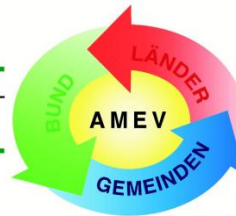




Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

Arbeitskreis Maschinen-
und Elektrotechnik



staatlicher und kom-
munaler Verwaltungen

Beleuchtung 2016

Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude

AMEV

Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen

Hinweise für die Beleuchtung öffentlicher Gebäude

(Beleuchtung 2016)

lfd. Nr.: 129

Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis
Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher
und kommunaler Verwaltungen (AMEV)
Berlin 2016

Geschäftsstelle des AMEV
im Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat B I 3

Krausenstraße 17, 10117 Berlin
Telefon: (030) 18 - 305-7136
Computerfax: (030) 18-10-305-7136
E-Mail: amev@bmub.bund.de

Der Inhalt dieser Broschüre darf für eigene Zwecke vervielfältigt werden. Eine Verwendung in nicht vom AMEV herausgegebenen Medien wie z.B. Fachartikeln oder kostenpflichtigen Veröffentlichungen ist vor der Veröffentlichung mit der AMEV-Geschäftsstelle zu vereinbaren.

Informationen über Neuerscheinungen erhalten Sie unter <http://www.amev-online.de>
oder bei der AMEV-Geschäftsstelle.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	9
1	Einleitung.....	10
2	Allgemeine Hinweise	11
2.1	Rechtliche Grundlagen	11
2.2	Lichttechnische Gütemerkmale.....	12
2.2.1	Leuchtdichtevertelung	12
2.2.2	Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit.....	13
2.2.3	Blendungsbegrenzung	15
2.2.4	Lichtrichtung und Schattigkeit	17
2.2.5	Lichtfarbe	17
2.2.6	Farbwiedergabeindex CRI (Colour Rendering Index)	18
2.2.7	Flimmern.....	18
2.3	Beleuchtungskonzepte.....	18
2.3.1	Raumbezogene Beleuchtung.....	18
2.3.2	Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung.....	19
2.3.3	Teilflächenbezogene Beleuchtung	19
2.4	Beleuchtungsarten	20
2.4.1	Direktbeleuchtung	20
2.4.2	Indirektbeleuchtung.....	21
2.4.3	Direkt-/Indirektbeleuchtung	21
2.5	Tageslicht.....	22
2.6	Wartungsfaktor.....	22
2.7	Wartungsplan.....	24
3	Auswahl der Leuchten.....	26
4	Planung von Beleuchtungsanlagen	28
4.1	Allgemeines	28
4.1.1	Anforderungen	28
4.1.2	Notwendige lichttechnische Güte.....	28
4.1.3	Art, Anzahl und Anordnung von Leuchten	28
4.1.4	Berechnung.....	29
4.2	Zusätzliche Hinweise für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen	29
5	LED-Leuchten.....	30
5.1	Schematischer Aufbau einer LED-Leuchte	30
5.2	Aufbau einer LED.....	30
5.2.1	Binning und Farbtoleranzen.....	31
5.2.2	Wärmemanagement	33
5.3	Spannungs- und Stromversorgung	35
5.4	Dimmbarkeit.....	35
5.4.1	Dimmen mit Phasendimmern.....	36
5.4.2	Dimmen durch Stromstärke	36

5.4.3	Dimmen durch Pulsweitenmodulation	36
5.5	Einschaltverzögerung, Schalthäufigkeit	36
5.6	Besonderheiten bei der Auswahl von LED-Leuchten	37
6	Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen	39
6.1	Stabförmige Leuchtstofflampen	39
6.2	Anwendungsfälle der stabförmigen Leuchtstofflampe	39
6.2.1	Anwendungen mit geringen Jahresnutzungsstunden	39
6.2.2	Direkt/indirekt strahlenden Leuchten	40
7	Hinweise und Beispiele für ausgewählte Räume mit LED-Leuchten	41
7.1	Büroräume mit Bildschirmarbeitsplätzen	41
7.1.1	Auswahl der Leuchten	42
7.1.2	Anordnung und Wahl von Bildschirmen	42
7.1.3	Leuchtdichte der Leuchten	42
7.1.4	Beispiele	43
7.2	Großraumbüros	45
7.3	CAD-Zeichenbüros	46
7.4	Unterrichtsräume	47
7.4.1	Unterrichtsräume mit gerichteter Sitzanordnung	47
7.4.2	Unterrichtsräume mit freier Sitzanordnung	48
7.4.3	Wandtafelbeleuchtung	49
7.4.4	Übungsräume für Fachbereiche	50
7.4.5	EDV-Schulungsraum	51
7.5	Hör- und Lehrsäle	51
7.6	Bibliotheken, Leseräume und -säle	52
7.7	Turn-, Sport- und Schwimmhallen	53
7.7.1	Turn- und Gymnastikhallen für Ausbildungsstätten	53
7.7.2	Sporthallen für Wettkämpfe	54
7.7.3	Schwimmhallen	55
7.8	Bettzimmer in Krankenhäusern	55
7.8.1	Allgemeinbeleuchtung	56
7.8.2	Lesebeleuchtung	56
7.8.3	Untersuchungsbeleuchtung	56
7.8.4	Übersichtsbeleuchtung	56
7.8.5	Orientierungsbeleuchtung	56
7.9	Untersuchungs-, Intensivpflege- und OP-Räume	57
7.10	Beleuchtung von Ausstellungsbereichen in Museen	57
7.11	Eingangshallen, Repräsentationsräume, Gesellschaftsräume, Cafeterien ...	57
7.12	Verkehrsflächen	58
7.13	Sanitärräumen	58
7.14	Datenverteileräume	59
8	Beleuchtung von Arbeitsstätten im Außenbereich	61
8.1	Planung von Außenbereichen mittels LED-Leuchten	61
8.2	Hinweise zu Bestandsanlagen	62

9	Notbeleuchtung.....	63
9.1	Ersatzbeleuchtung	63
9.2	Sicherheitsbeleuchtung.....	64
9.2.1	Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege.....	64
9.2.2	Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	64
9.2.3	Anti-Panik-Beleuchtung	65
9.3	Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung	65
9.4	Sicherheitszeichen.....	65
9.5	Stromversorgung	66
9.6	Batterieanlagen.....	68
9.6.1	Einzelbatterieanlage	68
9.6.2	Zentralbatterieanlage	68
9.6.3	Stromversorgungssystem mit Leistungsbegrenzung (Gruppenbatterieanlage).....	68
9.7	Ersatzstromaggregat.....	68
9.8	Instandhaltung von Notbeleuchtungseinrichtungen	69
10	Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen.....	70
10.1	Schalten, Steuern und Regeln der Beleuchtung	71
10.1.1	Allgemeines	71
10.1.2	Schalten.....	71
10.1.3	Lichtsteuerung	72
10.1.4	Lichtregelung	72
10.1.5	Gebäudeautomation	73
10.2	Auswahl von Leuchtmitteln für Bestandsanlagen.....	73
10.2.1	LED-Lampen.....	73
10.2.2	LED-Röhren.....	74
11	Messen der Beleuchtungsstärke	76
12	Hinweise für den Betrieb von Beleuchtungsanlagen	77
12.1	Instandhaltung	77
12.2	Entsorgung von Leuchtmitteln.....	77
12.3	Änderung der Raumnutzung.....	77
13	Glossar.....	78
14	Quellen.....	84
15	Anhang.....	91
15.1	Tabelle über Beleuchtungsanforderungen für Räume (Bereiche), Aufgaben und Tätigkeiten	91
15.2	Berechnungsverfahren.....	94
15.2.1	Wirkungsgradverfahren.....	94
15.2.2	Punkt zu Punkt Methode	95
15.3	Tabelle Beleuchtungswirkungsgrade (η_B) in %	96
	Mitarbeiter.....	97

Vorwort

Die Beleuchtung 2016 markiert die nennenswerteste Veränderung in der Beleuchtungstechnik seit Glühlampen in den 1960'er Jahren durch Leuchtstofflampen verdrängt worden sind. Durch die Festlegung von LED-Leuchten als Standard für die meisten Anwendungsfälle wird dies dokumentiert.

