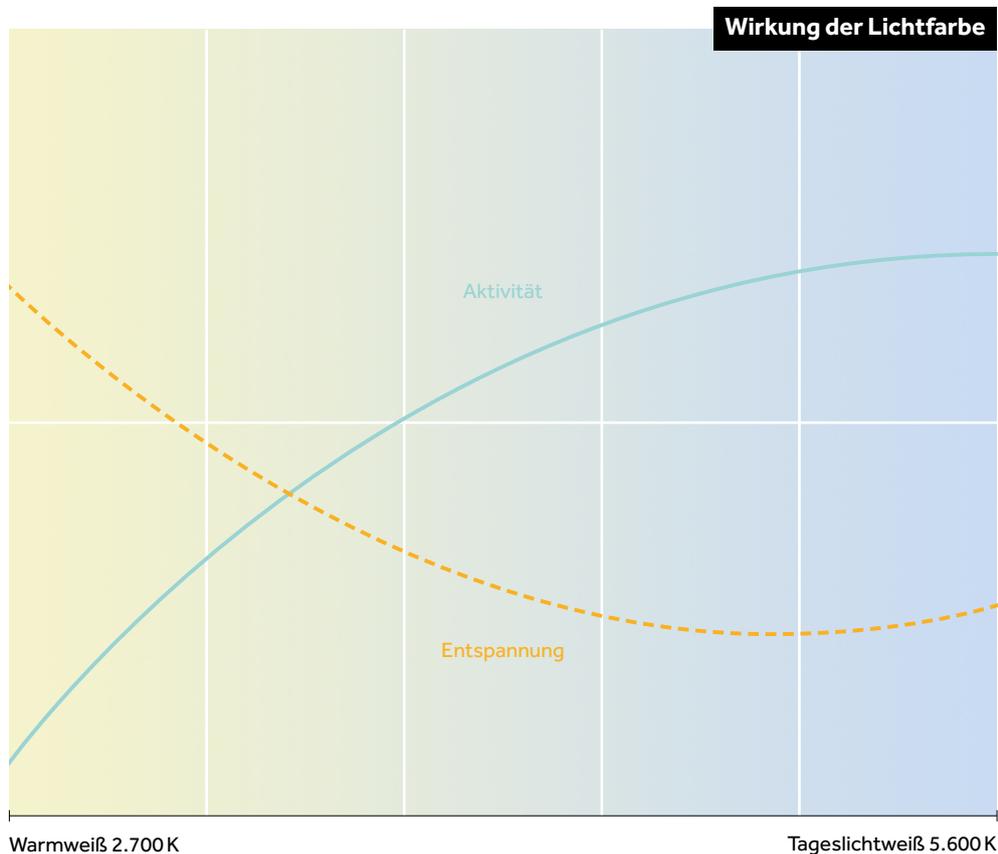


Abb. 1.2 Aktivierende und entspannende Wirkung der Lichtfarbe

Die neue Technologie kann beispielsweise auch in Büros und Krankenhäusern eingesetzt 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. Derzeit sind LED-Systeme mit variabler Lichtfarbe auch noch deutlich weniger energieeffizient als Systeme mit konstantem Warmweiß oder Neutralweiß. 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 erforscht.

Weitere Aspekte dazu finden sich im Abschnitt zum Thema Lichtplanung.

1.2.2 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.

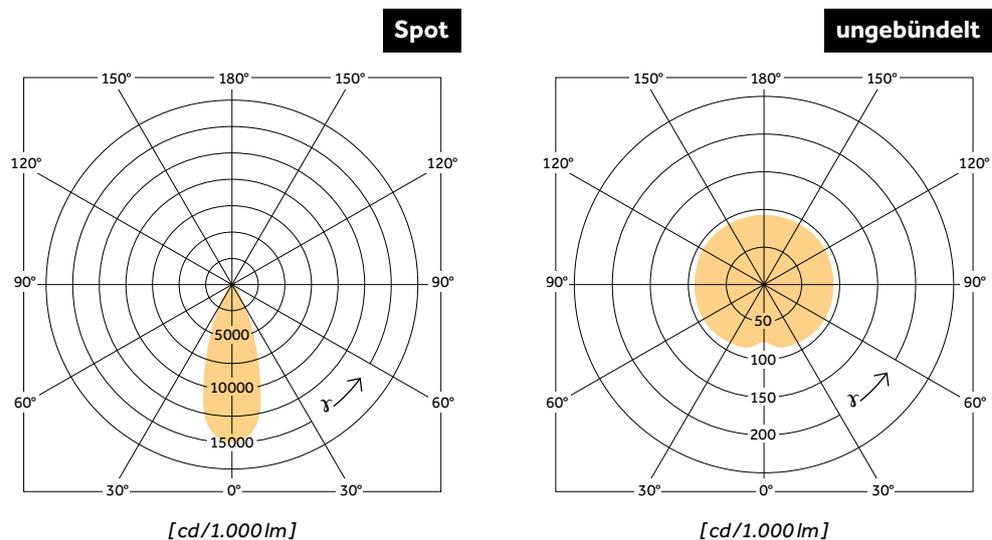


Abb. 1.3 Lichtstärkeverteilungskurven unterschiedlicher Lampentypen
(Spotlampe und Lampe mit ungebündeltem Licht)

LVKs geben für jede Richtung im Raum (sogenannte C-Ebenen) und für jeden Abstrahlwinkel die Lichtstärke einer Lichtquelle an. 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 **ABB. 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/m² 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
 (nach *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, Garderobe	200
Nebenräume	100
Parkhaus	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 Sehschmerz (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, durch Spiegelung von glänzenden Oberflächen.

1.2.3 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.

Der Wolframdraht einer Glühlampe gibt mit 2.700 Kelvin typisches warmweißes Licht ab. So genanntes Tageslichtweiß entspricht rund 5.500 Kelvin (ca. 5.300–6.500 K).

Im professionellen Anwendungsbereich im Büro und Dienstleistungssektor werden häufig neutralweiße Lampen (ca. 4.000 K) eingesetzt.

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 Farbtemperaturen 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.

Bei LED-Lampen wäre es aufgrund der praktischen Relevanz 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 Ecodesign-Kriterien wurde bereits über eine verpflichtende Deklaration und über Mindestwerte diskutiert. Aufgrund der noch beschränkten Datenbasis wurden jedoch noch keine Anforderungen festgelegt.

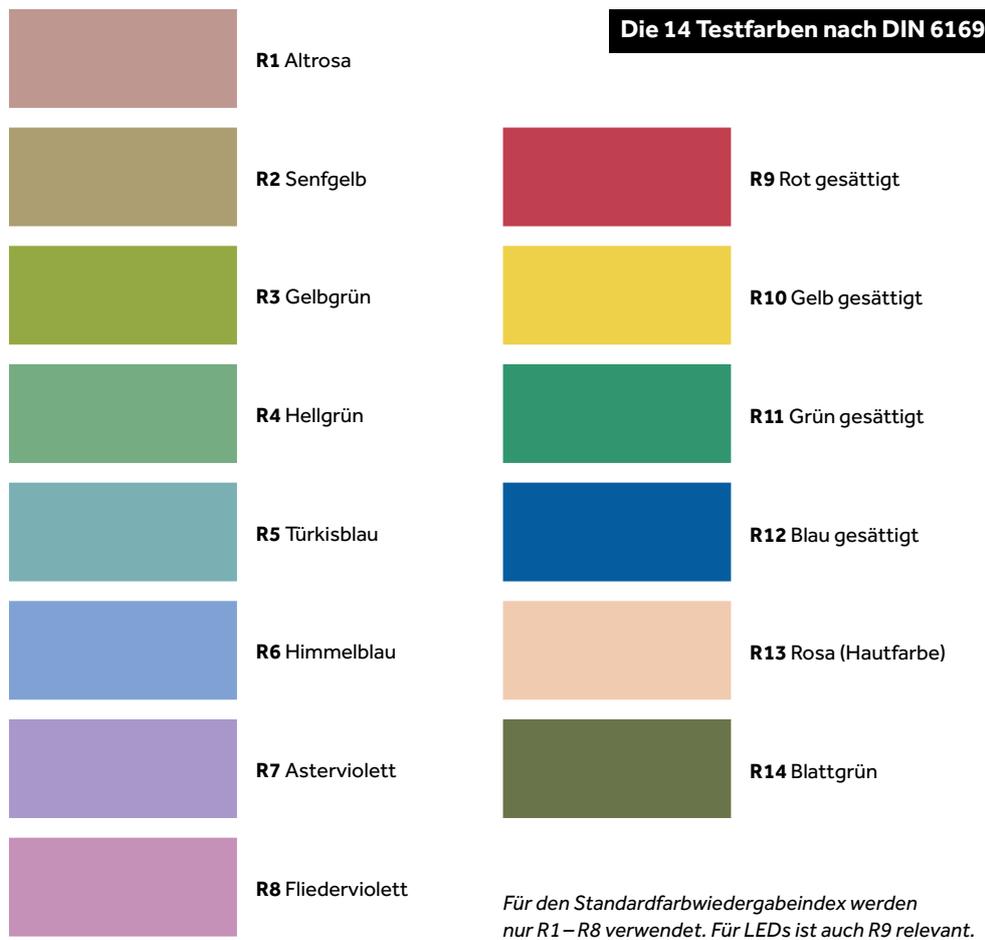


Abb. 1.4 Definierte Farben für den Farbwiedergabeindex

1.2.4 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 Betriebsfähigkeit 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 **ABSCHNITT 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 **ABSCHNITT 3** zusammengestellt.

1.3 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 **ABSCHNITTEN 3** und **4**.

1.3.1 Lampen

Die Energieeffizienz oder sogenannte Lichtausbeute von Lampen wird ausgedrückt durch das Verhältnis von Lichtstrom (Lumen) zur elektrischen Leistungsaufnahme (Watt). Der Lichtstrom wird im Goniophotometer oder in einer Ulbricht-Kugel gemessen. In der Ulbricht-Kugel erfolgt die Messung gesamthaft integral, im Goniophotometer 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 150 lm/W erwartet.

1.3.2 Vorschaltgeräte

Vorschaltgeräte zum Start und zur Strombegrenzung sind für sämtliche Gasentladungslampen 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.

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).

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

1.3.3 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 Lichtstrom 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.

Tab. 1.2 Effizienzklassen für Vorschaltgeräte

Effizienzklasse	Art des Vorschaltgeräts
A1-BAT	Dimmbare elektrische Vorschaltgeräte (EVGs)-best available technology
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 (VVGs)
D	Magnetische Vorschaltgeräte mit sehr hohen Verlusten (VVGs)

1.4 Gesundheits- und Umweltaspekte

Sowohl für Gasentladungslampen (d.h. Leuchtstofflampen und Hochdruckentladungslampen siehe **ABSCHNITT 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 relativ gering und müssen laut RoHS-Richtlinie (Richtlinie 2011/65/EU zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten 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 lichtempfindlich 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.

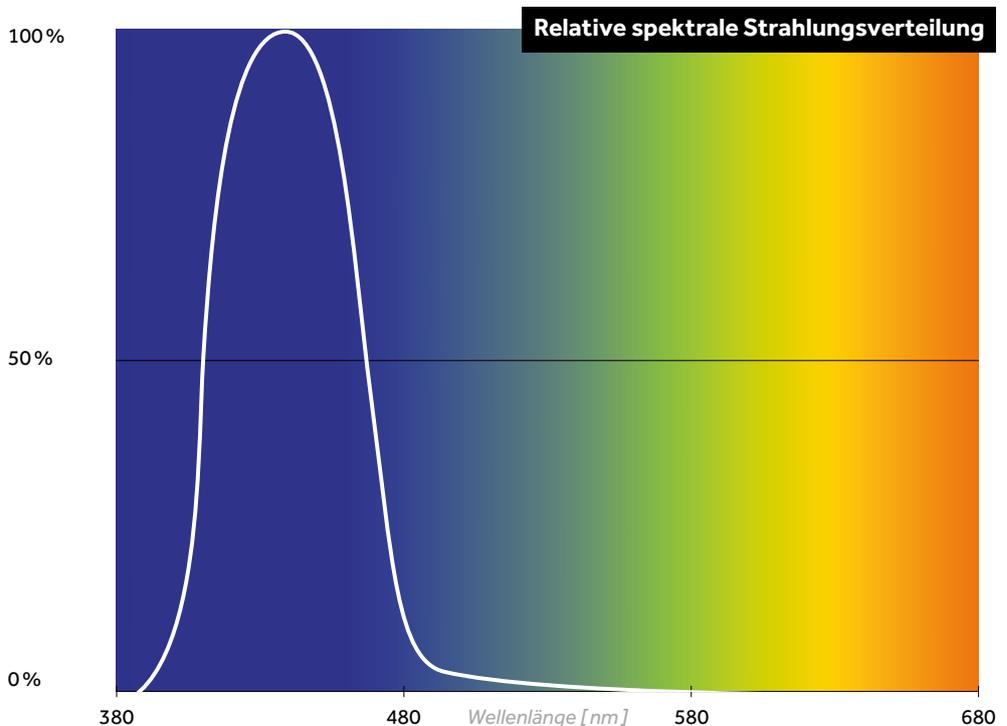


Abb. 1.5 Spektralbereich der Blaulichtgefährdung für das menschliche Auge (nach OSRAM)

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 RG0 oder RG1 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 RG0 oder RG1 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 auch Insekten werden 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 Verwendung von Vorhängen. Vor allem während der Zugzeiten im Frühjahr und im Herbst (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.

2. LAMPENTYPEN – QUALITÄT, EFFIZIENZ, EINSATZBEREICH

2.1 Lampentypen im Überblick

Im Dienstleistungssektor wird heute eine breite Palette unterschiedlicher Lampentechnologien und Lampentypen eingesetzt, die unterschiedliche Vorzüge für verschiedene Anwendungsbereiche aufweisen. Dazu zählen insbesondere:

Entladungslampen

- ◆ Niederdruckentladungslampen (Kompaktleuchtstofflampen und Leuchtstoffröhren)
- ◆ Hochdruckentladungslampen (Halogen-Metaldampflampen)

Glühlampen

- ◆ Standard-Glühlampen (Restbestände, seit 2012 in der EU nicht mehr zum Verkauf zugelassen)
- ◆ Halogenglühlampen (Hochvolt- und Niedervoltlampen)

LED-Lampen

- ◆ Retrofit-Lampen
- ◆ LED-Lampen für spezielle LED-Leuchten

Die wichtigsten Eigenschaften, Vorteile und Nachteile der verschiedenen Technologien werden im folgenden Abschnitt erläutert.

2.2 Leuchtstofflampen

2.2.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

Technologisches Prinzip und typische Bauformen

Leuchtstofflampen sind das Standardleuchtmittel in vielen Zweckbauten (Dienstleistungssektor, 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 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 Leuchtstoffbeschichtung 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 Effizianzorderungen der EU. Elektronische Vorschaltgeräte sind effizienter, unterbinden dank Taktung mit höherer Frequenz Flimmern und erlauben einen höheren Lichtkomfort.

Tab. 2.1 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)	
	Typischer Bereich	Typ. Bereich	Typ. Bereich	Typ. Bereich
Design & Sockeltypen	Stab, Spiral, Retro; E27, E14	Stab	T8(G13)	T5(G5)
Farbtemperatur (K)	2.500–6.500	2.700–6.500	2.700–8.000	2.700–8.000
Farbwiedergabe (Ra)	80–90	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	–	–	–

Fotos: © Philips Austria

Vorteile der Leuchtstofflampentechnologie

- Hohe Energieeffizienz
- Hohe Lebensdauer
- Gutes Effizienz / Kostenverhältnis

Nachteile der Leuchtstofflampentechnologie

- Nur diffuses Licht
- Quecksilbergehalt
- Start- und Aufwärmzeit

Empfehlungen

- Kompaktleuchtstofflampen mit EVG (mittlere bis oberer Lichtleistung): Energieeffizienz >55 lm/W, Lebensdauer >12.000 h; 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 (>500.000 Zyklen)
- Kompaktleuchtstofflampen ohne EVG: Energieeffizienz >70 lm/W, mittlere Lebensdauer >15.000 h (EVG)
- T8-Röhren: Energieeffizienz >85 lm/W, mittlere Lebensdauer >20.000 h (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 zumeist wesentlicher Lichtstromreduktion
- T5-Röhren: Energieeffizienz >95 lm/W, mittlere Lebensdauer >20.000 h (EVG)

M = mittlere Lebensdauer, N* = Nutzlebensdauer

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 Deluxe-Lampen angeboten, die einen Ra > 90 erreichen.

Entgegen häufig anzutreffenden Vorurteilen werden Leuchtstofflampen nicht nur in 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.

Ein gewisser Nachteil der Technologie besteht darin, dass kein brillantes Licht, sondern nur diffuses Licht erzeugt werden kann. Daher eignet sich die Technologie 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 Lampenwechsel 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 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.

2.2.2 Anwendungsbereiche und Kosten

2.2.2.1 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.

2.2.2.2 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, sodass 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 LED-Produkten für die meisten Anwendungen derzeit noch konkurrenzlos. Auch LED-Röhren rechnen sich im Vergleich zu neuen langlebigen Leuchtstoffröhren derzeit nicht und weisen darüber hinaus 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.

2.3 Halogenglühlampen

2.3.1 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.

Tab. 2.2 Halogenglühlampen: wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick
(beispielhafte Produktbilder: mit freundlicher Genehmigung von Philips)



Bauform	Halogen-Retrofitlampen	Halogen-Spotlampen	Halogen-Stäbe
Design & Sockeltypen	Birne, Kerze; E27, E14	HV GU10; Niedervolt GU5.3 (NV)	R7s
	Typischer Bereich	Typischer Bereich	Typischer Bereich
Farbtemperatur (K)	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
Lichtstrom (lm)	250–2.800	–	750–10.800
Energieeffizienz (lm/W)	10–20	13–16 (bis 25 bei IR-Lampen)	15–22
Schaltzyklen (n)	5.000–50.000	50.000	1.000.000

Fotos: © Philips Austria

Vorteile der Halogenglühlampentechnologie	Nachteile der Halogenglühlampentechnologie
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Brillantes Licht ▶ Exzellente Farbwiedergabe 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Niedrige Energieeffizienz ▶ Kurze Lebensdauer

Empfehlungen

- ▶ Generell: Einsatz nur dort, wo brillantes Licht mit sehr hoher Farbwiedergabe erforderlich ist, bei mäßigen Betriebsdauern
- ▶ Spotlampen: Verwendung von IR-Niedervoltlampen für Spot-Anwendungen oder Austausch gegen LED-Spots: Vollwertiger Ersatz für 20–50W Spots verfügbar
- ▶ R7s-Lampen: Vermeidung von Deckenflutern mit R7s-Lampen mit hohen Wattagen
- ▶ Professionelle Spotlampen & Strahler: Ersatz durch Halogenmetaldampflampen oder LED

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

Halogenglühlampen weisen ähnliche Vorteile und Nachteile auf wie klassische Glühlampen. Halogenglühlampen 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 Halogenglühlampen daher ungeeignet.

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

Energieeffizienz

Auf der Negativseite steht insbesondere die niedrige Energieeffizienz der Technologie. Halogen-glühlampen 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 zurückreflektiert 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.

Aufgrund der geringen Energieeffizienz wird derzeit auf EU-Ebene über einen weitgehenden Ausstieg aus der Halogenlampentechnologie verhandelt. Gemäß ursprünglicher Planung sollten ab 2016 sämtliche Hochvolt- und Niedervolthalogenlampen (ausgen. Lampen mit R7s und G9 Sockel), die nicht mindestens Effizienzklasse B entsprechen, vom Markt genommen werden. Damit würden nur noch effizientere Niedervoltlampen mit infrarotreflektierender Beschichtung am Markt verbleiben. Derzeit wird allerdings über eine Kompromisslösung diskutiert, die vorsieht, dass die betroffenen Lampentypen noch mind. bis 2018 am Markt verbleiben. In diesem Zeitraum würde sich Produktangebot und Preisniveau der LED-Technologie noch weiter verbessern.

2.3.2 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 m² 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.

2.4 LED-Lampen

2.4.1 Technologie, Qualitätsaspekte, Effizienz

Technologisches Prinzip und typische Bauformen

LED-Lampen werden heute bereits in einer Vielzahl unterschiedlicher Bauformen angeboten. Es stehen unterschiedlichste Retrofit-Designs sowie 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 folgender Abschnitt)

Dieser Abschnitt ist überwiegend der Produktgruppe der Retrofitlampen gewidmet. In Leuchten fix integrierte LEDs werden in **ABSCHNITT 3** (Leuchten) behandelt.

Leuchtdioden sind hinsichtlich ihres Funktionsprinzips 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.

Für Beleuchtung werden zumeist blaue LEDs verwendet, die in Kombination 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 von 70 bis 90. Die seit September 2013 gültige Ecodesign-Verordnung sieht für neue Produkte für Innenbeleuchtung einen verpflichtenden Mindestwert von Ra=80 vor.

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 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 sind auch mehrere Hunderttausend Schaltungen kein Problem. Allerdings kann eine nicht entsprechend ausgeführte Elektronik 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 Glühbirnen 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.

Tab. 2.3 LED-Lampen: wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick
(beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)



Fotos: © Philips Austria

Bauform	Standard-Retrofit	Spot-Retrofit	Röhren-Retrofit
Design & Sockeltypen	Birne, Kerze; E27, E14	Hochvolt GU10; Niedervolt GU5.3 (NV*)	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	80–90	80–90
Lebensdauer (h)	10.000–30.000	15.000–40.000	30.000–50.000
Lichtstrom (lm)	100–1.520	100–450	800–3.500
Energieeffizienz (lm/W)	45–90	35–70	90–110
Schaltzyklen (n)	15.000–50.000	15.000–50.000	–

Vorteile der LED-Lampentechnologie	Nachteile der LED-Lampentechnologie
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hohe Energieeffizienz ➤ Kein Quecksilber ➤ Keine Aufwärmzeit ➤ Große Auswahl an dimmbaren Lampen, kein Effizienzverlust bei Dimmung ➤ Lange Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Derzeit noch hoher Preis ➤ Für klassisches Röhrendesign nur teilweise geeignet ➤ Hohe Effizienz und lange Lebensdauer nur bei guter Wärmeabfuhr

Empfehlungen
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Retrofit Birne/Kerze (E27,E14): Energieeffizienz >60lm/W, Lebensdauer >25.000h, Schaltzyklen >25.000, Ra>80 ➤ Retrofit Spot (GU10, GU5.3): Energieeffizienz >50lm/W, Lebensdauer >25.000h, Schaltzyklen >25.000, Ra >80 ➤ Integrierte Downlights und Strahler: Idealer Ersatz für Halogenleuchten sowie zum Teil für Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen. Leuchtenbetriebswirkungsgrad von mindestens 60 fordern. ➤ LED-Röhren: Ersatz von T8-Fluoreszenzröhren durch LED-Röhren ist nur für T8-Lampen mit KVGs und austauschbarem Starter empfehlenswert (für Korridore, Verkehrsflächen, Lager etc.)

Energieeffizienz

Die heute besten LED-Kompaktlampen sind bereits effizienter als Kompaktleuchtstofflampen und erreichen die Effizienzklasse A+. In der Praxis werden bei Spotlampen und Kompaktlampen 70–90lm/W erreicht, bei professionellen Downlights (zumeist zylindrische Deckenleuchte mit nach unten fokussiertem Lichtstrahl) ca. 100lm/W und bei LED-Tubes bis zu 110lm/W (Angabe ohne Vorschaltgerät). In den kommenden Jahren ist mit einer weiteren Steigerung der Effizienz auf über 140lm/W zu rechnen, d.h. deutlich über das aktuelle Effizienzniveau der Leuchtstofflampen hinaus.

Gute Spotlampen weisen abhängig vom Lichtstrom eine Effizienz von mindestens ca. 50 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 Leuchtendesigns aufgrund kompakter Bauweise
- ◆ Brillantes Licht aufgrund der punktförmigen Lichtquelle und damit idealer Ersatz für Halogenleuchtstofflampen.
- ◆ 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.
- ◆ Hohe Effizienz bei niedrigen Temperaturen.
- ◆ Möglichkeit zur Erzeugung der gewünschten Lichtfarbe über Farbmodulation mit professionellen LED-Strahlern.

2.4.2 Anwendungsbereiche und Kosten

Retrofitkompaktlampen und Spots

LED-Retrofitlampen stehen heute als Ersatz für klassische Halogenleuchtstofflampen oder auch Kompaktleuchtstofflampen zur Verfügung und werden in allen gängigen Designs (Birne, Kerze, Spot) angeboten. Mittlerweile sind auch bereits Retrofitlampen mit einem Lichtstrom entsprechend einer 100-W-Glühlampe verfügbar.

Die Konkurrenzfähigkeit mit Leuchtstofflampen ist vorübergehend noch durch den hohen Einkaufspreis eingeschränkt. Hinsichtlich Energieeffizienz vergrößern sich die Vorteile von LED zusehends. Beste LEDs sind etwa um 10–30 % 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 vielfach als Ersatz für T8-Fluoreszenzröhren angepriesen.

Ein solcher Austausch lohnt sich heute nur für passende Anwendungen. Im Weiteren können bei Eingriffen in die Leuchte Probleme hinsichtlich Gewährleistung auftreten.

Deutliche Energie- und Kosteneinsparungen lassen sich nur beim Ersatz von T8-Lampen an konventionellen Vorschaltgeräten erzielen. Dort sind jedoch Einsparungen von 50% oder mehr möglich. Ein Austausch bei elektronischen Vorschaltgeräten lohnt sich in der Regel nicht und erfordert auch Eingriffe in die Leuchte.

Für LED-Röhren (im Gegensatz zu LED-Retrofitkompaktlampen) besteht 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. Es empfiehlt sich daher beim Kauf verstärkt auf Markenware zu achten.

Retrofit-Austausch-Röhren werden in bestehende Leuchten eingebaut, 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). Standard-LED-Röhren erfüllen nicht die Anforderungen sämtlicher Beleuchtungsanwendungen und wurden in der Vergangenheit nur für einfache Beleuchtungszwecke wie beispielsweise Lagerräume, Garagen oder Korridore empfohlen. Neueste Spezialröhren einschlägiger Anbieter werden allerdings auch für Büroräume als geeignet erklärt. Für LEDs ist des Weiteren eine ausgezeichnete Wärmeabfuhr erforderlich, da der Wirkungsgrad der Lampen wie auch die Lebensdauer bei höheren Temperaturen deutlich abnimmt.

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. Der Einsatz von LED-Retrofitröhren in Leuchten mit KVG und austauschbarem Starter ist daher technisch unproblematisch und bedarf keiner Eingriffe in die Leuchte. Bei Leuchten mit EVGs bzw. Lösungen, die einen Eingriff in die Leuchte erfordern, ist die Situation weniger günstig und ein Lampentausch nicht unbedingt empfehlenswert.

Ein wesentlicher Punkt ist, dass bei einem Eingriff in die Leuchte durch die Umrüstung alle Prüfzeichen des Herstellers erlöschen und der für den Umbau verantwortliche 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 T8-Leuchtstoffröhren durch LED-Röhren in bestehenden Leuchten nur unter folgenden Bedingungen empfohlen werden:

- ◆ Es werden ineffiziente T8-Röhren an KVGs ersetzt.
- ◆ Es handelt sich um eine einfache Beleuchtungsanwendung mit relativ geringen Qualitätsansprüchen (Lager, Garagen, Korridore, Verkehrsflächen etc.).
- ◆ Für Anwendungen für Beleuchtungszwecke mit höheren Qualitätsansprüchen sollten nur Lampenmodelle in Betracht gezogen werden, die für diesen Einsatzzweck ausdrücklich spezifiziert sind.

Professionelle Strahler und Spots

Professionelle LED-Spotlampen oder Strahler sind der Produktgruppe Leuchten mit integrierten LEDs zuzurechnen und werden daher in **ABSCHNITT 3** 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 unterschiedliche 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. Die variable Lichtfarbe wird zunehmend auch verwendet, um unterschiedliche Lichtqualitäten in Räumen zu erzeugen, die unterschiedliche physiologische Wirkung haben (siehe **ABSCHNITT 1**).

2.5 Hochdruckentladungslampen (Halogenmetaldampflampen)

2.5.1 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.

Halogenmetaldampflampen 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.

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

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

Lichtfarbe und Farbwiedergabe

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

Tab. 2.5 Halogenmetaldampflampen: wichtigste Bauformen, Eigenschaften und Empfehlungen im Überblick (beispielhafte Produktbilder mit freundlicher Genehmigung von Philips)



Fotos: © Philips Austria

Bauform	Halogenmetaldampf-Kompaktlampe und Standardlampe	Halogenmetaldampf-Reflektorlampe
Design & Sockettypen	G8.5, G12, etc.	GX8.5
	Typischer Bereich	Typischer Bereich
Farbtemperatur (K)	3.000–4.000	3.000–4.000
Farbwiedergabe (Ra)	90	90
Lebensdauer (h)	12.000–30.000	12.000–15.000
Lichtstrom (lm)	4.000–25.000	–
Energieeffizienz (lm/W)	90–115	–
Schaltzyklen (n)	–	–

Vorteile der Halogenmetaldampftechnologie	Nachteile der Halogenmetaldampftechnologie
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Brillantes Licht ➤ Ideal für viele Anwendungen, wo hoher Lichtstrom, hohe Brenndauer sowie gute Lichtqualität und Farbwiedergabe erforderlich sind: Hallen, Shops, Ausstellungen, Entertainment etc. ➤ Hohe Energieeffizienz ➤ Lange Lebensdauer 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hohe Abwärme ➤ Quecksilbergehalt ➤ UV-Licht ➤ Lange Startzeit

Empfehlungen
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prüfung der Option von LED-Strahlern in der Akzentbeleuchtung – Vorteile der LEDs gegenüber Halogenmetaldampflampen: kein Quecksilber, kein UV, kurze Startzeit, geringe Wärme im Lichtstrom.