Damit gehört auch das bisherige System Lampe/Leuchte weitgehend der Vergangenheit an. Bislang bezogen sich die Innovationen mal auf die Leuchtmittel (Stabförmige Leuchtstofflampen mit 38, 26 oder 16 mm Durchmesser, Kompaktleuchtstofflampen), mal auf die Leuchte (Opal- oder Prismenabdeckung, Weiß- oder Spiegelraster zur Entblendung). Diesmal ist jedoch die gesamte Anwendung betroffen.

Neue Randbedingungen, z. B. bei der Festlegung des Wartungsfaktors, sind zu beachten. Neue Qualitätskriterien wie z. B. das Binning, die Farbstabilität und die spezifische Bemessungslebensdauer der LED-Leuchte spielen jetzt eine Rolle.

Klassische Leuchtstofflampen werden nur noch für die Anwendungsfälle (Anlagen mit geringen Nutzungsstunden bzw. Direkt-/Indirektbeleuchtung in Büroräumen) betrachtet, wo diese weiter zum Einsatz kommen.

Ergänzt wurde die Empfehlung durch weitere Musterräume, außerdem wurden bei einigen der bisherigen Beispiele alternativ Anlagen mit Direkt-/Indirektbeleuchtung betrachtet.

Die Beleuchtung 2016 ersetzt die Empfehlungen „Beleuchtung 2011“ und die 1. Ergänzung „LED-Beleuchtung 2013“.

Berlin, April 2016

Wenisch
Vorsitzender des AMEV

Speier
Obmann

1 Einleitung

Die Innenraumbeleuchtung mit natürlichem und künstlichem Licht steht im Spannungsfeld von Anforderungen aus den Bereichen:

- Physiologie,
- Psychologie,
- Technik,
- Arbeitssicherheit,
- Gestaltung,
- Wirtschaftlichkeit,
- Umweltfreundlichkeit.

Gute Beleuchtung ist eine wichtige Voraussetzung für das physische und psychische Wohlbefinden des Menschen.

Neben der Aufgabe Helligkeit, Farbe und Form der Umwelt möglichst exakt aufzunehmen, hat das Auge die Funktion, dem Organismus die Informationen der Umwelt und die täglichen bzw. jahreszeitlichen Helligkeitsschwankungen zu vermitteln. Diese stimulierende Wirkung sollte auch bei künstlicher Beleuchtung bedacht werden.

Um gute Sehbedingungen und hohes Wohlbefinden zu schaffen, sind bei der Planung von Beleuchtungsanlagen folgende lichttechnische Gütemerkmale zu beachten:

- Leuchtdichtevertelung,
- Beleuchtungsstärke,
- Blendungsbegrenzung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Lichtfarbe,
- Farbwiedergabe,
- Flimmern.

Zu den rein funktionalen Gesichtspunkten treten gestalterische Überlegungen, um die Raumidee durch Licht zu unterstreichen und das Raumerlebnis positiv zu beeinflussen.

Bereits in der Entwurfsphase von Beleuchtungsanlagen sind Wirtschaftlichkeit, geringer Instandhaltungsaufwand und sparsamer Umgang mit Energie zu berücksichtigen. Hierbei kommt insbesondere der Wirtschaftlichkeit (Investitions- und Betriebskosten) eine hohe Bedeutung zu.

Das Konzept der Beleuchtung muss daher im Zusammenwirken von Fachingenieuren und Architekten entwickelt werden.

2 Allgemeine Hinweise

2.1 Rechtliche Grundlagen

Durch die Anpassung der arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen an das EU-Recht erstreckt sich der Geltungsbereich sowohl des Arbeitsschutzgesetzes [16] als auch der Arbeitsstättenverordnung [18] sowie auf die Arbeitsstätten des öffentlichen Dienstes. Aus der Gültigkeit des Arbeitsschutzgesetzes folgt wiederum die Verpflichtung zur Einhaltung der Unfallverhütungsvorschriften. Weiterhin wurde mit der Bildschirmarbeitsverordnung [19] die 5. EG-Einzelrichtlinie über Bildschirmarbeit [1] in nationales Recht überführt.

Die wesentlichen Regelungen für die beleuchtungstechnische Gestaltung von Arbeitsplätzen in Innenräumen finden sich in den nachstehend aufgeführten arbeitsrechtlichen Regelwerken und Informationsbroschüren:

- LASI (LV 40) Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung [22]
- DGUV Information 215-442 bisher BGI 856 „Beleuchtung im Büro - Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen“ [28]
- DGUV Information 215-410 bisher BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ [29]
- DGUV Information 215-444 bisher BGI 827 „Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen“ [30]

Mit der Einführung DIN EN 12464-1 [35], DIN EN 12464-2 [36] und DIN EN 12665 [37] gilt in Deutschland und in den übrigen CEN-Mitgliedsländern ein einheitlicher Standard für die Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen und Außenbereichen. Entsprechende bisherige DIN-Normen bzw. Teile davon sind daher ungültig geworden. Teile der nationalen Normen, die nicht durch die o. a. Normen abgedeckt werden (z. B. DIN 5035-6 [45]), gelten weiterhin als „Stand der Technik“ und werden sukzessiv den vorgenannten Normen angepasst.

In der Europäischen Gemeinschaft gilt heute die EU-Richtlinie 2009/125/EG [6]. Sie definiert den Rahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von energierelevanten Produkten (Energy related Products – ErP). Die wichtigste Änderung besteht darin, dass der Geltungsbereich von energiebetriebenen Produkten (z. B. Leuchten) auf energieverbrauchsrelevante Produkte (alle Massenprodukte die im Betrieb Energie verbrauchen oder den Energieverbrauch beeinflussen, u. a. Fenster, Dämmstoffe - Fahrzeuge und Rüstungsgüter sind ausgenommen) ausgeweitet wurde.

Die weiter gefasste EU-Richtlinie 2009/15/EG wurde im Jahr 2011 durch das Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte **Energieverbrauchsrelevante Produkte Gesetz (EVPG)** [8], welches das **Energiebetriebene Produkte Gesetz (EBPG)** [7] ablöste, in deutsches Recht umgesetzt.

Die LED-Beleuchtungstechnik tangieren mit konkreten Anforderungen folgende Verordnungen:

- Verordnung EG Nr. 244/2009 [9] mit EG Nr. 859/2009 [11] gilt für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht. Der Begriff Haushaltslampen dient lediglich als Oberbegriff für verschiedene Lampentypen und bedeutet nicht die Einschränkung auf die Verwendung im privaten Sektor. Erste Produkthanforde-

rungen (Anforderungen für das Inverkehrbringen) gelten seit dem 1. September 2009.