2.5.2 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.

2.6 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, Vorschaltgeräte und Leuchten.

Auf entsprechende Normen und Standards für das Design von Beleuchtungssystemen wird in **ABSCHNITT 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).

2.6.1 EU-Mindeststandards und Labels

Im Rahmen der EU-Rahmengesetzgebung für Ecodesign und Produktlabeling 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 Labeling 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.

2.6.1.1 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-Quecksilberhochdruckdampf lampen, Natriumhochdruckdampf lampen und Halogenmetall dampf lampen.

Für Innenbeleuchtung sind ausschließlich die Regelungen für Leuchtstofflampen und für Halogenmetall dampf lampen 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/W.

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

Ab 2015 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 den 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 Lampen, 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.

Tab. 2.6 Informationsanforderungen für Lampen, Vorschaltgeräte und Leuchten gemäß Ecodesign-Verordnung (EC 2009a)

Lampen
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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, 20.000 h ➤ Quecksilbergehalt der Lampen in X,X mg ➤ Farbwiedergabeindex (Ra) der Lampe ➤ Farbtemperatur der Lampe ➤ Umgebungstemperatur für maximalen Lichtstrom
Vorschaltgeräte
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energieeffizienzindex (EEI)
Leuchten
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 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

Tab. 2.7 Benchmarks für sehr gute Halogenmetaldampflampen gemäß Ecodesign-Verordnung (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 (h)	12.000	–
Lampenlichtstromerhalt	> 0.80	–
Lampenüberlebensfaktor	> 0.80	–

2.6.1.2 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 Stand-by verbrauchen. Bei Vorschaltgeräten für 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.

2.6.1.3 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 2.000 lm folgende Informationsanforderungen für die Hersteller:

- ◆ Angabe der Lampeneffizienz und der 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 Hoch- und Niederdruckgasentladungslampen ohne integriertes Vorschaltgerät sowie zu Vorschaltgeräten und Leuchten sind in **TABELLE 2.8** zusammengefasst.

Tab. 2.8 Zusammenfassung der Ecodesign-Kriterien für Niederdruck- und Hochdruckentladungslampen ohne Vorschaltgerät sowie Vorschaltgeräte und Leuchten (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	–
Leuchten	Für Leuchten > 2.000 lm müssen die technischen Informationen auf Webseiten und in technischen Unterlagen bereitgestellt werden	–	
Umsetzungsstufe 2 (2012)	Lampen	Verbot von Halophosphatlampen T4 stabförmig, T10, T12	Effizienzanforderungen an Natriumdampfhochdrucklampen und Halogenmetaldampflampen
	Vorschaltgeräte	Stand-by-Verluste < 0,5W	mindestens EEI A3
	Leuchten	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3. Stufe kompatibel sein	Für Leuchten > 2.000 lm: technische Informationen auf Webseiten und in technischen Unterlagen
Umsetzungsstufe 3 (2015)	Lampen	–	Quecksilberdampfhochdrucklampen sowie Natriumdampfhochdrucklampen, 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 Halogenmetaldampflampen
	Vorschaltgeräte	Nicht dimmbar: mindestens EEI A2 oder A2-BAT	mindestens EEI A2
		Dimmbar: mindestens EEI A1-BAT	–
Leuchten	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3. Stufe kompatibel sein	Leuchten müssen mit Vorschaltgeräten der 3. Stufe kompatibel sein	

2.6.1.4 Mindestkriterien und Label für Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem Vorschaltgerät, Halogenglühlampen und 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 Halogenglühlampen, Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen zur Verfügung. Für diese Lampentechnologien wurden ebenfalls Mindestkriterien zur Energieeffizienz definiert, um ineffiziente Produkte sukzessive aus dem Markt zu verdrängen. Halogenglühlampen müssen derzeit mindestens Effizienzklasse C erfüllen (siehe **TABELLE 2.11**).

Gemäß ursprünglicher Planung sollten ab 2016 sämtliche Hochvolt- und Niedervolthalogenglühlampen, die nicht mindestens Effizienzklasse B entsprechen, vom Markt genommen werden (ausgenommen spezielle Bauformen mit R7s und G9 Sockel). Damit würden nur noch effizientere Niedervoltlampen mit infrarotreflektierender Beschichtung am Markt verbleiben. Derzeit wird allerdings über eine Kompromisslösung diskutiert, die vorsieht, dass die betroffenen Lampentypen noch mindestens bis 2018 am Markt verbleiben. In diesem Zeitraum würde sich Produktangebot und Preisniveau der LED-Technologie noch weiter verbessern.

Im Gegenzug dazu wird ein früherer Phase-out der von R7S (Halogenstäbe) und G9-Lampen in Erwägung gezogen.

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 entsprechen, ab einer Lebensdauer von 30.000 h jedoch mindestens 15.000 betragen.

Tab. 2.9 Mindestqualitätskriterien für LED-Lampen (EC 2012b)

Kriterium	
Lampenlebensdauerfaktor nach 6.000 h	≥ 90 (ab September 2014)
Lichtstromerhalt nach 6.000 h	≥ 80 (ab September 2014)
Anzahl Schaltzyklen bis zum Ausfall	≥ 15.000 wenn Lebensdauer ≥ 30.000 h, ansonsten halbe Lebensdauer in Stunden
Startzeit	< 0,5 s
Anlaufzeit bis 95 % ϕ	< 2 s
Vorzeitiger Lampenausfall	≤ 5,0 % at 100 h
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+.

Tab. 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)** errechnet sich aus dem Verhältnis der Nennleistung der Lampe oder der 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 Halogenglühlampen 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 1.000 h angegeben ist.

Die Labelverordnung definiert auch ein Label für Leuchten (**ABBILDUNG 2.2**), das über die Kompatibilität der Leuchten mit Lampen unterschiedlicher Effizienzklassen informiert. Das Label gibt im weiteren Auskunft über die Effizienz und Austauschbarkeit beigefügter Lampen.

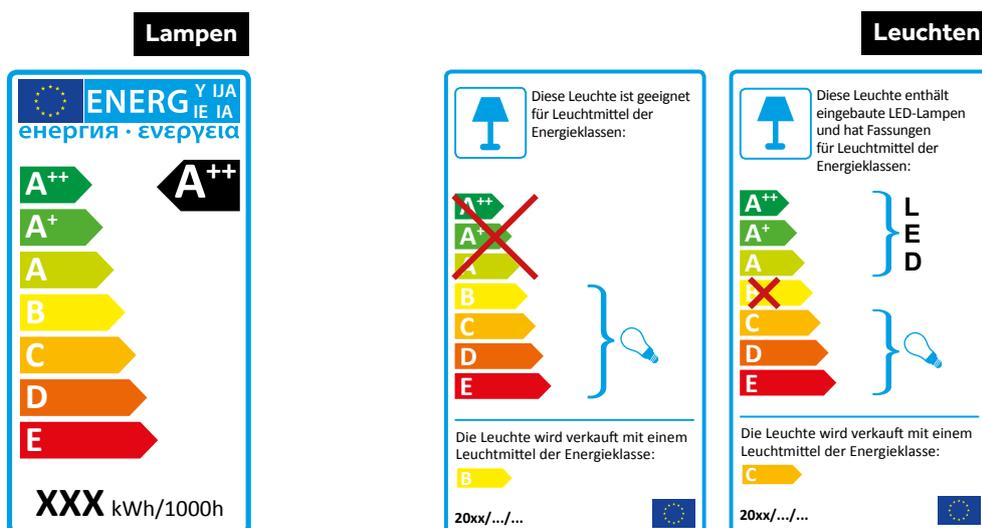


Abb. 2.1 und Abb. 2.2 Neues Label für Lampen und Leuchten

2.6.2 Richtlinien und Standards für die Gestaltung von Beleuchtungssystemen

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.

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 **ABSCHNITT 5**.

2.6.3 Internationale Qualitäts- und Effizienzstandards für LEDs

Spezifische internationale Qualitätsstandards für LEDs wurden im Rahmen einer sogenannten LED-Qualitätscharter entwickelt. Die Charter gibt Empfehlungen zu Qualitäts- und Effizienzanforderungen, die für Produkte 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.

Tab. 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-Wert) 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
Lichtstromerhalt	L70F50	> 15.000 h	–	–	–
	L85F05	> 1.000 h	–	–	–
Startzeit	–	0,5 s	–	–	–
Anlaufzeit 0,95	–	2 s	–	–	–
Farbwiedergabe	–	> 80	–	–	–
Blaulichtgefährdung	–	RG0/RG1	–	–	–
Leistungsfaktor	–	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 **ABSCHNITT 1** erläutert – die Kenngrößen Leuchtenbetriebswirkungsgrad (Verhältnis des Lichtstroms von Leuchte+Lampe zum Lichtstrom der Lampe, auch als LOR oder Light Output Ratio bezeichnet) und die Gesamtenergieeffizienz des Systems Lampe-Vorschaltgerät-Leuchte, der Leuchteneffizienzfaktor (LEF in lm/W) verwendet. Letzterer ist definiert als Quotient des Gesamtlichtstroms und der Systemleistung einer Leuchte.

Der Betriebswirkungsgrad berücksichtigt, dass Leuchtstofflampen und LEDs je nach Erwärmung bzw. Betriebstemperatur in der Leuchte unterschiedliche Lichtmengen abgeben. LOR-Werte sind 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 für die Energieeffizienz von Leuchten keine international verbindlichen Anforderungen. Im Rahmen des EU-Ecodesign-Prozesses wurden bereits Konzepte für eine Effizienz-Bewertung diskutiert, jedoch bislang nicht umgesetzt.

Tab. 3.1 Maximale Betriebswirkungsgrade (LOR) in Prozent für Leuchten-Lampen-Kombinationen
(nach Gasser & Tschudy 2012)

Entladungslampen	Hochdruckdampf lampen	Kompaktleuchtstofflampe	LED	Leuchtstoffröhre
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 von Leuchten und zur Vergabe von Zertifikaten für energieeffiziente Leuchten entwickelt. Die neuen Kriterien des Programms sind ab Januar 2014 in Kraft und werden in der Folge jährlich aktualisiert. Beurteilt wird dabei das Gesamtsystem aus Leuchte, Vorschaltgerät und Leuchtmittel mittels Leuchten-Effizienz-Faktor (SAFE 2013). Die Minergie-Anforderungen werden für verschiedene Leuchtenkategorien definiert. Das Berechnungskonzept basiert dabei auf dem Energieeffizienzindex gemäß EU-Verordnung (874/2012/EC), verwendet jedoch den Gesamtlichtstrom anstatt des Nutzlichtstroms. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird anstatt des Begriffes Energieeffizienzindex der EU-Richtlinie der Begriff Leuchtenkorrekturfaktor verwendet.

Im Gegensatz zur ursprünglichen Version des Minergie-Bewertungskonzeptes wurden die Kriterien für die aktuelle Version vereinfacht und gelten nunmehr einheitlich für sämtliche Leuchtmitteltechnologien (TABELLE 3.2). Für Leuchten unter 1.300 lm gilt ein einheitlicher, für Leuchten über 1.300 lm ein variabler Korrekturfaktor. Die Anforderungen werden jährlich den technologischen Entwicklungen angepasst.

Neben der Energieeffizienz werden für die Zertifizierung weitere Anforderungen hinsichtlich Effizienz und Produktqualität gestellt. Bezüglich Stand-by-Leistungsaufnahme müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- ◆ Ungeregelt und nicht dimmbare Leuchten: 0 Watt
- ◆ Leuchten mit dimmbaren Vorschaltgeräten: 0,5 Watt
- ◆ Stehleuchten und Leuchten mit integrierter Tageslicht- oder Präsenz-Regulierung: 0,5 Watt

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.

Im Weiteren ist die Einhaltung folgender Kriterien gefordert:

- ◆ Farbwiedergabeindex von mindestens Ra=80 (Ra=70 für Industrieleuchten)
- ◆ Lebensdauer (L50F70-Wert nach IEC 62717 bzw. IEC 62722-2-1) mindestens 30.000 Stunden
- ◆ Bei einer LED-Leuchte mit variablen Farbtemperaturen wird diejenige mit der tiefsten Energieeffizienz angegeben. Die angegebenen Werte zur Energieeffizienz beziehen sich auf diese Farbtemperatur.

Tab. 3.2 Effizienzbewertung und Effizienzanforderungen für Leuchten im Minergie-Programm der Schweiz (SAFE 2013)

Leuchtenkategorie	Leuchtenkorrekturfaktor (fL)	Anforderung an die Lichtausbeute (≥1.300 lm) (lm/W)
Stehleuchte	5,1387	70
Pendelleuchte	4,7717	65
Deckenanbauleuchte	4,4046	60
Deckeneinbauleuchte		
Downlight		
Nassraumleuchte		
Strahler	4,0376	55
Tischleuchte		
Wallwasher		
Wandleuchte		

Neben der Energieeffizienz spielt bei Leuchten eine Reihe weiterer Qualitätskriterien eine wesentliche Rolle. Dazu zählen im Weiteren Aspekte wie:

- ◆ 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 im Weiteren 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

Daten aus dem Schweizer Minergie-Programm zeigen unter anderem welche Kombinationen von Lampentechnologie und Leuchtenbauform sehr effizient sind. Folgende Kombinationen sind unter anderem empfehlenswert:

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

Für die Wahl geeigneter Leuchten ist insbesondere auch die Berücksichtigung der gewünschten Lichtverteilung relevant. Im Folgenden werden die wichtigsten Leuchtentypen kurz charakterisiert. Im Beiblatt werden energieeffiziente Beispiele aus dem Schweizer Minergie-Programm dargestellt.

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.

Deckenanbauleuchten

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 Effizienzgewinne mit einer Amortisationszeit von nur 2 Jahren erreicht werden (siehe Beispiel in **ABSCHNITT 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 Metaldampflampen 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 direkt-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.

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

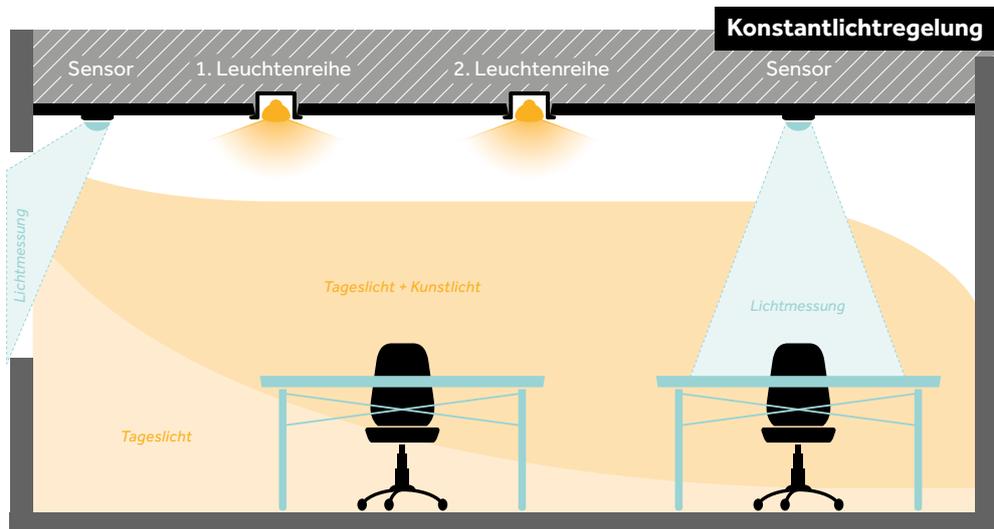


Abb. 4.1 Schema einer Konstantlichtregelung (nach licht.de, 2013)

Beispiel Konstantlichtregelung

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

In Räumen, in die durch Fenster oder Oberlichten 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.

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

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

In der Lichttechnik gehört DALI zu den am weitest 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 „Inselssystem“ 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 gemanaged 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.

Fotodiode 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. T5-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 mit integrierter 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 Stand-by-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 Licht-output eine überproportionale Leistungsaufnahme auf. Dem könnte dadurch entgegengewirkt werden, dass Dimmwerte der Beleuchtung unter 20% vermieden und die Leuchten für diese Betriebsweise auf Stand-by 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/m² (Leuchtstofflampen) auf 2,6 W/m² (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/m² auf 3,6 kWh/m², 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 Einsparpotenziale. 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 herstellernerneutrale Dokumentationen von Best-practice-Beispielen sollten umfassend berücksichtigt werden.
- ◆ Passiv-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 gesteuert werden.
- ◆ Eine starke Dimmung von Leuchtstoffröhren sollte vermieden werden. In diesem Betriebsmodus haben Leuchtstoffröhren einen überverhältnismäßigen Energieverbrauch bezogen auf ihren Licht-output. 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 lx 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:

- ◆ Energiebedarf, der zur Erfüllung der Beleuchtungsanforderung im Gebäude notwendig ist.
- ◆ Energiebedarf für den Stand-by-Betrieb, der das Aufladen von Akkumulatoren für die Notbeleuchtungen (1 kWh/m² und Jahr) sowie den Stand-by-Modus für Notbeleuchtungsvorschaltgeräte (6 kWh/m² und Jahr) beinhaltet. Als Standardwert für bestehende Anlagen ist also 6 kWh/(m² und Jahr) 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.

Tab. 5.1 LENI-Referenzwerte nach ÖNORM H 5059

Gebäudenutzung	LENI [kWh / (m ² × 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/m²×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 Aspekte der Tageslichtnutzung

5.2.1 Vorteil der Tageslichtnutzung

Die Einbeziehung von Tageslicht für die Beleuchtung von Innenräumen ist aus mehreren Gesichtspunkten ein wichtiger Aspekt in der Planung von Beleuchtungsanlagen. Optimale Tageslichtnutzung ist ergonomisch, wahrnehmungspsychologisch und im Hinblick auf Wohlbefinden und Gesundheit positiv, energiesparend und ökologisch sinnvoll.

Der hohe visuelle Nutzeffekt verringert interne Wärmelasten durch den Betrieb von Lampen für die Raumkühlung, vor allem wenn auch Tageslichtumlenkung eingesetzt wird, um von Fenstern weiter entfernte Bereiche gut auszuleuchten. Die solare Nutzung im Winter senkt auch den Heizenergiebedarf.

Es darf aber nicht vergessen werden, dass Tageslichtnutzung unangenehme Blendeffekte durch zu große Leuchtdichteunterschiede in Fensternähe sowie zu hohen Wärmeeintrag verursachen kann und jedenfalls saisonal und zeitlich beschränkt ist.

Eine Ideal-Lösung zur Tageslichtnutzung bieten Dachoberlichter als Lichtkuppeln oder Lichtbänder, da sie viel mehr Licht in den Raum als Fenster einbringen.

5.2.2 Tageslicht-Quotient

Tageslicht wird in der Regel nicht ausreichen, um eine ausreichende und normgerechte Beleuchtung in Innenräumen zu gewährleisten. Der Ansatz zur Erhöhung der Ergonomie und Energieeinsparung liegt darin, dass künstliches Licht nur dann zur Beleuchtung beiträgt, wenn Tageslicht nicht im ausreichenden Maße zur Verfügung steht. Ein wichtiger Parameter ist der Tageslicht-Quotient D (Daylight factor):

$$D = E_p / E_a [\%]$$

Dieser gibt das Verhältnis der bei bedecktem Himmel außerhalb des Gebäudes gegebenen Beleuchtungsstärke zur Beleuchtungsstärke, die tatsächlich im Gebäudeinneren gegeben ist, an.

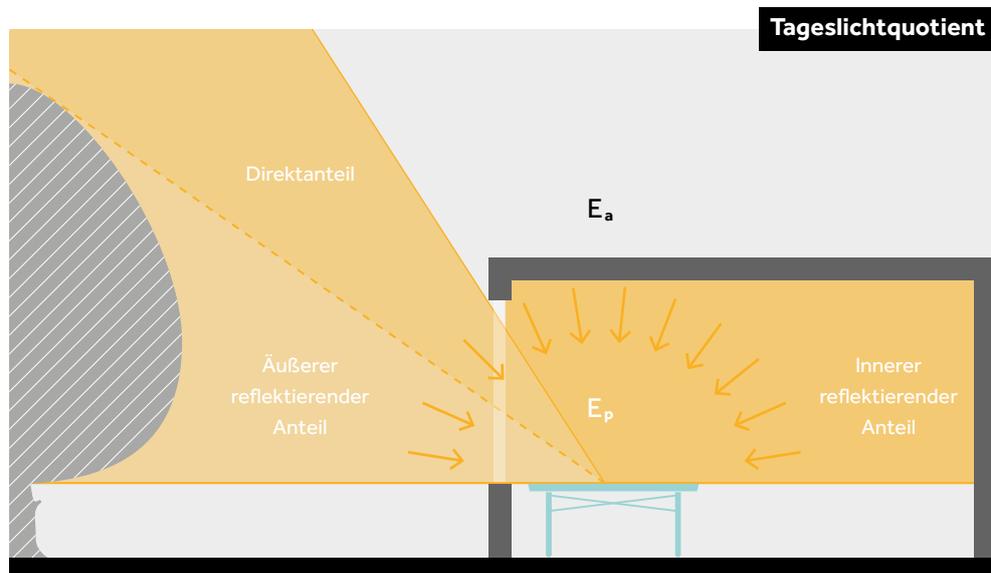


Abb. 5.1 Ermittlung des Tageslichtquotienten (Schema) Quelle: P. Jung

Einfluss haben dabei der direkte Anteil des Sonnenlichts sowie die Anteile der Außen- und Innenreflektion. Die deutsche Norm DIN 5034-3 (Tageslicht in Innenräumen, Teil 3) enthält eine detaillierte Beschreibung zur Ermittlung des Tageslicht-Quotienten, der in der Regel mit Software-Tools berechnet wird.

Sehr helle Räume erreichen mittlere Tageslicht-Quotienten von 6 %, wobei Räume mit Tageslicht nur in fensternahen Zonen Richtwerte von 0,5 % aufweisen (Angaben für nur Seitenlicht, Wärmeschutzfenster und ohne Beschattung bzw. Verbauung). Je höher der Tageslicht-Quotient und je niedriger die geforderte Mindestbeleuchtungsstärke ist, desto niedriger sind mögliche Betriebszeiten der Beleuchtungsanlage und damit einhergehend der Energieverbrauch.

5.2.3 Verschattungsmaßnahmen

Eine zentrale Rolle kommt der Art des Sonnenschutzes zu, damit Blendung und zu hoher unerwünschter Wärmeeintrag vermieden werden. Ein hochwertiger Sonnenschutz kann daher das Wohlbefinden steigern sowie Energieeinsparungen unterstützen.

Nicht in allen Fällen sind umfangreiche Verschattungsmaßnahmen erforderlich: Bei nach Norden ausgerichteten Räumen oder Räumen, die durch die Umgebung (andere Gebäude, Bäume etc.) schon beschattet werden, gelten nur geringe Anforderungen.

Ein idealer Sonnenschutz sind außenliegende helle (reflektierende) Jalousien, die den Wärmeeintrag effektiv reduzieren und lichtlenkend eingesetzt werden können (siehe **ABB. 5.2**).

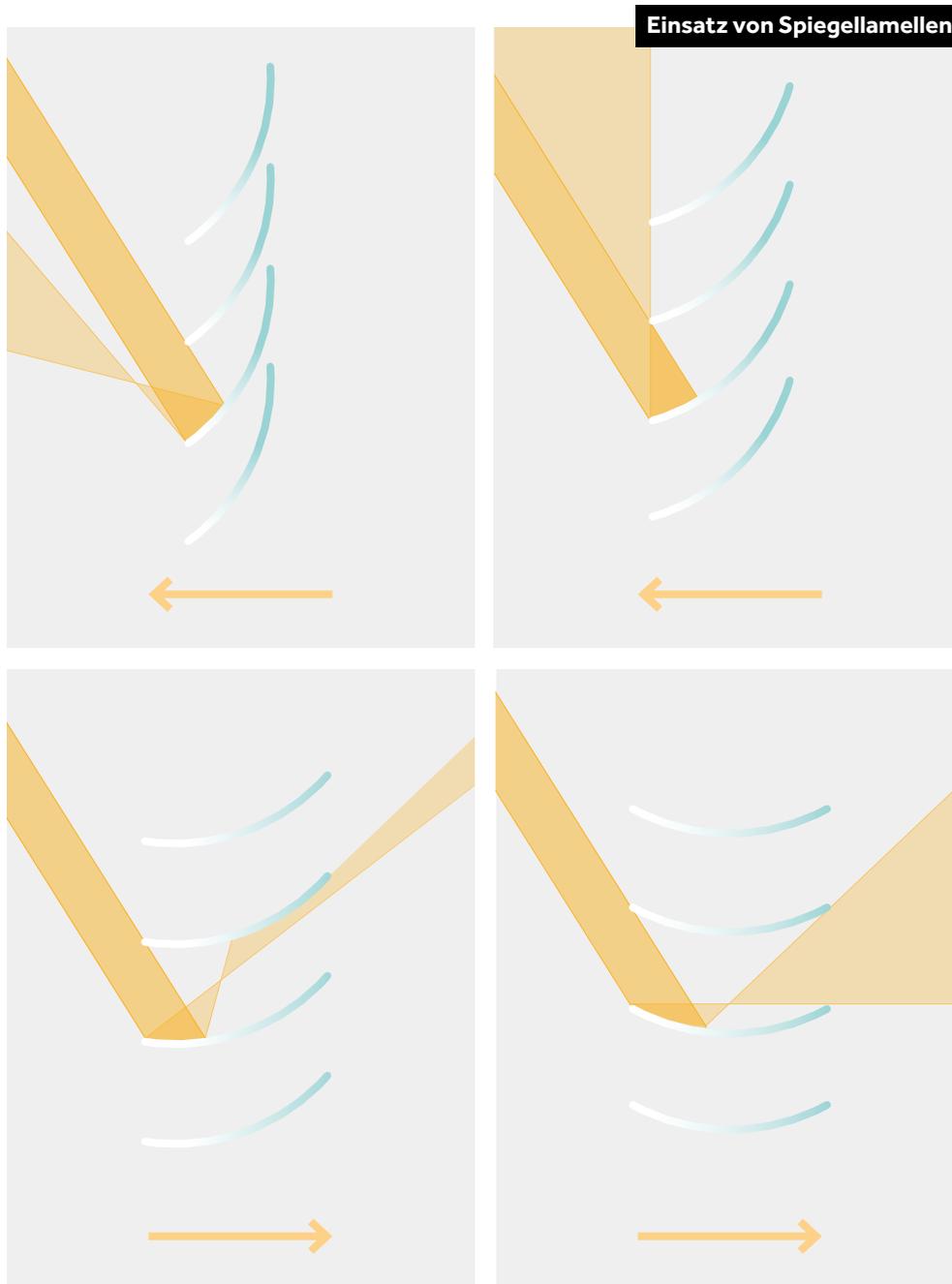


Abb. 5.2 Einsatz von Spiegellamellen zur Abschattung (oben) und Lichtlenkung (unten)

Quelle: nach Bartenbach, 2007

Ein Kompromiss können auch dunkle Außenjalousien, außen- bzw. innenliegende lichtundurchlässige Stoffmarkisen oder unbeweglicher baulicher Sonnenschutz sein.

Die Anforderungen für Tageslichtnutzung und Sonnenschutz werden nur ungenügend von lichtdurchlässigen Stoffmarkisen und Vorhängen erfüllt und sollten daher vermieden werden.

5.3 Rechtliche Grundlagen und Standards

5.3.1 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 Innenraumbelichtung dar. Die Norm wurde als europäische Norm erarbeitet und dokumentiert mit der nun gültigen Fassung vom August 2011 den anerkannten 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 Sehauflagen 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-/ und -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 Sehauflagen 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.

5.3.2 Beleuchtung von Arbeitsplätzen

Die ÖNORM EN 12464-1 stellt die spezifische Sehauflage in den Vordergrund und definiert Anforderungen hinsichtlich einer für den Zweck ausreichenden Beleuchtung. Abhängig von den maßgeblichen Parametern der Sehauflage, 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 0,5 m Breite, der den Bereich der Sehaufgabe innerhalb des Gesichtsfeldes umgibt.



Abb. 5.3 Bereich der Sehaufgabe und unmittelbare Umgebung (nach ÖNORM EN 12464-1)

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 Beleuchtungsstärkeniveau 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 typische 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. 5.5**). Des Weiteren ist der Zusammenhang zwischen den Beleuchtungsstärken des unmittelbaren Umgebungsbereiches und denen der Sehaufgabe geregelt.

Tab. 5.2 Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärken des unmittelbaren Umgebungsbereiches (E_{Aufgabe} [lx]) und der des Bereichs der Sehaufgabe

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe E_{Aufgabe} [lx]	Beleuchtungsstärke im unmittelbaren Umgebungsbereich [lx]
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	E_{Aufgabe}
100	E_{Aufgabe}
≤ 50	E_{Aufgabe}

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.

5.3.3 Beleuchtungsstärken für Wände und Decken

Im Hinblick auf Beleuchtungsstärken für Wände und Decke werden Leuchtdichteverhältnisse entsprechend TABELLE 5.3 und Reflexionsgrade für Flächen entsprechend TABELLE 5.4 empfohlen.

Tab. 5.3 Empfohlene Leuchtdichteverhältnisse

Empfohlene Leuchtdichteverhältnisse	
Sehaufgabe	100%
Tischoberfläche	20–70%
Wände	20–80%
Decke	30–300%

Tab. 5.4 Reflexionsgrade für Flächen

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 Raumboflächen 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.