- Verordnung EG Nr. 245/2009 [10] mit EG Nr. 347/2010 [12] gilt für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb. Diese Produkte werden hauptsächlich in der Büro-, Industrie- und Straßenbeleuchtung eingesetzt. Erste Produkthanforderungen gelten seit dem 13. April 2010.
- Verordnung EU Nr. 1194/2012 [13] zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG [6] gilt für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten. Ihre Vorgaben müssen in drei Stufen vom 01. September 2013 bis 2016 erfüllt werden.
- Verordnung EU Nr. 874/2012 [14] zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU [15] gilt für die Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten. Bei allen seit dem 01. September 2013 in den Verkehr gebrachten Lampen sind neue Anforderungen an die Etikettierung bzw. Kennzeichnung zu beachten. Insbesondere wurde das vorhandene Energieetikett auf Lampen mit gebündeltem Licht und auf Lampen für professionelle Anwendungen ausgedehnt. Seit dem 01. März 2014 sind erstmals auch (bestimmte) Leuchten kennzeichnungspflichtig. Es wurden zum 01. September 2013 neue Klassen ("A+" und "A++") oberhalb der Klasse A eingeführt, um einen besseren Überblick auch über die neuwertigen, energieeffizienteren Technologien zu ermöglichen - indem beispielsweise deutlich gemacht wird, dass effiziente LED-Lampen energieverbrauchstechnisch besser abschneiden als Kompaktleuchtstofflampen, die bisher an der Spitze der Skala eingestuft waren.

2.2 Lichttechnische Gütemerkmale

Um die Anforderungen an eine Beleuchtungsanlage optimal zu erfüllen, müssen lichttechnische Gütemerkmale beachtet werden, die im Folgenden beschrieben werden.

2.2.1 Leuchtdichte Verteilung

Eine ausgewogene und harmonische Leuchtdichte Verteilung im Gesichtsfeld trägt ganz wesentlich zur Sehleistung und zum Sehkomfort bei. Große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld führen dagegen zu einer ständigen Adaptionsarbeit der Augen. Dies führt zu frühzeitiger Ermüdung und zu Konzentrationsschwächen.

Insbesondere bei Bildschirmarbeitsplätzen kommt es bei der Leuchtdichte Verteilung zu Wechselwirkungen zwischen der Beleuchtungsanlage und den lichttechnischen Eigenschaften der Oberflächen der Raumbegrenzungsflächen, Arbeitsmittel und Einrichtungsgegenstände.

Aus lichttechnischen und wirtschaftlichen Gründen werden nur Raumbegrenzungsflächen mit folgenden Reflexionsgraden empfohlen (helle Räume):

- Decke $\geq 0,8$
- Wände (im Mittel) $\geq 0,5$
- Nutzebene bzw. Fußboden $\geq 0,3$

Für die Berechnung der Blendung ist zu beachten, dass der Reflexionsgrad von Fensterflächen max. 0,2 beträgt. Dadurch ergibt sich ein relativ niedriger Mittelwert für die Wände. Fenstervorhänge und Jalousien sind jedoch wie Wandflächen zu bewerten. Decke und Wände sollten die Glanzgrade matt bis halbmatt haben.

Für die Oberflächen der Einrichtungsgegenstände und Arbeitsflächen sind folgende Reflexionsgrade einzuhalten:

- Arbeitstische 0,3 – 0,5
- Bildschirmgehäuse, Tastatur etc. 0,3 – 0,5
- Belege, Zeichenpapier 0,5 – 0,8

Für die Möblierung sollten Oberflächen mit einem Glanzgrad matt bzw. halbmatt gewählt werden.

2.2.2 Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit

Die empfohlene Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe ist in Innenräumen gemäß den in der DIN EN 12464-1 angegebenen Wartungswerten zu wählen und darf unabhängig vom Alter und Zustand der Beleuchtungsanlage nicht unter den angegebenen Wartungswert fallen. Für Arbeitsstätten im Freien gelten die Tabellen der DIN EN 12464-2 [36].

Es ist zu beachten, dass der Bereich der Sehaufgabe hierbei je nach Beleuchtungskonzept unterschiedlich zu interpretieren ist (siehe Abschnitt 2.3).

Eine Erhöhung der Normwerte sollte nur aufgrund von erschwerten Sehbedingungen erfolgen, zum Beispiel:

- Die Sehaufgabe ist für den Arbeitsablauf kritisch.
- Die Behebung von Sehfehlern führt zu erheblichen Kosten.
- Die visuelle Genauigkeit und dadurch erreichte höhere Produktivität ist wichtig.
- Das Sehvermögen der Personen liegt unter dem Durchschnitt.
- Die Sehaufgabe besteht aus besonders kleinen Details und niedrigen Kontrasten.

Die Qualität der Beleuchtung von Arbeitsplätzen hängt von der horizontalen und vertikalen Beleuchtungsstärke sowie deren Gleichmäßigkeit im Bereich der Sehaufgabe und des Umgebungsbereiches ab. Die horizontale Beleuchtungsstärke ist die Bewertungsgröße für horizontale Flächen im Bereich der Sehaufgabe und im Umgebungsbereich. Die Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke für den unmittelbaren Umgebungsbereich von der Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe ist nach DIN EN 12464-1 bzw. ASR A3.4 [25] in Tabelle 1 dargestellt. Bei Differenzen in den Vorgaben (z. B. Verkehrswege) ist der jeweils höhere Wert zu Grunde zu legen. Um eine ausreichende Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im gesamten Raum sicherzustellen, sollten die für den unmittelbaren Umgebungsbereich vorgesehenen Werte im gesamten Umgebungsbereich vorgesehen werden.

Die erforderliche Beleuchtungsstärke ist immer auf die Nutzebene bezogen. Diese liegt in Büros und büroähnlichen Räumen nach DIN 5035-7 Bild 1b [46] 0,75 m über dem Fußboden. Bei Verkehrsflächen oder Sanitärräumen ist die Nutzebene der Fußboden. Bei Räumen für die es keine generellen Regelungen gibt (z. B. Labore) sind individuelle Anforderungen entsprechend der örtlichen Gegebenheiten zu treffen.

Weisen größere Räume Zonen unterschiedlicher Nutzung mit unterschiedlichen Anforderungen an die Beleuchtungsstärke aus (z. B. neben Büroarbeitsplätzen auch Verkehrsflächen und Lagerflächen), so ist die jeweilige Beleuchtung auf die Anforderungen der einzelnen Zonen abzustimmen (siehe hierzu auch die Beispiele in der BGR 131-2) [27]. Hierbei ist darauf zu achten, dass in den Übergangsbereichen zwischen den einzelnen Zonen sichergestellt ist, dass, bezogen auf die Bereiche mit den höheren Anforderungen an die Beleuchtungsstärke, ein unmittelbarer Umgebungsbereich in einer Breite von mindestens 0,5 m verbleibt, in dem die Anforderungen der nachfolgenden Tabelle nicht unterschritten werden. Der hieran angrenzende Bereich (Hintergrundbereich oder mittelbarer Umgebungsbereich) darf in einer Breite von mindestens 3 m einen Wert von 1/3 des unmittelbaren Umgebungsbereichs des Arbeitsplatzes mit den höheren Anforderungen nicht unterschreiten.