5.3.4 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-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_L , (engl. Unified Glare Rating limit) der nicht überschritten werden soll.

Aufgabe	Mittlere Beleuchtungsstärke E_m	Oberer UGR_L -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

Tab. 5.5 Ausgewählte Sehaufgaben und lt. Norm geforderte mittlere Beleuchtungsstärken E_m und oberer UGR_L -Grenzwerte

Durch geeignete Abschirmmaßnahmen 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.



Abb. 5.4 Mindestabschirmwinkel zur Vermeidung von Blendung Quelle: ÖNORM EN 12464-1

TAB. 5.6 zeigt Mindestabschirmwinkel für Lampen unterschiedlicher Leuchtdichte.

Tab. 5.6 Mindestabschirmwinkel Quelle: 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.

5.3.5 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.

Tab. 5.7 Empfohlenes Rastermaß Quelle: 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

5.3.6 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.

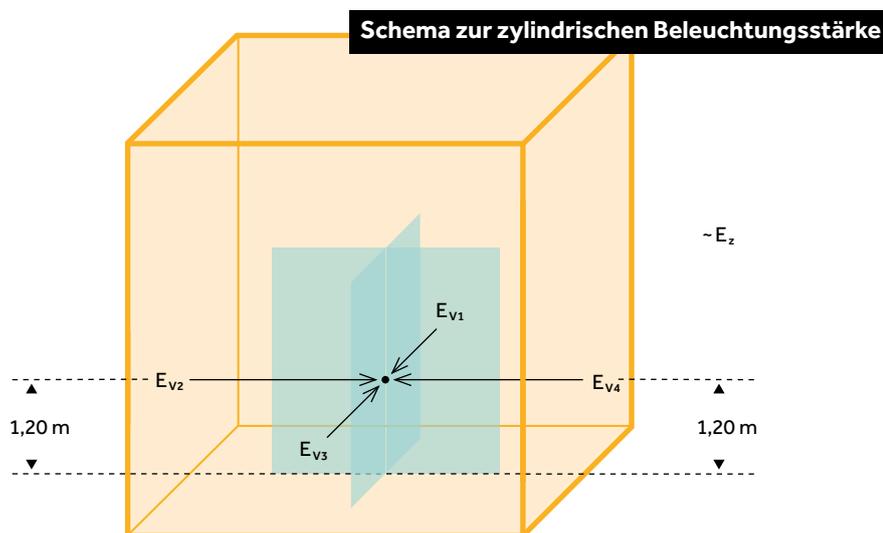


Abb. 5.5 Schema zur näherungsweise Bestimmung der zylindrischen Beleuchtungsstärke E_z
Quelle: ÖNORM EN 12464-1

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 m.

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.

5.3.7 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.

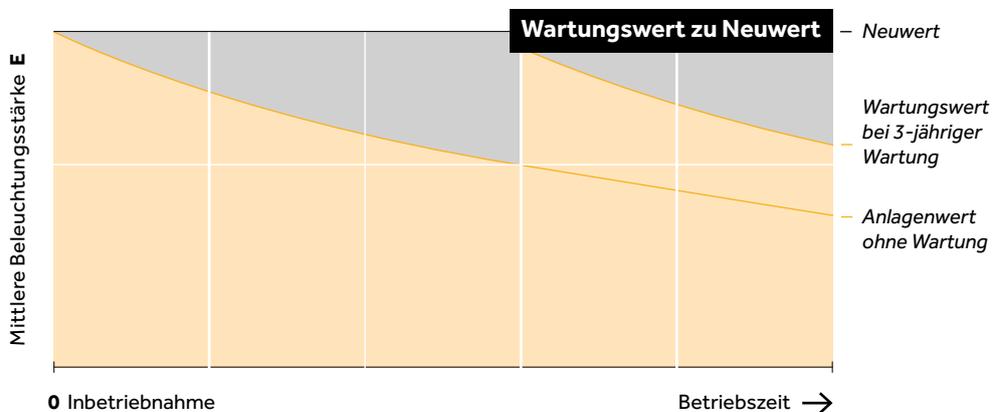


Abb. 5.6 Beziehung des Wartungswertes zum Neuwert Quelle: ÖNORM EN 12464-1

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 Lampenlebensdauer verlängern (z.B. EVG)
- ◆ Kurze jährliche Nutzungszeiten
- ◆ Geringe Schalthäufigkeit
- ◆ Kurze Reinigungs- und/oder Wartungsintervalle, Einzel- und Gruppenaustausch 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 Einzelfaktoren:

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

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 funktionstüchtig 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 infolge 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 Beleuchtungsplanerin/ 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.

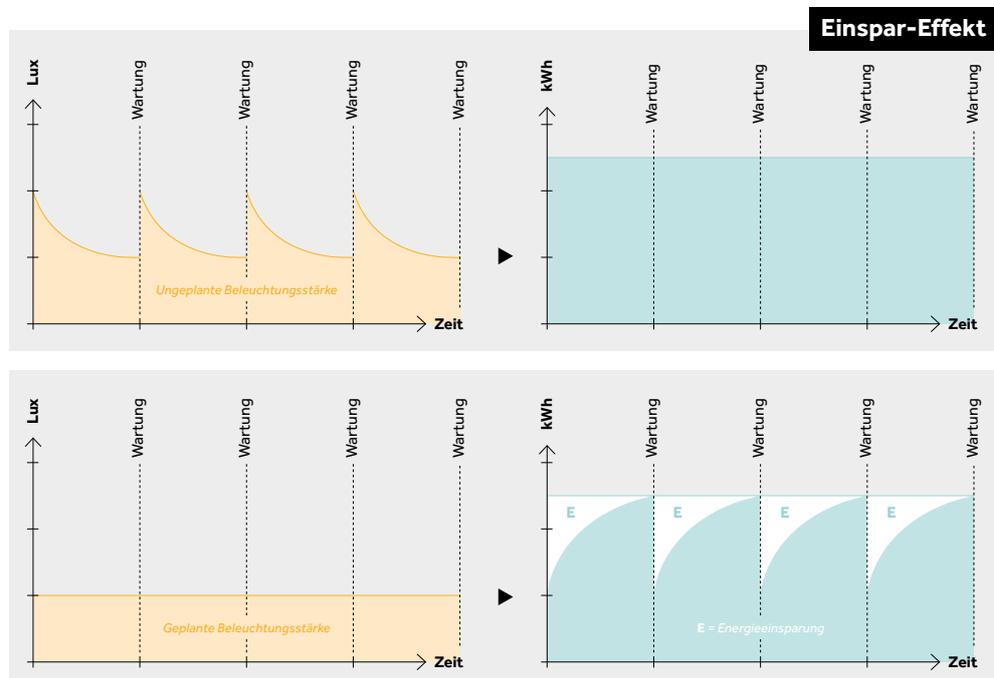


Abb. 5.7 Einspar-Effekt durch Ausregeln auf konstanten Wert (Wartungswert) Quelle: licht.de, 2013

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 Beleuchtungs-

anlage 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.

Tab. 5.8 Richtwerte für Wartungs- und Neuwertfaktoren (als 1 / Wartungsfaktor)

Wartungsfaktor	Neuwertfaktor	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.

5.4 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/m² als Gebäude-Standard
- ◆ ein Leuchtenlabel

Beide Standards basieren auf der SIA-Norm 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ (SIA steht für „Schweizerischer-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^2) fließen folgende Faktoren mit ein:

- ◆ Beleuchtungsstärke (lm/m^2)
- ◆ 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).

$$\text{Minergie-Level} = \text{Zielwert} + (\text{Grenzwert} - \text{Zielwert}) / 4.$$

Tab. 5.9 Minergie-Anforderung – ausgewählte Beispiele für Standard-Nutzungen

Standard-Nutzung	Spez. Energiebedarf [$kWh/m^2 a$]		
	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 Neuerrichtung bzw. Sanierung von Beleuchtungsanlagen.

5.5 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 vorgenommen 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, Lampenlebensdauerfaktor, Leuchten- und Raumwartungsfaktor abhängt, sukzessive hochgeregelt werden. Damit wird vermieden, dass mehr künstliches Licht (und elektrische Energie) als notwendig eingesetzt wird.

5.6 Erhebung des Energieverbrauches und der Beleuchtungsqualität in bestehenden Systemen

5.6.1 Energieverbrauch

Für die Erneuerung von Beleuchtungssystemen ist die Erhebung der Ausgangssituation und damit des Einsparpotenziales wesentlich. Hierzu stehen unterschiedlich aufwändige Methoden zur Verfügung, die von einer Grobabschätzung über eine Detailberechnung bis hin zur messtechnischen Erfassung der realen Verbräuche reichen. Wesentliche Grundlagen zu den Methoden bietet die ÖNORM EN-15193.

Eine grobe Abschätzung des Energieverbrauches kann über eine Verrechnung der beleuchteten Fläche mit entsprechenden flächenbezogenen Kennwerten durchgeführt werden. Kennwerte für unterschiedliche Raumnutzungsarten und Lichtregelungsarten bieten die Normen ÖNORM EN 15193, ÖNORM H 5059 und die Schweizer Norm SIA 380/4.

Die Normen EN 15193 und SIA 380/4 beschreiben darüber hinaus Verfahren für eine detaillierte Energieverbrauchserhebung, die jedoch eine Erfassung vieler Messgrößen bzw. Planungswerte erfordert. Die Gewinnung der erforderlichen Daten kann entsprechend aufwändig sein. Berücksichtigt werden dabei unter anderem:

- ◆ Installierte Nennleistung
- ◆ Tageslichtfaktor
- ◆ Belegungsfaktor
- ◆ Betriebsstunden bei Tag und bei Nacht
- ◆ Stand-by-Energieverbrauch

Die entsprechenden Details sind den Normen zu entnehmen.

Eine messtechnische Erhebung bietet schließlich die genauesten Informationen. Je nach Ausgangssituation kann die Messung mit einfachen Energiemessgeräten bzw. Wechselstrom oder Drehstromzählern direkt im Lichtkreis erfolgen und über einen Datenlogger aufgezeichnet

werden. Bei Systemen, die bereits über ein Lichtmanagement verfügen, kann der Energieverbrauch der einzelnen Komponenten komfortabel direkt über die Lichtmanagementfunktionen erfasst werden. Weitere Hinweise hierzu finden sich ebenfalls in ÖNORM EN 15193.

5.6.2 Beleuchtungsqualität

Die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Qualitätskriterien

- ◆ Beleuchtungsstärke
- ◆ Leuchtdichteverteilung
- ◆ Räumliche Beleuchtung
- ◆ Variabilität des Lichts (Niveau und Farbe des Lichts)
- ◆ Lichtfarbe und Farbwiedergabe der Leuchtmittel
- ◆ Blendung

können teilweise den Datenblättern der eingesetzten Komponenten entnommen werden (Farbwiedergabe, Lichtfarbe) oder sind entsprechend messtechnisch zu erheben. Die für die Erhebung der Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, Reflexionsgrad, Lichtstärkeverteilung erforderlichen Messgeräte (Luxmeter, Leuchtdichtemessgerät) werden in unterschiedlicher Qualität und Ausführung angeboten und kosten zwischen Hundert und mehreren Tausend Euro.

Für die Durchführung der Messungen ist unter anderem auf folgende Punkte zu achten:

- ◆ Erforderliche Voralterung der Lampen (Entladungslampen: 100 Stunden; Glühlampen: mindestens 10 Stunden)
- ◆ Erforderliche Einbrennzeiten (Entladungs- und Leuchtstofflampen müssen mindestens 15 Minuten eingebrannt sein)
- ◆ Vermeidung von Fremdlicht, Abschattungen, Reflexion

Für repräsentative Erhebungen ist eine Messung an mehreren Tagen erforderlich, die auch jahreszeitliche Unterschiede berücksichtigt.

5.6.3 Bewertung der Ergebnisse der Erhebung

Die Ergebnisse aus den Berechnungen oder Messungen sind im Weiteren im Vergleich zu typischen Kennzahlen bzw. Benchmarks sowie im Hinblick auf Einsparpotenziale zu bewerten. Hinsichtlich Energieeffizienz bieten sich für eine Grobbewertung die oben bereits dargestellten LENI-Kennwerte (nach ÖNORM H 5059) und die Grenz- und Zielwerte nach SIA 380/4 an. Während die LENI-Werte eher als Mindestwerte einzustufen sind, können die Werte von SIA als echte Benchmarks herangezogen werden.

Hinsichtlich Qualitätskriterien finden sich Vergleichswerte in der ÖNORM 12464-1.

6. ENERGIEEFFIZIENTE BELEUCHTUNG – BEST PRACTICE BEISPIELE

6.1 Effiziente Bürobeleuchtung mit LED – Wiener Städtische Versicherung

Bauherr: Wiener Städtische Versicherung
Elektro Planer: Aquila Hausmanagement GmbH
Elektroinstallation: Fa. Gönner, Wien

6.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Zielsetzung der lichttechnischen Renovierung war insbesondere eine Erhöhung der Lebensdauer der Leuchten und entsprechende Energieeinsparungen mithilfe moderner Technologie. Eine Renovierung des alten Beleuchtungskonzeptes auf (T8 mit KVG) war erforderlich.

Die technisch überholten Rasterleuchten in den Decken sollten durch hochmoderne LED-Einbauleuchten ausgetauscht werden, die hohen Ansprüchen an die Nachhaltigkeit gerecht werden. Das Projekt sollte für eine wartungsarme und zuverlässige Performance der Beleuchtungsanlagen im Ringturm, dem architektonisch markanten Hauptsitz der Wiener Städtischen im ersten Wiener Gemeindebezirk sorgen.

6.1.2 Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse

Für die unterschiedlichen Arbeitsbereiche im Ringturm wurden verschiedene Leuchtentypen von Zumtobel für ein optimales Gesamtkonzept ausgewählt, um die spezifischen unterschiedlichen Beleuchtungsanforderungen bestmöglich zu unterstützen.

In den Büros ersetzen „Light Fields“-LED-Einbauleuchten (LED-Leuchte mit Mikroprismenstruktur, siehe **ABBILDUNG 6.1**) die veralteten Rasterleuchten und sorgen mit einer homogenen Beleuchtung und einer hohen Leuchteneffizienz für eine brillante Lichtqualität. Die LED-Technologie und die lange Lebensdauer der Leuchtmittel sorgen für reduzierte Wartungs- und Energiekosten sowie eine rasche Amortisationszeit der Beleuchtungsanlage. Die „Light Fields“-LED fügen sich dank schlankem Leuchten-Design und hochwertigen Materialien dezent in die Architektur der Büros ein.

Für die Beleuchtung in den Arbeitsräumen wurden Leuchten vom Typ 2 Light Mini-LED eingesetzt. Das kompakte Format der effizienten Leuchtmittel ermöglicht einen Einsatz in Bereichen mit begrenztem Raum ohne Verzicht auf Lichtmenge und -qualität.

In den Gängen wurden LED-Downlights (Typ Panos Infinity) sowie 2Light Mini-LED eingesetzt. In Kombination mit der Lichtlinie Slot-light II T5 wird so eine angenehme gleichmäßige Beleuchtung auf den Verkehrswegen geschaffen. Durch die systematische Anordnung der T5-Leuchtstofflampen entsteht eine nahezu durchgängige Lichtlinie, die für eine effiziente Ausleuchtung mit hohem Wirkungsgrad sorgt.

Durch die Umrüstung der alten Leuchtstofflampe T8 mit Raster auf die „Light Fields“-LED-Einbauleuchte wird eine verbesserte Lichtqualität bei deutlich reduziertem Energieverbrauch pro Quadratmeter und Jahr von 85,2 kWh/ m²a auf 35,7 kWh/ m²a erzielt. Diese Werte sind mit typischen LENI-Werten nicht direkt vergleichbar, da eine höhere Beleuchtungsstärke gewünscht wurde und die Nutzungsdauer mit über 3.000h deutlich über dem Standard liegt.

Damit kann eine Amortisation alleine durch die Energiekosten in nur sechs Jahren erreicht werden, bei einer Kosteneinsparung von 850.000 EUR und einer CO₂-Einsparung von 1.115 Tonnen im Laufe einer Nutzungsdauer von 15 Jahren.

6.1.3 Resümee

Für die Renovierung nicht mehr zeitgemäßer Beleuchtungslösungen im Bürobereich (T8-Lampen in veralteten Rastereinbauleuchten und traditionelle Downlightkonzepte) können moderne LED-Konzepte eine effektive und zugleich kosten- und energiesparende Lösung bieten. Die geeignete Lösung führt hier nicht über den Einsatz von Retrofitersatzlampen, sondern über optimierte integrierte neue Leuchten-/Lampenkonzpte mit entsprechender Nutzung der regelungs- und steuerungstechnischen Möglichkeiten.



↑ Ausgangssituation mit T26 Rastereinbauleuchten

➤ Neue Lösung mit „Light Fields“-LED-Mikroprismen-Leuchten

Abb. 6.1 und Abb. 6.2 Ausgangssituation und neue Lösung Quelle: Zumtobel

Tab. 6.1 Fallbeispiel Wiener Städtische: Technische Daten und Einsparungen (Teil 1)

Projekt: Wiener Städtische (Ringturm, Wien)		
Lichtplanung (Unternehmen)	Zumtobel, Wien	
Elektroinstallation (Unternehmen)	Elektro Gönner, Wien	
Lichtlösung (Produkte von Zumtobel)	„Light Fields“-LED	
Kosten pro Jahr	alte Lösung	neue Lösung
Energieverbrauch kWh/m ² a (Gesamtfläche hochgerechnet)	85,2	35,7
Energiekosten pro Jahr (EUR)	69.792,12	29.234,64
Energieverbrauch/Kosten je kWh (xxx kWh – bei xx Cent/kWh)	581.601 / 0,120 EUR	243.622 / 0,120 EUR

Tab. 6.1 Fallbeispiel Wiener Städtische: Technische Daten und Einsparungen (Teil 2)

Im direkten Zahlenvergleich	alte Lösung	neue Lösung
Name des Produktes	Rasterleuchte 2/58W KVG	„Light Fields“-LED 60W
Leuchtendaten		
Leuchtenanzahl (Stk.)	1.200	1.200
Systemleistung der Leuchte (W)	143	60
Wartungs-Beleuchtungsstärke	500	500
Wartungsfaktor	0,71	0,67
LENI (Energieverbrauch in kWh pro m ² und Jahr)	85,20	35,70
Betriebsdaten		
Nutzungszeitraum der Anlage (J)	15	15
Jährliche Betriebsdauer (h)	3.389	3.389
Lampenaustauschintervall (J)	2	10
Leuchtenreinigungsintervall (J)	2	2
Raumreinigungsintervall (J)	4	4
Investitionskosten (EUR)		
Leuchten- und Lampenkosten	0,00	660.900,00
Lichtsteuerungskomponenten	manuel ON / OFF	auto ON / OFF
Gesamtinvestitionskosten	0,00	660.900,00
Betriebskosten (EUR)		
Energiekosten	2.217.470,00	928.857,00
Wartungskosten	392.496,00	169.881,00
Gesamtbetriebskosten	2.609.966,00	1.098.738,00
GESAMTKOSTEN (EUR)		
Investitionskosten + Gesamtbetriebskosten	2.609.966,00	1.759.638,00
ERSPARNIS (über den gesamten Nutzungszeitraum)		
Gesamtersparnis (%)		33 %
Gesamt Kosteneinsparung (EUR)		850.328,00
Gesamt CO ₂ -Einsparung (kg)		1.115.333,00
Amortisationszeit LED vs. Altbestand (musste renoviert werden)		6,5 Jahre
Amortisationszeit LED vs. neue „Light Field“ T16		6 Jahre

6.2 Modernisierung der Akzentbeleuchtung im Technischen Museum Wien

6.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Das Technische Museum Wien ist das einzige Bundesmuseum Österreichs, das der Geschichte der Technik und der Naturwissenschaften gewidmet ist. Unter dem Titel „Licht & Klima“ wurde die gesamte Beleuchtung des Technischen Museums optimiert. Zielsetzung war dabei eine möglichst funktionsoptimierte Lösung, die den spezifischen Anforderungen des Technischen Museums entspricht, und ein zugleich möglichst energieeffizientes Konzept. Im Bereich der Ausstellungen sind dabei vor allem geeignete Lösungen für eine kombinierte Basisbeleuchtung und die akzentuierte Beleuchtung erforderlich.

6.2.2 Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse

Das neue Beleuchtungskonzept sieht eine Kombination aus direkter und indirekter Beleuchtung vor, um die Lichtqualität im Museum zu verbessern.

Mit der indirekten Beleuchtung, die in architektonisch anspruchsvollen Lichtkanälen untergebracht ist, wird eine Beleuchtungsstärke von 40–50 lx direkt am Objekt erreicht. Die gewählte Lösung ist dimmbar.

Die zusätzliche Akzentbeleuchtung wurde mit Halogenmetaldampfstrahlern (Typ ARCOS Baugröße 2) realisiert, die mit 20- bzw. 35-Watt-HIT-Lampen bestückt sind. Ein großer Vorteil dieses Konzeptes, vor allem während der Sommermonate, liegt auch im geringeren Wärmeeintrag in die Räumlichkeiten.



Abb. 6.3 Fallbeispiel Technisches Museum: Alte und neue Leuchtentechnologie Quelle: Zumtobel

↑ XENO M Halogen
➤ ARCOS HIT

6.2.3 Resümee

Klassische Halogenstrahler (Halogenglühlampen) im Bereich der Akzentbeleuchtung sollten möglichst konsequent ersetzt werden. Optionen hierfür bieten LED-Strahler oder Halogenmetaldampfstrahler. LEDs haben dabei den Vorteil eines geringeren Wärmeeintrages. Mit den

eingesetzten energieeffizienten Halogenmetaldampflampen konnte eine Energieeinsparung von 37 % bei einer Amortisationszeit der Maßnahme von ca. 5,2 Jahren erreicht werden.

Tab. 6.2 Fallbeispiel Technisches Museum: Ergebnisse vor und nach der Sanierung *Quelle: Zumtobel*

Projekt: Technisches Museum Wien		
Lichtplanung	Pokorny	
Lichtlösung	ARCOS HIT 20W bzw. 35W plus indirekter Beleuchtung	
Kosten pro Jahr	Halogenlösung	Neue ARCOS + indirekt Lösung
Energieverbrauch kWh/m²a	39,37	14,73
Energiekosten pro Jahr (EUR)	55.011,00	20.583,00
Leuchtendaten	100 W Halogenstrahler	ARCOS 35W 70W HIT
Leuchtenanzahl (Stk.)	557	370x20W + 150x35W + 280 T16 indirekte Beleuchtung
Systemleistung aller Leuchten (W)	55.700,00	24.695,00
Wartungsfaktor	0,67	0,67
LENI (Energieverbrauch in kWh pro m² u. Jahr)	38,77	13,47
Betriebsdaten		
Nutzungszeitraum der Anlage (J)	20	20
Jährliche Betriebsdauer (h)	3.650	3.650
Leuchtenreinigungsintervall (J)	3	3
Raumreinigungsintervall (J)	5	5
Investitionskosten		
Leuchten- und Lampenkosten	0,00	165.145,00
Lichtsteuerungskomponenten	kein	kein
Gesamtinvestitionskosten	0,00	165.145,00
Betriebskosten (EUR)		
Energiekosten (Stromkosten 0,20€ mit jährlich 5% über 20 Jahre)	1.100.224,00	411.651,00
Wartungskosten	196.496,00	249.787,00
Gesamtbetriebskosten	1.296.720,00	661.438,00
GESAMTENERGIEVERBRAUCH (kWh)		
	4.066.100,00	1.802.735,00
GESAMTKOSTEN (EUR)		
Investitionskosten + Gesamtbetriebskosten	1.296.720,00	826.583,00
ERSPARNIS (über den gesamten Nutzungszeitraum)		
Gesamtersparnis Energieverbrauch (kWh/%)	2.263.365 / 57	
Gesamt Kosteneinsparung (EUR/%)	470.137,00 / 36	
Gesamt CO ₂ -Einsparung (kg)	563.767,00	
Strompreiskosten	20 Cent	
Energiekostensteigerung	5 %	
Amortisationszeit	5,2 Jahre	



↑ alt: XENO M

↓ neu: ARCOS HIT



6.3 Neue Beleuchtungsanlage in der Raiffeisenbank Aspang

6.3.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Zielsetzung war die Errichtung einer modernen und energieeffizienten Beleuchtung unter Berücksichtigung der relevanten Vorschriften und Normen, insbesondere der EN 12 464. Im Zuge des Projektes wurden zwei Geschosse mit moderner, energieeffizienter LED-Beleuchtung ausgestattet.

Im Bürobereich wurden Pendelleuchten mit kombinierter direkter-indirekter Beleuchtung für die Arbeitsplätze installiert. Mit der indirekten Beleuchtung wird die Decke ausgeleuchtet und damit eine angenehme Raumatmosphäre geschaffen. Die vorgesehenen Leuchten haben einen hohen Wirkungsgrad und erlauben somit eine gute Energieeffizienz der Beleuchtungsanlage. Der Anteil der Direktbeleuchtung liegt über 70 %.

Auch für den Eingangsbereich sind Pendelleuchten mit kombiniert direkter-indirekter Beleuchtung vorgesehen. Für die Beleuchtung der Arbeitsplatzumgebung werden Downlights eingesetzt.

6.3.2 Realisierte Maßnahmen und Ergebnisse

Die Büroräume wurden mit Philips „Lumistone LED“ und mit „LuxSpace“-Downlights ausgestattet. In den Gängen sorgt die LED Lux-Space, LumiStone LED und Rotaris für das perfekte Licht. Mit der ColorGraze Powercore LED & Color Reach RGB konnte durch den Farbwechsel eine angenehme Atmosphäre verschaffen werden.

Insgesamt wurden folgende Lampen- und Leuchtenprodukte eingesetzt:

- ◆ Büro: LuxSpace LED & LumiStone LED
- ◆ Gang & Empfangsbereich: LuxSpace LED, LumiStone LED, DaySign LED, Rotaris, ColorGraze Powercore LED & Color Reach LED

Der Energieverbrauch wird durch automatisches Schalten mit OccuSwitch Bewegungsmeldern und Tageslichtsteuerung minimiert. OccuSwitch ist einfach zu installieren und erlaubt durch die Kombination von Bewegungsmeldern und Tageslichtsteuerung Energieeinsparungen von bis zu 30 % bei geringem Wartungsaufwand. Gleichzeitig konnte die Beleuchtungsstärke in den Räumen um bis zu 20 % erhöht werden.

Im Eingangs- und Gangbereich konnte durch den Einsatz von modernen LED-Leuchten gegenüber konventionellen Leuchten bis zu ca. 40 % Energie eingespart werden.

6.3.3 Resümee

Die eingesetzten innovativen Philips-LED-Lichtlösungen bieten optimales Licht und hohe Wirtschaftlichkeit in einem. Damit lassen sich praktische und gleichzeitig ästhetische LED-Beleuchtungslösungen realisieren, die äußerst energieeffizient und nachhaltig sind.

Gute Arbeitsbedingungen in Büroräumen sind für Unternehmen heute unverzichtbar. Untersuchungen von Philips haben ergeben, dass sich die richtige Büroumgebung, speziell gute Beleuchtung nicht nur positiv auf das Wohlbefinden und die Motivation auswirkt, sondern auch die Konzentration bei der Arbeit fördert und die Fehlerquote senkt.

Die angenehme Gestaltung der Arbeitsumgebung mit Licht muss nicht zwangsläufig auch zu höheren Kosten führen. Denn häufig verbessern moderne Beleuchtungssysteme nicht nur die Lichtqualität, sie senken in den meisten Fällen auch die Betriebskosten deutlich. Durch die Installation energieeffizienter LED-Beleuchtung in Verbindung mit einer intelligenten Lichtsteuerung können Unternehmen und Gebäudeverwaltungen den Energieverbrauch je nach Ausgangssituation um bis zu 70 % senken und die Wartungskosten deutlich reduzieren.

Tab. 6.3 Vergleich und Einsparungen im Überblick

Projekt: Raiffeisenbank Aspang		
Leuchtentyp	Halogen	LED
Anschlussleistung (W)	18,12	13,06
Brennstunden / Jahr (h)	2.100	2.100
Energieverbrauch / Jahr (kWh)	38.052	27.426
Einsparung / Jahr (kWh)		10.626
Energieeinsparung		28 %



Abb. 6.4 Fallbeispiel Raiffeisenbank Aspang Quelle: Philips Austria

6.4 Neue LED-Beleuchtungsanlage in Wiener Planungswerkstatt

Die Wiener Planungswerkstatt ist im Erdgeschoss eines städtischen Amtshauses angesiedelt. Sie wird von der MA 18–Stadtplanung betreut. Die Umrüstung der Beleuchtung erfolgte durch die Firma Philips.

6.4.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Wiener Planungswerkstatt ist ein Ausstellungszentrum der Stadt Wien, in dem ganzjährig Ausstellungen und Veranstaltungen stattfinden. Bürgerinnen und Bürger werden laufend über neue Projekte und Strategien der Stadt informiert und eingeladen mitzudiskutieren. Um die Vorbildwirkung der Stadt Wien zu verstärken, wurde die komplette Galeriebeleuchtung auf hocheffiziente LED-Technologie umgerüstet. Sie dient zur Anstrahlung der Ausstellungspaneele und ist rund ums Jahr wochentags zwischen 7 und 11 Stunden in Betrieb. Zielsetzung der lichttechnischen Renovierung war insbesondere eine Erhöhung der Lebensdauer der Leuchten und entsprechende Energieeinsparungen mithilfe moderner Technologie.