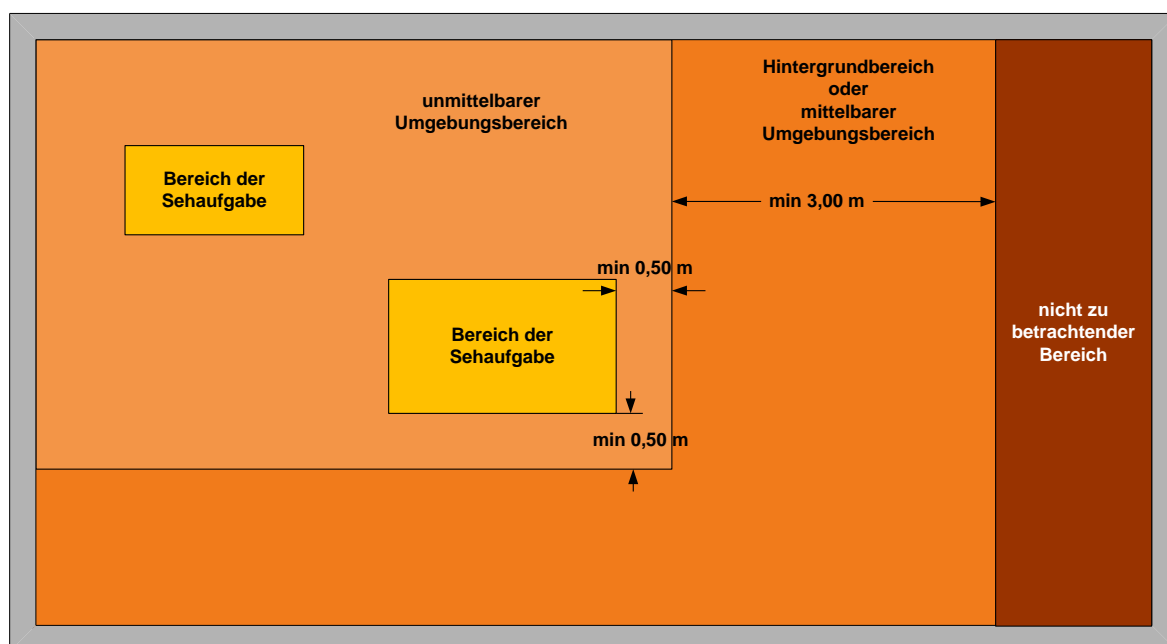


Abbildung 1: Darstellung der Lichttechnischen Bereiche

Beleuchtungsstärke		
Bereich der Sehaufgabe	unmittelbarer Umgebungsbereich	Hintergrundbereich
$\geq 750 \text{ lx}$	500 lx	167 lx
500 lx	300 lx	100 lx
300 lx	200 lx	67 lx
$\leq 200 \text{ lx}$	150 lx	50 lx
$\leq 150 \text{ lx}$	$E_{\text{Sehaufgabe}}$	50 lx

Tabelle 1: Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe / unmittelbarer Umgebungsbereich / Hintergrundbereich

Neben der mittleren Beleuchtungsstärke ist die Gleichmäßigkeit $U_0 = E_{\min} / \bar{E}$ zu beachten. Im Bereich der Sehaufgabe sollte bei Büronutzung ein Wert von $U_0 = 0,60$; im Umgebungsbereich ein Wert von $U_0 = 0,40$ und im Hintergrundbereich ein Wert von $U_0 = 0,10$ nicht unterschritten werden. Für zahlreiche Sehaufgaben bestehen im Einzelfall auch andere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit (siehe hierzu DIN EN 12464-1 Tabellen 5.1 bis 5.53¹⁾).

Die vertikale Beleuchtungsstärke ist die Bewertungsgröße für vertikale Flächen im Bereich der Sehaufgabe (z. B. Schrank- und Regalflächen) sowie für die vertikalen Raumbegrenzungsflächen (Wände). Für Lesetätigkeiten bei Schrank- und Regalflächen muss im Bereich zwischen 0,50 m und 2,00 m über dem Fußboden die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v mindestens 175 lx gemäß ASR A3.4 Anhang 1 [25] betragen. Für Wandflächen wird eine mittlere vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E}_v von mindestens 75 lx bei einer Gleichmäßigkeit von $U_0 \geq 0,10$ empfohlen.

Die zylindrische Beleuchtungsstärke (\bar{E}_z) ist die Beleuchtungsstärke, die sich auf einem senkrecht im Raum stehenden Zylinder einstellt. Alternativ ist es auch möglich einen senkrechten Quader zu berechnen und die Oberflächenhelligkeit der 4 Flächen zu mitteln. Sie ist insbesondere für das Erkennen von Gesichtern von Bedeutung.

Für das Erkennen von Formen und Strukturen ist eine ausgewogene Verteilung von diffusem und gerichtetem Licht notwendig (Modelling). Ein guter Modelling-Indikator ist das Verhältnis von zylindrischer zu horizontaler Beleuchtungsstärke (\bar{E}_z / \bar{E}_h). Dieses sollte in einer Höhe von 1,20 m den Wert von 0,33 nicht unterschreiten. Für gute visuelle Kommunikation, insbesondere in Büros, Besprechungs- und Unterrichtsräumen, muss grundsätzlich \bar{E}_z mindestens 150 lx bei einer Gleichmäßigkeit von $U_0 > 0,10$ betragen. Für alle übrigen Räume ist ein \bar{E}_z von 50 lx ausreichend.

Dabei ist zu beachten, dass ASR und DIN EN beispielsweise hinsichtlich der geforderten Gleichmäßigkeit U_0 , hier insbesondere in Verkehrswegen, Bürobereichen und Lagerräumen, unterschiedliche Vorgaben machen. Im Zweifelsfall sollte, insbesondere in öffentlichen Gebäuden bzw. Gebäuden mit Arbeitsstätten der meist höhere Wert der ASR zugrunde gelegt werden. Um eine ausreichende Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke im gesamten Raum sicherzustellen, sollten darüber hinaus die für den unmittelbaren Umgebungsbereich vorgesehenen Werte im gesamten Umgebungsbereich vorgesehen werden.

2.2.3 Blendungsbegrenzung

Störende Blendung kann als Direktblendung durch Tageslicht, leuchtende Decken oder Leuchten und als Reflexblendung durch Spiegelungen hoher Leuchtdichten auf glänzenden Flächen auftreten.

Direktblendung

Blendung, die durch zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld z. B. von Leuchten, Fenster oder beleuchteten Flächen hervorgerufen wird, bezeichnet man als Direktblendung (psychologische Blendung). Bei längerem Aufenthalt in einem solchen Bereich kann dies zu Wohlbefindlichkeitsstörungen und zu einer Verminderung der Leistungsfähigkeit führen.

¹⁾ Auszüge aus den Tabellen sind im Anhang 15.1 enthalten

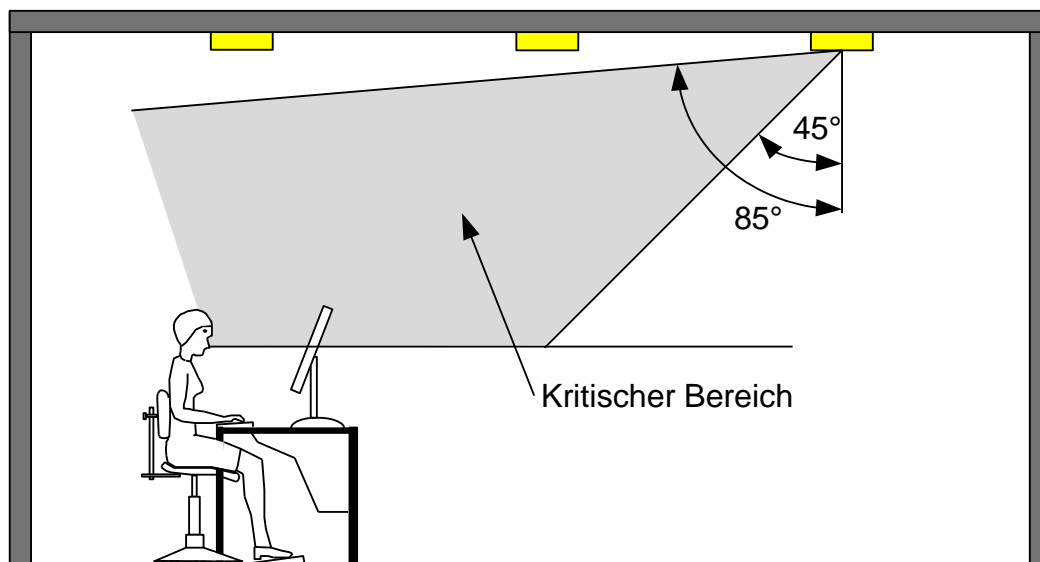


Abbildung 2: Darstellung der Direktblendung

Die Bewertung der Direktblendung durch Leuchten erfolgt gemäß DIN EN 12464-1 durch das UGR-Verfahren (Unified-Glare-Rating-Verfahren nach CIE 117). Je kleiner der nach diesem Verfahren ermittelte UGR-Wert ist, umso geringer ist die Direktblendung. Die Berechnung der UGR-Werte ist mit den heute gängigen Berechnungsprogrammen möglich. Darüber hinaus stellen die Leuchtenhersteller Tabellen, in Abhängigkeit von der Blickrichtung, für die Ermittlung der UGR-Werte für ihre Produkte zur Verfügung.

Im Allgemeinen gilt, je schwieriger die Sehaufgabe bei der zu verrichtenden Arbeit ist, umso stärker muss auf die Vermeidung von Direktblendung geachtet werden. In Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen darf der UGR-Wert nicht größer als 19 sein, unabhängig vom Beleuchtungsniveau. Die zulässigen UGR-Werte für die unterschiedlichen Räume, Aufgaben und Tätigkeiten sind dem Anhang 15.1 bzw. der DIN EN 12464-1 zu entnehmen.

Reflexblendung

Reflexblendung am Bildschirm entsteht, wenn sich helle Flächen der Umgebung z. B. Leuchten, Fenster oder beleuchtete Flächen auf dem Bildschirm spiegeln. Reflexblendung entsteht bei glänzenden Flächen im Arbeitsplatzbereich wie Hochglanzpapieren, glänzenden Teile an Telefonen oder Tastaturen, glänzenden Möbeloberflächen etc., in denen sich eine Lichtquelle spiegelt. In größeren Büros und EDV-Schulungsräumen kann die Reflexblendung durch die geeignete Anordnung der Bildschirme reduziert werden.

Die störenden Reflexionen auf dem Bildschirm können durch die richtige Beleuchtungsart bzw. die Anordnung der Leuchten in Bezug auf den Bildschirm vermieden werden. Weiterhin muss der Bildschirmarbeitsplatz zum Fenster hin ergonomisch angeordnet werden. Darüber hinaus sollten nur Bildschirme mit einer Leuchtdichte $> 200 \text{ cd/m}^2$ betrieben werden. Weitere Hinweise zu den zulässigen Leuchtdichtegrenzwerten in Abhängigkeit von den Leuchtdichten der Bildschirme (siehe Abschnitt 4, Planung von Beleuchtungsanlagen).

2.2.4 Lichtrichtung und Schattigkeit

Licht und Schatten ermöglichen das Erkennen von Gegenständen im Raum. Erst die Lichtrichtung und die Schattigkeit lassen Gegenstände plastisch erscheinen und geben ihnen Tiefe. Schlagschatten mit harten Rändern entstehen durch stark gerichtetes Licht, z. B. beim Einsatz tiefstrahlender Leuchten. Eine rein indirekte Beleuchtung ist im Allgemeinen sehr schattenarm und erschwert das räumliche Sehen.

Ein gutes Verhältnis von indirekten und direkten Lichtanteilen bewirkt eine angenehme Schattigkeit (Schatten mit weichen Rändern, siehe hierzu auch Hinweis zu Modeling im Abschnitt 2.4.3).

Bei einer Leuchtenanordnung parallel zum Fenster kann tagsüber die hintere Leuchtenreihe im Raum eventuelle Schlagschatten aufhellen. Mit abnehmendem Tageslicht wird die fensternahe Leuchtenreihe am Fenster zugeschaltet und ersetzt schließlich das natürliche Licht.

2.2.5 Lichtfarbe

Die Lichtfarbe eines Leuchtmittels bezieht sich auf die wahrgenommene Farbe des abgestrahlten Lichtes. Sie wird gemäß folgender Tabelle beschrieben.

Lichtfarbe	Ähnlichste Farbtemperatur T_{CP}
Warmweiß (ww)	Unter 3300 K
Neutralweiß (nw)	Zwischen 3300 und 5300 K
Tageslichtweiß (tw)	Über 5300 K

Tabelle 2: Lichtfarben nach DIN EN 12464-1

Die **Lichtfarbe** ist nach DIN 5033-1 [62] und DIN EN 12464-1 [35] der Farbeindruck von Licht, das direkt von einer selbstleuchtenden Lichtquelle stammt. Der zugehörige Farbreiz beruht auf der spektralen Zusammensetzung dieser Strahlung. In Verbindung mit den Farbrezeptoren im Auge und der Verarbeitung im Nervensystem und im Gehirn hat dann jedes „farbige Licht“ eine bestimmte Charakteristik, die Farbvalenz.

Die ähnlichste Farbtemperatur wird in Kelvin gemessen. Die ähnlichste Farbtemperatur einer Lichtfarbe entspricht der Farbe, die ein schwarzer Körper annimmt, wenn er auf die genannte Temperatur erhitzt wird. Generelle Empfehlungen, wann welche Lichtfarbe eingesetzt werden sollte, gibt es nicht. Es ist jedoch zu beachten, dass bei LED-Leuchten, im Gegensatz zu stabförmigen Leuchtstofflampen, mit steigender ähnlichster Farbtemperatur die Lichtausbeute ansteigt.

Der Mensch empfindet Licht höherer Farbtemperatur bei gleicher Lichtmenge heller als Licht geringerer Farbtemperatur. Warmes Licht mit einer Farbtemperatur bis 3000 K wird als beruhigend und zurückhaltend eingeschätzt. Neutralweißes Licht mit einer Farbtemperatur von 4000 K wird als natürlich und hell, und somit für allgemeine Sehaufgaben als förderlich eingeschätzt. Tageslichtweißes Licht mit einer Farbtemperatur von 6500 K wird in Innenräumen als sehr grell empfunden und sollte nur bei besonderen Sehaufgaben eingesetzt werden.