6.4.2 Realisierte Maßnahmen

Gesamt wurden 77 Halogenspots gegen LED-Spots getauscht. Mit diesem Konzept konnte im Vergleich zur existierenden Lösung mit 100 Watt Halogenstrahlern eine Energieeinsparung von über 70 % realisiert werden. Alleine durch die Energiekostenreduktion kann eine Amortisation in nur 5 Jahren erreicht werden. Die Kosteneinsparung beträgt 1.600 € jährlich.

Je nach Anforderung wurden folgende LED-Spots eingesetzt.

- ◆ MASTER LEDspot LV AR111 15W G 53
- ◆ MASTER LED PAR30S 12W
- ◆ StyliD Compact Power LED

6.4.3 Resümee

Neben der Kosten- und Energieeinsparung bei einer kurzen Amortisationszeit wurde auch vor allem der Wärmeeintrag drastisch reduziert. Aufgrund der hohen Lebensdauer von 45.000 h werden auch die Austauschzyklen der Leuchten reduziert. In der Berechnung der Amortisationszeit wurden die häufigen Neuanschaffungen der Halogenspots nicht berücksichtigt.

Tab. 6.4 Vergleich und Einsparungen im Überblick

Projekt: Wiener Planungswerkstatt		
Anlage	ALT	NEU
Systemleistung (kW)	6,65	1,94
Energieverbrauch (kWh)	12.449,00	3.632,00
Energiekosten (EUR)	2.241,00	654,00
Einsparung		
Energieeinsparung (kWh)		8.817
Energieeinsparung (EUR)		1.587,00
Energieeinsparung (%)		71
Investition (EUR)		8.326,00
Amortisation der Anlage in Jahren		5,25

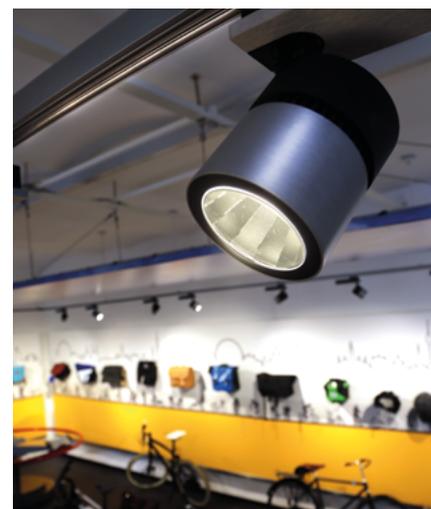


Abb. 6.5 Neue LED-Beleuchtung in Wiener Planungswerkstatt Quelle: MA 20/Christian Fürthner

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 100 h).

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/(m²Jahr)]: Der „Lighting Energy Numeric Indicator“ drückt den Energiebedarf für Beleuchtung inkl. Leerlaufverluste bezogen auf die Nutzfläche und Jahr gemäß ÖNORM H 5059 aus.

LEUCHTENBETRIEBSWIRKUNGSGRAD (η_{LB}): Verhältnis des Lichtstroms ϕ [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.

LEUCHTDICHTE L [cd/m^2]: 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.

LEUCHTEN-EFFIZIENZ-FAKTOR: Gesamteffizienz des Systems Vorschaltgerät-Leuchte-Lampe berechnet als Produkt aus Lichtausbeute der Lampe, Wirkungsgrad Vorschaltgerät und Wirkungsgrad Leuchte.

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

LICHTFARBE: Farbeindruck einer Lichtquelle für das menschliche Auge.

LICHTSTÄRKE (Candela, [cd]): Jener Teil des Lichtstroms, der von einer Lichtquelle in einem bestimmten Raumwinkel abgestrahlt wird (Raumwinkel Ω).

LICHTSTÄRKENVERTEILUNG: Charakteristische räumliche Verteilung der Lichtstärke um eine Lichtquelle (Lampe oder Leuchte). Sie wird mit einem sogenannten Goniophotometer gemessen.

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

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.

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 (EG) 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 (EG) 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.

FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT. 2010: Wirkung des Lichts auf Menschen. Licht Wissen 19. Fördergemeinschaft 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 2013: Reglement und Nachweisverfahren zur Vergabe des Minergie®-Labels für Leuchten. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz und Verein Minergie, Bundesamt für Metrologie (METAS), Leuchtenhersteller, Bauherren und Lichtplaner, Zürich.

SN 380/4 2006: Elektrische Energie im Hochbau. Schweizer Norm. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.



NOTIZEN

DISCLAIMER

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autorinnen und Autoren. 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.



Wien!
voraus

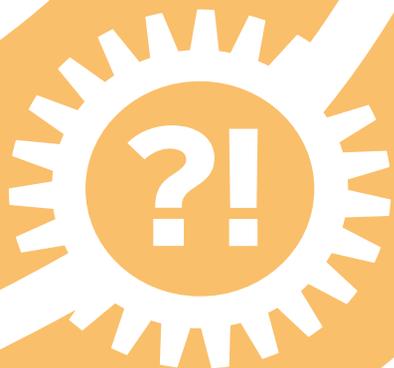
Energieplanung

StadT+**Wien**

Licht! voraus

Datenblatt zur
energieeffizienten Innenbeleuchtung
im Dienstleistungssektor

Stand: Dezember 2013



Grundbegriffe zur Beleuchtung

Die wichtigsten Grundbegriffe zur Lichttechnik sind in der nachfolgenden Übersicht dargestellt. Mehr dazu in **ABSCHNITT 1** des Technologieleitfadens.

LICHTSTROM Φ (LUMEN, [lm])	Die von einer Lichtquelle ausgesandte Strahlungsleistung korrigiert mit der spektralen Empfindlichkeit des Auges ($V(\lambda)$ -Kurve).
LICHTSTÄRKE (Candela, [cd])	Jener Teil des Lichtstroms, der von einer Lichtquelle in einem bestimmten Raumwinkel abgestrahlt wird.
LICHTAUSBEUTE [lm/W]	Das Verhältnis von Lichtstrom zur Leistungsaufnahme in Watt beschreibt die Lichtausbeute einer Lampe.
BELEUCHTUNGSSTÄRKE E (Lux, [lx])	Der auf eine Fläche A auftreffende Lichtstrom ($E = \Phi/A$).
ENERGIEEFFIZIENZINDEX (EEI)	Effizienzindex für das EU-Label für Halogenleuchtstofflampen und LED-Lampen mit integriertem Vorschaltgerät. Der EEI errechnet sich aus dem Verhältnis der Nennleistung oder korrigierten Nennleistung (bei Modellen mit externem Vorschaltgerät) zur Referenzleistung der Lampe. Die Referenzleistung ergibt sich aus dem nützlichen Lumenstrom (Gesamtlumen für ungebündeltes Licht, Lumen im 90°- oder 120°-Kegel für gebündeltes Licht).
LAMPENLICHTSTROMERHALT [LLMF] (Lamp Lumen Maintenance Factor)	Das Verhältnis zwischen dem von der Lampe zu einem gegebenen Zeitpunkt ihrer Lebensspanne ausgesendeten Lichtstrom und ihrem ursprünglichen Lichtstrom (nach 100h).
FARBTEMPERATUR (Kelvin, [K])	Jene Temperatur, auf die man einen schwarzen Strahler aufheizen müsste, damit er Licht der gleichen Farbe abgibt. Warmweißes Licht = < 3.000 K, neutralweißes Licht = 3.300 K–5.000 K, kaltweißes Licht = > 5.000 K
FARBWIEDERGABE (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. Ra > 80 = gute Farbwiedergabe, Ra > 90 = sehr gute Farbwiedergabe
MITTLERE LAMPENLEBENSDAUER (h)	Zeitraum, nach welchem noch 50 % der Lampen eines statistischen Samples funktionstüchtig sind.
NUTZLEBENSDAUER DER LAMPEN (h)	Zeitraum nach welchem eine Lampe noch einen definierten Mindestlichtstrom aufweist, der für eine volle Funktionstauglichkeit erforderlich ist. Diese Kenngröße ist für Gasentladungslampen und LED-Lampen relevant.
LEUCHTENBETRIEBSWIRKUNGS-GRAD (η_{LD})	Verhältnis des Lichtstroms Φ [lm] des Leuchtmittels zum Lichtstrom des Systems Leuchte + Lampe. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad gibt Aufschluss über die Effizienz der Leuchte in Kombination mit einem bestimmten Leuchtmittel.
LEUCHTEN-EFFIZIENZ-FAKTOR (LEF)	Produkt aus Lichtausbeute, Wirkungsgrad des Vorschaltgeräts und Wirkungsgrad der Leuchte.

Maßnahmenoptionen im Bereich Lichtmanagement-Systeme (LMS)

Planung von Lichtmanagement-Systemen (LMS)	
Exakte Zieldefinition für Planung	Exakte Festlegung des Anforderungsprofils vor der Planungsphase: LMS sind in unterschiedlich komplexen Ausführungen verfügbar. Wesentlich ist daher die exakte Definition der Anforderung hinsichtlich Integration in das Gebäude, Management-System und gewünschte Eingriffsmöglichkeiten
Gesamtbetrachtung	Optimal geplante LMS ermöglichen große Einsparungspotentiale durch bedarfsgerechten Betrieb. Dabei ist die Evaluierung folgender Parameter in der Planungsphase zentral: <ul style="list-style-type: none"> ▶ 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
Sensoren	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Individuelles Einjustieren von „Passiv-Infrarot-Sensoren“ (PIR) zur Bewegungs- und Präsenzmeldung in der Errichtungsphase: Nur dann können für jeden spezifischen Raum robuste Ergebnisse garantiert werden. ▶ Es ist empfehlenswert, PIRs halbautomatisch zu betreiben (automatisches Ausschalten und Einschalten per manueller Betätigung).
Einbeziehung des Tageslichts	Konstantlichtregelung ermöglicht die bestmögliche Nutzung von Tageslicht. Künstliche Beleuchtung wird nur in jenem Umfang gewährleistet, wie für die Sicherstellung der für spezifische Sehaufgaben notwendigen Beleuchtungsstärken notwendig ist.
Praxiserfahrungen & Best practice	LMS erfordern eine maßgeschneiderte Planung. Praxiserfahrungen von bereits implementierten Lösungen sowie herstellernerneutrale Dokumentationen von Best-practice-Beispielen sollten umfassend berücksichtigt werden.

Betrieb von Lichtmanagement-Systemen

Zuständigkeit definieren	Zuständigkeit für Betrieb und Wartung ist zu definieren. LMS führen erfahrungsgemäß mit fortschreitender Betriebsdauer zu steigendem Energiebedarf bedingt durch teilweise nicht mehr optimal funktionierende Komponenten. Dieser Effekt sollte beobachtet werden, um zum geeigneten Zeitpunkt gegenzusteuern.
Dimmung von Lampen	Starke Dimmung von Leuchtstoffröhren ist zu vermeiden. Leuchtstoffröhren sollten nicht über einen langen Zeitraum auf niedrigstem Dimm-Niveau betrieben werden, da in diesem Modus ein verhältnismäßig hoher Energieverbrauch gegeben ist. LED-Lampen können im Gegensatz fast verlustfrei mit sehr niedrigem Output betrieben werden.

Maßnahmenoptionen im Bereich Beleuchtungsplanung

Professionelle Planung von Beleuchtungsanlagen nach ÖNORM EN12464-1	<p>Basis für die Beleuchtungsplanung ist die ÖNORM EN 12464-1 „Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen“ (Fassung August 2011).</p> <p>Zentrale Aspekte für gute Planung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Sicherstellung der für die jeweilige Sehaufgabe vorgesehenen mittleren Beleuchtungsstärke sowie die abgestuften Anforderungen für den unmittelbaren Umgebungs- und Hintergrundbereich ▶ Angenehme Lichtumgebung ▶ Harmonische Leuchtdichteverteilung und gute Gleichmäßigkeit ▶ 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 und Veränderlichkeit von Licht
Schweizer Minergie-Standard	Effizienzkriterien in den Vordergrund rücken. ÖNORM EN 12464-1 legt keine Anforderung an die Energieeffizienz fest. Empfehlung: Querschau zu anderen aktuellen Regelwerken, wie etwa dem Schweizer Minergie-Standard, als Referenz für die Planung von neuen bzw. zu sanierenden Beleuchtungsanlagen.
Zeitkonstante Beleuchtungsstärken	Einregeln auf konstanten Wartungswert der Beleuchtungsstärken. Sukzessives Hochregeln der Leistung der Beleuchtungsanlage nach Inbetriebnahme, um über das Wartungsintervall hinweg das gleiche Beleuchtungsniveau zu gewährleisten und zu vermeiden, dass mehr künstliches Licht (und elektrische Energie) als notwendig eingesetzt wird. Basis hierfür ist eine angepasste Festlegung des Wartungswertes mit den Faktoren Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor, Lampenlebensdauerfaktor, Leuchtenwartungsfaktor, Raumwartungsfaktor.
Tageslicht-Nutzung und optimaler Sonnenschutz	Bestmögliche Einbeziehung von Tageslicht steigert Ergonomie und Wohlbefinden und unterstützt einen energiesparenden Betrieb der Beleuchtungsanlagen. Wesentlich sind effektive Verschattungsmaßnahmen, die übermäßigen Wärmeeintrag und störende Blendeffekte in Fensternähe verringern. Optimal sind reflektierende Außen-Jalousien, die auch zur Lichtumlenkung in den Innenraum eingesetzt werden können.

Lampentypen und Kennwerte

Einen Überblick über die wichtigsten Lampentypen für Standardanwendungen, ihre typischen Vorteile und Kennwerte sowie Empfehlungen für die Lampenwahl in der Praxis gibt nachfolgende Zusammenstellung. Detailinformationen hierzu sind in **ABSCHNITT 2** des Technologieleitfadens dargestellt.