2.2.6 Farbwiedergabeindex CRI (Colour Rendering Index)

Bei der Beleuchtung mit Kunstlicht wird Wert auf ausreichende Farbwiedergabe gelegt, d. h., wie naturgetreu die Farben in diesem Licht erscheinen. Damit die Leuchtmittel hierfür eingeteilt werden können, werden diese mit Hilfe des Color Rendering Index (R_a) klassifiziert. Je höher der R_a -Wert eines Leuchtmittels ist, umso natürlicher ist die Farbwiedergabe. Das Sonnenlicht und das Licht von Glühlampen werden hierfür als Referenzlicht verwendet und weisen einen R_a -Wert von 100 auf. Die Farbwiedergabe von LED ist mit der von Leuchtstofflampen vergleichbar. Eine LED mit einer niedrigeren ähnlichsten Farbtemperatur (Warmweiß) hat in der Regel einen höheren Farbwiedergabeindex, als eine LED mit einer höheren ähnlichsten Farbtemperatur (Kaltweiß).

Lampe	R_a -Wert
Glühlampe, Sonnenlicht	100
Leuchtstofflampe, weiß	80...98
LED	60...98
Halogen-Metaldampflampe	60...95
Natriumdampf-Hochdrucklampe	≥ 40

Tabelle 3: Farbwiedergabeindex

2.2.7 Flimmern

Beleuchtungsanlagen in Innenräumen, in denen Menschen arbeiten, sind so auszuliegen, dass Flimmern oder stroboskopische Effekte vermieden werden.

LED-Leuchten die nicht gedimmt betrieben werden, sind hinsichtlich der Flimmerneigung unkritisch. Beim Einsatz von Retrofit-Lampen trifft dieses nicht immer zu.

Bei bestimmten Dimm-Verfahren können jedoch Flimmererscheinungen auftreten (siehe Abschnitt 5.4).

2.3 Beleuchtungskonzepte

Bei der Innenraumbelichtung unterscheidet man drei Beleuchtungskonzepte:

- Raumbezogene Beleuchtung
- Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung
- Teilflächenbezogene Beleuchtung

2.3.1 Raumbezogene Beleuchtung

Unter dem Beleuchtungskonzept „Raumbezogene Beleuchtung“ wird eine gleichmäßige Beleuchtung über den gesamten Raum verstanden. Hierbei wird die erforderliche Anzahl von Leuchten gleichmäßig über den Raum verteilt. Eine Anordnung in Reihen parallel zur Fensterfront ist dabei vorteilhaft. Die Reihen können aus Lichtbändern oder aus Einzelleuchten bestehen. Neben den Anforderungen an die Beleuchtungsstärke ist die Begrenzung der Blendung für Bildschirmarbeitsplätze im

gesamten Raum einzuhalten. Diese „Raumbezogene Beleuchtung“ schafft an allen Stellen etwa gleiche Sehbedingungen. Der Bereich der Sehaufgabe nach DIN EN 12464-1 entspricht damit grundsätzlich dem kompletten Raum. Bei der Beleuchtungsberechnung kann ein Randstreifen von 0,50 m Breite unberücksichtigt bleiben, wenn sich dort keine Bereiche mit Sehaufgaben befinden.

Die raumbezogene Beleuchtung wird angewendet in großen Räumen, bei denen eine örtliche Zuordnung der Sehbereiche nicht bekannt ist oder nicht auf Dauer festgelegt werden kann (z. B. Sitzungsräume, Großraumbüros, Klassenräume, Hör-, Lehr- und Lesesäle, Sporthallen, Werkstätten, Verkehrsflächen).

2.3.2 Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung

Unter dem Beleuchtungskonzept „Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung“ wird eine Beleuchtung verstanden, bei der die Anordnung der Beleuchtungskörper hinsichtlich der Lage des Arbeitsbereichs, oder bei mehreren Arbeitsbereichen innerhalb eines Raumes, optimiert wird. Der Bereich der Sehaufgabe nach DIN EN 12464-1 entspricht in etwa dem Arbeitsbereich nach DGUV 215-410 [29] und ASR A3.4 [25].

Bei diesem Beleuchtungskonzept werden für die einzelnen Arbeitsbereiche und den Umgebungsbereich unterschiedliche Lichtzonen geschaffen, die die Raumatmosphäre positiv beeinflussen. Hierbei muss jedoch auf eine ausgewogene Beleuchtungsstärkeverteilung im Raum geachtet werden.

Der Bereich um den „Bereich der Sehaufgabe“ wird als „unmittelbarer Umgebungsbereich“ betrachtet. Auch hier kann ein Randstreifen von 0,5 m als „mittelbarer Umgebungsbereich“ unberücksichtigt bleiben, unter der Voraussetzung, dass die Mindestbreite des „unmittelbaren Umgebungsbereichs“ von $\geq 0,5$ m eingehalten wird (siehe Abbildung 1).

Für fensternahe Arbeitsbereiche werden die Leuchtenreihen nicht raumsymmetrisch, sondern zur Fensterseite hin versetzt angeordnet, um die gleiche Lichtrichtung wie bei Tageslicht zu erreichen. Dadurch werden störende Schatten weitgehend vermieden. Die Leuchten werden in Reihen gleichlaufend zur Hauptblickrichtung angeordnet; also bei gerichteter Sitzanordnung grundsätzlich parallel zur Hauptfensterfront. Bei dem Arbeitsbereich „Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen“ sind die vertikalen Flächen im Bereich von 0,50 m bis 2,00 m über dem Boden zu berücksichtigen.

Die arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung hat sich in öffentlichen Gebäuden hinsichtlich Sehbedingungen, Tageslichtnutzung, Wirtschaftlichkeit und Energieeinsparung am besten bewährt und ist das am häufigsten angewandte Beleuchtungskonzept in verwaltungstypischen Büroräumen mit fensternen Arbeitsplätzen. Sie wird grundsätzlich empfohlen, falls nicht im begründeten Sonderfall spezielle Anforderungen an die Anordnung der Arbeitsbereiche festgelegt werden.

2.3.3 Teilflächenbezogene Beleuchtung

Die teilflächenbezogene Beleuchtung ist eine Beleuchtung, mit der einzelne Zonen **innerhalb** des Arbeitsbereichs individuell beleuchtet werden. Auch bei dem Konzept einer teilflächenbezogenen Beleuchtung entspricht der Bereich der Sehaufgabe nach DIN 12464-1 dem Arbeitsbereich; die Teilfläche wird jedoch zusätzlich mit einem erhöhten Beleuchtungsniveau ausgeleuchtet.

Den Teilflächen sind besonderen Sehaufgaben zugeordnet. Eine teilflächenbezogene Beleuchtung wird über die Beleuchtung des Arbeitsbereichs hinaus empfohlen, wenn:

- die Beleuchtung an unterschiedliche Sehaufgaben innerhalb des Arbeitsbereichs anzupassen ist,
- sehr hohe Beleuchtungsstärken oder eine gerichtete Beleuchtung erforderlich sind, z. B. bei Zeichenarbeiten, feinmechanischen Tätigkeiten,
- hohe Einbauten die Beleuchtung abschatten, z. B. Verteilplätze bei Briefverteilung, Arbeitsplätze unter Fördereinrichtungen, Registraturen.

Wenn eine teilflächenbezogene Beleuchtung vorgesehen werden soll, ist nach der DGUV Information 215-442 [28] eine Teilfläche von mindestens 600 mm x 600 mm vorzusehen. Diese soll sich vom Beleuchtungsniveau des restlichen Arbeitsbereichs abheben. Dies würde bedeuten, dass bei Büroarbeitsplätzen mit „Bildschirmarbeit“ ($\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$) die Teilfläche mit $\bar{E}_m \geq 750 \text{ lx}$ ausgeleuchtet werden muss. Zwischen Arbeitsbereich und Teilfläche soll ein weicher Übergang der Beleuchtungsstärke vorhanden sein.

Da die teilflächenbezogene Beleuchtung zu einem erhöhten Beleuchtungsniveau in der Teilfläche führt, kommt eine Realisierung nur in begründeten Sonderfällen in Frage.

Es muss außerdem sichergestellt werden, dass die teilflächenbezogene Beleuchtung nur in Verbindung mit der allgemeinen Beleuchtung des Arbeitsbereichs betrieben werden kann. Bei ausschließlichem Betrieb der individuellen Beleuchtung der Teilfläche kommt es zu extrem ungleichmäßigen Leuchtdichteverteilungen, die sich sehr negativ auswirken.

Zur Realisierung einer teilflächenbezogenen Beleuchtung können in Ausnahmefällen alternativ zu Deckenleuchten auch ortsveränderliche Leuchten (z. B. Stehleuchten) genutzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass Stolperstellen durch die elektrischen Anschlussleitungen entstehen und die Betriebskosten sich durch die regelmäßig durchzuführenden elektrischen Sicherheitsprüfungen nach DGUV-Vorschrift 3 [31] erhöhen.

2.4 Beleuchtungsarten

In Abhängigkeit von der Lichtstromverteilung der Leuchten unterscheidet man folgende Beleuchtungsarten:

- Direktbeleuchtung
- Indirektbeleuchtung
- Direkt-/Indirektbeleuchtung

2.4.1 Direktbeleuchtung

Bei der Direktbeleuchtung wird der Lichtstrom unmittelbar auf die Arbeitsflächen gerichtet und dadurch, aufgrund deutlich geringerer Reflexionsverluste an der Decke, insgesamt ein höherer Beleuchtungswirkungsgrad erzielt. Diese Leuchten sind meist als Deckenanbauleuchten, Deckeneinbauleuchten oder als Pendelleuchten ausgeführt. Je nachdem, in welchen Räumen, Bereichen, Aufgaben und Tätigkeiten direktstrahlende Leuchten eingesetzt werden, sind diese in der geeigneten Leuchten-Technik auszuwählen.

Da bei dieser Beleuchtungsart üblicher Weise kein direktes Licht an die Decke fällt, erscheint diese deshalb meist relativ dunkel. Dadurch ergeben sich hohe Kontraste zwischen Leuchte und Deckenbereich

An Bildschirmarbeitsplätzen ist bei der Wahl direktstrahlender Leuchten die Positionierung der Leuchten zu den Arbeitsplätzen im Hinblick auf die Reflexblendung besonders wichtig (siehe Abschnitt 2.2.3). Aufgrund der hohen punktuellen Leuchtdichte kann dieses beim Einsatz direkt strahlender LED-Leuchten möglicherweise kritisch sein. Unabhängig von der gewählten Leuchtentechnik sind die Leuchten zur Vermeidung von Reflexblendungen auf der Arbeitsfläche seitlich des Arbeitsplatzes und möglichst parallel zur Blickrichtung anzuordnen.

2.4.2 Indirektbeleuchtung

Bei der Indirektbeleuchtung wird der Lichtstrom der Leuchten unmittelbar an Decke, Wände oder andere Reflexionsflächen gelenkt und von dort in den Raum und auf die relevanten Arbeitsflächen reflektiert. Es ist darauf zu achten, dass an den angestrahlten Flächen keine hellen Lichtflecken mit zu hohen Leuchtdichten entstehen. Die Lichtstärkeverteilung der Leuchten sollte daher breitstrahlend und der Deckenabstand ausreichend groß sein. Vorteil dieser Beleuchtungsart ist, dass die Leuchten weitgehend unabhängig von der Position der Arbeitsplätze angeordnet werden können.

Bei ausschließlich indirekter Beleuchtung wird jedoch das räumliche Sehen aufgrund fehlender Kontraste beeinträchtigt, da hier eine Schattigkeit weitestgehend fehlt (siehe Abschnitt 2.2.4). Zudem besteht aufgrund der Verschmutzung des nach oben gewandten Lichtaustritts ein erhöhter Instandhaltungsaufwand an den Leuchten sowie kürzere Instandhaltungsintervalle bei den Anstricharbeiten der Deckenflächen (siehe Abschnitt 2.6).

Insgesamt erfordert eine reine Indirektbeleuchtung daher im Vergleich zu direkter bzw. direkt/indirekter Beleuchtung aufgrund der Umlenkverluste über die Decke einen wesentlich erhöhten Energieeinsatz in Verbindung mit einem zusätzlich verkürzten Wartungsintervall. Reine Indirektbeleuchtung ist daher nur in begründeten Ausnahmefällen vorzusehen.

2.4.3 Direkt-/Indirektbeleuchtung

Bei Einsatz einer Direkt-/Indirektbeleuchtung wird durch die Aufhellung des Deckenbereichs der Eindruck eines Raumes verbessert. Es lässt sich hierdurch der diffuse Lichtanteil erhöhen und so eine gleichmäßigere Ausleuchtung erreichen. Darüber hinaus entsteht die gewünschte ausgewogene Schattigkeit, wodurch die räumliche Wahrnehmung und die Erkennbarkeit von Strukturen erhöht werden (Modeling).

Im Allgemeinen ist ein Verhältnis von direktem zu indirektem Anteil von 70-75 % zu 25-30 % ausreichend und wirtschaftlich vertretbar. Höhere Indirektanteile erhöhen den Energieverbrauch der Beleuchtungsanlage dagegen beträchtlich.

Es ist auf eine breitstrahlende Charakteristik für den Indirekt-Anteil der Leuchte und eine Abpendelung von mindestens 40 cm bei oben offenen Leuchten bzw. mindestens 20 cm bei Leuchten mit oberer Streuscheibe zu achten. Zur Reduzierung der Gefahr von Reflexblendungen sind helle Lichtflecken mit zu hohen Leuchtdichten an der Decke zu vermeiden. Dieser Aspekt ist besonders beim Einsatz von LED-Leuchten zu berücksichtigen.

Darüber hinaus sind bei dieser Beleuchtungsart in Verbindung mit dem Einsatz von LED-Leuchten (aufgrund des stark gerichteten Lichtaustritts) in der Regel mehrere sowohl nach oben als auch nach unten strahlende LED-Module erforderlich. Alternativ ist eine aufwändige und damit verlustbehaftete Lichtlenkung in der Leuchte möglich.

2.5 Tageslicht

Bei der Einrichtung von Arbeitsplätzen ist ein hoher Tageslichtanteil von Vorteil. Der Tageslichtanteil ist von der Größe der Fensterfläche, der Jahreszeit, der geographischen Lage und vom Wetter abhängig. In der Planungsphase sollten daher frühzeitig Lösungen untersucht werden, die die Tageslichtnutzung im hohen Maße berücksichtigen.