Lampentypen		Design & Sockel	Lichtstrom (lm)	Farbtemperatur (K)	Farbwiedergabe (Ra)	Mittlere Lebensdauer (h)	Schaltzyklen (n)	Energieeffizienz (lm / W)	Vor- und Nachteile	Empfehlung
Leuchtstofflampen	 Leuchtstoffröhre T5	T5 (G5)	950–7.000	2.700–8.000	80–90	20.000–70.000 (Nutzlebensdauer: 16.000–45.000)	–	75–105	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Effizienz + Niedrige Kosten über die Lebensdauer + Hohe Lebensdauer - Nur diffuses Licht - Enthält Quecksilber - Start- & Aufwärmzeit 	▶ Energieeffizienz >95 lm / Watt, mittlere Lebensdauer >20.000 h (EVG)
	 Leuchtstoffröhre T8	T8 (G13)	750–7.000	2.700–8.000	80–90	20.000–80.000 (Nutzlebensdauer: 15000–65000)	–	60–95		▶ Energieeffizienz >85 lm / W, mittlere Lebensdauer >20.000 h (EVG) ▶ je nach Anwendung auch Long-life-Lampen mit 2– 4 × längerer Lebensdauer ▶ Ersatz von T8 durch T5 mit Adapter nur für einfache Beleuchtungsanwendungen
	 Kompaktleuchtstofflampe ohne Vorschaltgerät	Stab	900–4.200	2.500–6.500	80–90	10.000–36.000 (Nutzlebensdauer: 10.000–25.000)	–	60–75		▶ Energieeffizienz >70 lm / Watt, mittlere Lebensdauer >15.000 h (EVG)
	 Kompaktleuchtstofflampe mit integriertem EVG (Energiesparlampe)	Spiral, Stab, Birne/ Kerze (E27, E14)	200–2.500	2.500–6.500	80–90	8.000–20.000	5.000–1.000.000	40–65 (inkl. VG)		▶ Energieeffizienz >55 lm/W, Lebensdauer >12.000h ▶ stabförmige Bauformen sind am effizientesten ▶ schaltfeste Lampen für Anwendungen mit hoher Schalthäufigkeit
LED-Lampen	 Röhren-Retrofit	T8 (G13)	800–3.500	2.700–6.500	80–90	30.000–50.000	–	80–110	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Energieeffizienz + Lange Lebensdauer + Kein Quecksilber + Keine Aufwärmzeit + gute Dimmbarkeit - Hoher Preis - Für Röhrendesigns weniger geeignet - Geringere Effizienz bei höherer Temperatur 	▶ Ersatz von T8-Fluoreszenzröhren durch LED-Röhren derzeit nur für KVG-Lampen empfehlenswert und dort mit hohem Effizienzgewinn (60%). Vor allem für Lager, Korridore, Verkehrsflächen
	 Standard-Retrofit	Birne, Kerze (E27/E14)	100–1.520	2.700–6.500	80–90	10.000–30.000	15.000–500.000	45–90 (inkl. VG)		▶ Energieeffizienz >60 lm / W, Lebensdauer >25.000h, Schaltzyklen >25.000, Ra >80
	 Spot-Retrofit	Hochvolt (GU10) Niedervolt (GU5.3)	100–450	2.700–4.000	80–90	15.000–40.000	15.000–50.000	35–70 (inkl.VG)		▶ Energieeffizienz >45 lm / W, Lebensdauer >25.000h, Schaltzyklen >25.000, Ra >80
Halogenühilampen	 Halogen-Retrofitlampen (Birne/Kerze)	Birne, Kerze (E27, E14)	250–2.800	2.700–3.000	100	2.000–3.000	5.000–50.000	10–20	<ul style="list-style-type: none"> + Brillantes Licht + Exzellente Farbwiedergabe + kein Quecksilber - Niedrige Energieeffizienz - Kurze Lebensdauer 	▶ Einsatz nur dort wo brillantes Licht mit maximaler Farbwiedergabe erforderlich ist
	 Halogen-Spotlampen	Hochvolt (GU10), Niedervolt (GU5.3)	–	2.700–3.000	100	1.000–2.000 (5.000: Speziallampen)	50.000	13–16 (25: IR-Lampen)		▶ Verwendung von IR-Niedervoltlampen oder Austausch gegen LED-Spots: Vollwertiger Ersatz für 20–50 W Spots verfügbar
	 Halogen-Stäbe	R7s	750–10.800	2.800–3.000	100	2.000	1.000.000	15–22		▶ Vermeidung von Deckenflutern mit R7s-Lampen mit hohen Wattagen
Metallampfl.	 Metallhalogenid-Kompaktlampe	G8.5, G12, etc.	4.000–40.000	3.700–4.000	80–95	12.000–30.000	–	90–115	<ul style="list-style-type: none"> + Brillantes Licht + Hohe Energieeffizienz + Gute Farbwiedergabe - Hohe Abwärme - Lange Startzeit - Enthält Quecksilber 	▶ Ideal für Anwendungen, wo hoher Lichtstrom, hohe Brenndauer, gute Lichtqualität und Farbwiedergabe erforderlich sind: Hallen, Shops, Ausstellungen, Entertainment etc. ▶ Für Akzentbeleuchtung Prüfung von LED-Strahlern als Alternative mit folgenden Vorteilen: Kein Quecksilber, kein UV, kurze Startzeit, geringe Wärme im Lichtstrom
	 Metallhalogenid-Reflektorlampe	GX8.5	–	3.700–4.000	80–95	12.000–15.000	–	90–115		

Leuchtentypen u. beispielhafte Kennwerte effizienter Produkte (mit freundlicher Genehmigung durch die Hersteller)

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Leuchtentypen für Anwendungen im Dienstleistungssektor, ihre Vor- und Nachteile in der Praxis sowie Beispiele zu Kennwerten effizienter Produkte. Mehr dazu in **ABSCHNITT 3** des Technologieleitfadens.

Leuchtentyp & Eigenschaften	Vorteile	Nachteile	Kennwerte beispielhafter Leuchten (nach Minergie)		Leuchtenbeispiele																																		
<p>Deckeneinbauleuchte</p> <p>Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</p> <p>Typische Anwendungsbereiche: Büros, Besprechungsräume etc.</p> <p>Bei LED spezifische Designs, keine Retrofitlösungen (Röhren)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Raumwirkungsgrad Gute Blendschutzmöglichkeit Hohe Effizienz bei Spiegelraster und LED-Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> Dunkle Decke Kein Stimmungslicht 		<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/Stand-by)</td><td>44 W / 0.5 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>3.570 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><16 / <16 (längs / quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 1.200 cd / m²</td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>4.000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex</td><td>Ra 80</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50.000 h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>81 lm / W (60 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/Stand-by)	44 W / 0.5 W	Gesamtlichtstrom 25°	3.570 lm	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-	Anteil Direktlicht	100%	Abstrahlung	direkt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs / quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1.200 cd / m²	Farbtemperatur	4.000 K	Farbwiedergabeindex	Ra 80	Lebensdauer	50.000 h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	81 lm / W (60 lm / W)	<p>Zumtobel Lightfields (LED) Deckeneinbauleuchte 1 x 44 W, 625 x 625mm</p>
Leuchtenkategorie	Deckeneinbauleuchte																																						
Lampenkategorie	LED																																						
Artikelnummer	42179998																																						
Vorschaltgerät	EVG digital DALI Dimmbar																																						
Messlampe (Typ/Anzahl)	LED HO / 1																																						
Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	44 W / 0.5 W																																						
Gesamtlichtstrom 25°	3.570 lm																																						
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																						
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-																																						
Anteil Direktlicht	100%																																						
Abstrahlung	direkt strahlend																																						
Blendklasse UGR im Standardraum	<16 / <16 (längs / quer)																																						
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 1.200 cd / m²																																						
Farbtemperatur	4.000 K																																						
Farbwiedergabeindex	Ra 80																																						
Lebensdauer	50.000 h																																						
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	81 lm / W (60 lm / W)																																						
<p>Deckenanbauleuchte</p> <p>Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</p> <p>Typische Anwendungsbereiche: Büros, Besprechungsräume etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Gute Raum- und Deckenausleuchtung Gute Blendschutzmöglichkeit Breitere Lichtverteilung als Einbauleuchten 	<ul style="list-style-type: none"> Je nach Design unterschiedliche Lichtausbeute Geringe Effizienz bei opaler Abdeckung 		<table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Deckenanbauleuchte</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>Leuchtstoffröhren</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>056-611513#P</td></tr> <tr><td>Vorschaltgerät</td><td>OSRAM QTI 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/Stand-by)</td><td>39 W / 0.2 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>3.300 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><19 / <19 (längs / quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 3.000 cd / m²</td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>-</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex</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	Leuchtstoffröhren	Artikelnummer	056-611513#P	Vorschaltgerät	OSRAM QTI 1x35/49/80 DALI DIM	Messlampe (Typ/Anzahl)	FH 35W/840 Osram / 1	Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	39 W / 0.2 W	Gesamtlichtstrom 25°	3.300 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. 3.000 cd / m²	Farbtemperatur	-	Farbwiedergabeindex	-	Lebensdauer	-	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	72 lm / W (60 lm / W)	<p>XAL Mino Deckenanbauleuchte 35 W dimmbar DALI, 100 x r mp</p>
Leuchtenkategorie	Deckenanbauleuchte																																						
Lampenkategorie	Leuchtstoffröhren																																						
Artikelnummer	056-611513#P																																						
Vorschaltgerät	OSRAM QTI 1x35/49/80 DALI DIM																																						
Messlampe (Typ/Anzahl)	FH 35W/840 Osram / 1																																						
Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	39 W / 0.2 W																																						
Gesamtlichtstrom 25°	3.300 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. 3.000 cd / m²																																						
Farbtemperatur	-																																						
Farbwiedergabeindex	-																																						
Lebensdauer	-																																						
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	72 lm / W (60 lm / W)																																						
<p>Downlight</p> <p>Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</p> <p>Typische Anwendungsbereiche: Gänge, Eingangshallen, Besprechungsräume, Shops etc.</p> <p>Idealer Anwendungsbereich für LED</p>	<ul style="list-style-type: none"> hoher Raumwirkungsgrad Gute Effizienz auch in dunklen Räumen 	<ul style="list-style-type: none"> Dunkle Decke Mögliche Blendung 		<table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Downlight</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>LED</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>60813795</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/Stand-by)</td><td>25 W / 0.45 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>2.700 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><25 / <25 (längs / quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 9.000 cd / m²</td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>3.000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex</td><td>Ra 90</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50.000 h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>104 lm / W (60 lm / W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Downlight	Lampenkategorie	LED	Artikelnummer	60813795	Vorschaltgerät	LED Konverter	Messlampe (Typ/Anzahl)	LED 2700 25W / 1	Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	25 W / 0.45 W	Gesamtlichtstrom 25°	2.700 lm	Integrierte Lichtregelung	Dimmung	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-	Anteil Direktlicht	100%	Abstrahlung	direkt strahlend	Blendklasse UGR im Standardraum	<25 / <25 (längs / quer)	Max. Leuchtdichte über 65°	max. 9.000 cd / m²	Farbtemperatur	3.000 K	Farbwiedergabeindex	Ra 90	Lebensdauer	50.000 h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	104 lm / W (60 lm / W)	<p>Zumtobel Panos Infinity 200+ Downlight 25 W LG 930, dimmbar DALI</p>
Leuchtenkategorie	Downlight																																						
Lampenkategorie	LED																																						
Artikelnummer	60813795																																						
Vorschaltgerät	LED Konverter																																						
Messlampe (Typ/Anzahl)	LED 2700 25W / 1																																						
Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	25 W / 0.45 W																																						
Gesamtlichtstrom 25°	2.700 lm																																						
Integrierte Lichtregelung	Dimmung																																						
Leuchtenbetriebswirkungsgrad	-																																						
Anteil Direktlicht	100%																																						
Abstrahlung	direkt strahlend																																						
Blendklasse UGR im Standardraum	<25 / <25 (längs / quer)																																						
Max. Leuchtdichte über 65°	max. 9.000 cd / m²																																						
Farbtemperatur	3.000 K																																						
Farbwiedergabeindex	Ra 90																																						
Lebensdauer	50.000 h																																						
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	104 lm / W (60 lm / W)																																						
<p>Pendelleuchte</p> <p>Ideales Leuchtmittel: Leuchtstofflampen</p> <p>Typische Anwendungsbereiche: Besprechungsräume</p> <p>Effiziente Bauformen kombinieren direkte und indirekte Beleuchtung</p>	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Leuchtenwirkungsgrad Gute Raumausleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> Raumbedarf Installationsaufwand Verstaubung von oben 		<table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Pendelleuchte</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</td><td>Leuchtstoffröhren</td></tr> <tr><td>Artikelnummer</td><td>121 474 008</td></tr> <tr><td>Eingesetztes Vorschaltgerät</td><td>OSRAM QTI 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°</td><td>6.600 lm</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><16 / <16 (längs / quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 1.200 cd / m²</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>-</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>84 lm / W (65 lm / W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Pendelleuchte	Lampenkategorie	Leuchtstoffröhren	Artikelnummer	121 474 008	Eingesetztes Vorschaltgerät	OSRAM QTI 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°	6.600 lm	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. 1.200 cd / m²	Lebensdauer	-	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm / W (65 lm / W)	<p>Waldmann Tycoon Pendelleuchte 2 x 35 W DYP / D</p>
Leuchtenkategorie	Pendelleuchte																																						
Lampenkategorie	Leuchtstoffröhren																																						
Artikelnummer	121 474 008																																						
Eingesetztes Vorschaltgerät	OSRAM QTI 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°	6.600 lm																																						
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. 1.200 cd / m²																																						
Lebensdauer	-																																						
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm / W (65 lm / W)																																						
<p>Stehleuchte</p> <p>Ideales Leuchtmittel: Leuchtstoffröhre oder LED</p> <p>Typische Anwendungsbereiche: Büros</p> <p>Effiziente Bauformen kombinieren direkte und indirekte Beleuchtung</p>	<ul style="list-style-type: none"> Flexible Positionierung bzw. keine fixe Installation Hohe Gesamteffizienz der Lösung wegen arbeitsplatzspezifischer Positionierung 	<ul style="list-style-type: none"> Zusätzlicher Platzbedarf und Kabel am Boden Mögliche Blendung bei einfacher Rasterabdeckung Verstaubung von oben 		<table border="1"> <tr><td>Leuchtenkategorie</td><td>Stehleuchte</td></tr> <tr><td>Lampenkategorie</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/Stand-by)</td><td>109 W / 0.304 W</td></tr> <tr><td>Gesamtlichtstrom 25°</td><td>9.134 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><16 / <16 (längs / quer)</td></tr> <tr><td>Max. Leuchtdichte über 65°</td><td>max. 2.700 cd / m²</td></tr> <tr><td>Farbtemperatur</td><td>4000 K</td></tr> <tr><td>Farbwiedergabeindex</td><td>Ra 84</td></tr> <tr><td>Lebensdauer</td><td>50.000h</td></tr> <tr><td>Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)</td><td>84 lm / W (70 lm / W)</td></tr> </table>	Leuchtenkategorie	Stehleuchte	Lampenkategorie	LED	Artikelnummer	121648000 - 00547606	Vorschaltgerät	QTP DALI 80 / 220 - 240	Messlampe (Typ / Anzahl)	Preva LED / 1	Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	109 W / 0.304 W	Gesamtlichtstrom 25°	9.134 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. 2.700 cd / m²	Farbtemperatur	4000 K	Farbwiedergabeindex	Ra 84	Lebensdauer	50.000h	Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm / W (70 lm / W)	<p>Waldmann Tycoon LED Stehleuchte 1 x 105 W - DUS 504 / R</p>
Leuchtenkategorie	Stehleuchte																																						
Lampenkategorie	LED																																						
Artikelnummer	121648000 - 00547606																																						
Vorschaltgerät	QTP DALI 80 / 220 - 240																																						
Messlampe (Typ / Anzahl)	Preva LED / 1																																						
Gemessene Leistung (Betrieb/Stand-by)	109 W / 0.304 W																																						
Gesamtlichtstrom 25°	9.134 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. 2.700 cd / m²																																						
Farbtemperatur	4000 K																																						
Farbwiedergabeindex	Ra 84																																						
Lebensdauer	50.000h																																						
Leuchtenlichtausbeute (Anforderung)	84 lm / W (70 lm / W)																																						