Ausreichendes Tageslicht, wenn möglich auch in der Raumtiefe, bei gleichzeitiger guter Sichtverbindung nach draußen wirkt sich positiv auf das Wohlbefinden und somit auf die Motivation und Produktivität aus. Nähere Angaben zu einer ausreichenden Tageslichtversorgung finden sich in Kapitel 4 der ASR A3.4 [25].

Bei der Bildschirmarbeit kann das Tageslicht auch negative Effekte haben, wie die direkte Blendung durch die Sonne und Reflexe von Fenster- oder Wandleuchtdichten über das zulässige Maß hinaus. Daher sind bei Bildschirmarbeitsplätzen die Fensterflächen mit Sonnenschutzeinrichtungen zu versehen.

2.6 Wartungsfaktor

In der DIN EN 12464-1 wird die Beleuchtungsstärke \bar{E}_m für jede Sehaufgabe als Wartungswert der Beleuchtungsstärke festgelegt. Damit ist die Beleuchtungsstärke definiert, die im laufenden Betrieb nicht unterschritten werden darf. Bei Erreichen des Grenzwertes werden Reinigungs- bzw. Instandhaltungsarbeiten (z. B. Modul-/Leuchtmitteltausch oder Leuchtenreinigung) notwendig, (siehe hierzu auch Abschnitt 2.7).

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen ist nach DIN EN 12464-1 (siehe Abschnitt 4) ein Wartungsfaktor MF (Maintenance Factor) festzulegen. Der Wartungsfaktor ist der Quotient aus dem in der Norm festgelegten Wartungswert \bar{E}_m und dem Neuwert der Beleuchtungsstärke \bar{E}_{neu} .

$$MF = \frac{\bar{E}_m [\text{lx}]}{\bar{E}_{neu} [\text{lx}]} = \text{LLMF} \times \text{LSF} \times \text{LMF} \times \text{RMF}$$

Der Wartungsfaktor MF setzt sich bei Innenraumanlagen zusammen aus den einzelnen Faktoren:

- LLMF Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (lamp lumen maintenance factor)
- LSF Lampenüberlebensfaktor (lamp survival factor)
- LMF Leuchten-Wartungsfaktor (luminaire maintenance factor)
- RMF Raum-Wartungsfaktor. (room maintenance factor)

Dabei ist der Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor LLMF den spezifischen Leuchtendaten des Herstellers (Leuchten-Datenblatt) zu entnehmen.

Der Lampenüberlebensfaktor LSF von LED-Leuchten kann mit 1 angesetzt werden, wenn ein (sofortiger) Einzelaustausch von defekten LED-Modulen erfolgt bzw. der zugrunde gelegte Nutzungszeitraum der Leuchte deutlich unterhalb der spezifischen Bemessungslebensdauer liegt.

Der Leuchten-Wartungsfaktor LMF ist u. a., wie auch bereits bei konventionellen Leuchten, abhängig vom Lichtlenkungssystem bzw. der Direkt-/Indirektaufteilung des Lichtstromes der gewählten Leuchte.

Der Raum-Wartungsfaktor RMF ist wie bisher auch zu ermitteln und unabhängig von der verwendeten Leuchten-Technik.

Unter Berücksichtigung des gewählten Wartungsfaktors MF ist ein Wartungsplan zu erstellen, mit dem sichergestellt werden muss, dass der Wartungswert der Beleuchtungsstärke zu keinem Zeitpunkt unterschritten wird.

Da der ermittelte Wartungsfaktor großen Einfluss auf die Energieeffizienz der Beleuchtungsanlage hat, sind die für seine Ermittlung getroffenen Annahmen so zu optimieren, dass sich ein möglichst hoher Wert ergibt.

Für die Beleuchtungsanlagen mit stabförmigen Leuchtstofflampen gibt es für die einzelnen Faktoren genug Erfahrungswerte und entsprechende Informationen in der einschlägigen Literatur. Für alle Innenräume, wie Büros, Besprechungsräume, Klassenräume, etc., die regelmäßig gereinigt werden, wird unverändert ein Referenz-Wartungsfaktor von **0,8** empfohlen.

Hinsichtlich des Wartungsfaktors MF für LED-Leuchten zeichnet sich ab, dass dieser tendenziell eher kleiner ist, da einzelne Faktoren hier ungünstiger ausfallen.

Bei LED-Leuchten ist eine generelle Aussage zum Wartungsfaktor derzeit nicht möglich. Jede LED-Leuchte hat in der Praxis ihren eigenen spezifischen Wartungsfaktor. Das macht es derzeit unmöglich einen allgemeingültigen Wert zu definieren. Daher sind die Hersteller dazu übergegangen praktisch handhabbare Wartungsfaktortabellen zu veröffentlichen, die einen Lampenlichtstrom-Wartungsfaktor (LMMF) im Bezug einer Leuchtenklassifizierung $L_x B_y$ zur geplanten Betriebsdauer angeben. Die beiden Werte werden wie folgt definiert:

Bemessungslebensdauer L_x

Die Bemessungslebensdauer L_x ist der Zeitpunkt, bei dem der vorhandene Lichtstrom der LED-Leuchte auf einen prozentualen Wert x des ursprünglichen Lichtstroms zurückgeht. So beschreiben z. B. L80 oder L70, dass sich die angegebene Lebensdauer auf den Zeitpunkt bezieht, zu dem noch 80 % oder 70 % des Neuwertes des Lichtstromes erreicht werden. Bei einem Vergleich unterschiedlicher LED-Leuchten ist daher nicht nur die eigentliche Lebensdauer in Stunden von Interesse, sondern insbesondere die Angabe des Wertes x von L_x , der Hersteller- und gegebenenfalls auch Produktspezifisch unterschiedlich sein kann. Bei verschiedenen Leuchten mit gleicher Bemessungslebensdauer (z. B. 50.000 h) bedeutet dies, dass die Leuchten mit dem höheren x -Wert (L80) höhere Lichtströme erreichten, als die Leuchten mit niedrigerem x -Wert (L70). Als Folge müssen in einer ausgeführten Beleuchtungsanlage eine größere Anzahl von Leuchten mit niedrigerem x -Wert oder alternativ Leuchten mit höheren Lichtströmen installiert werden, was in der Regel höhere Anschlussleistungen erfordert [61].

Gradueller Ausfall B_y

Der prozentuale Anteil der Ausfälle B_y durch den allmählichen Lichtstromrückgang beschreibt den Anteil der LED-Leuchten, die am definierten Lebensdauerende den angestrebten Lichtstrom von y Prozent (siehe L_x) unterschreiten. So bedeutet z. B. L80 B10 50.000 h, dass nur 10 % der noch funktionstüchtigen LED-Leuchten nach

50.000 h 80 % des Neuwertes des Leuchtenlichtstroms unterschreiten. Bei L80 B50 50.000 h unterschreiten bereits 50 % der Leuchten 80 % des Neuwertes des Leuchtenlichtstroms. Ist in Daten für LED-Leuchten kein Wert für B_y angegeben, gelten die Daten für die Einstufung B50.

Dieser graduelle Ausfall kann durch allmählichen Rückgang des Lichtstroms oder durch Ausfälle einzelner LEDs auf dem Modul entstehen [61].

Totalausfall C_Y

Die Totalausfallrate bei LED-Leuchten wird mit dem C_Y -Wert angegeben und definiert mit:

Der prozentuale Anteil der LED-Leuchten, die bis zum Erreichen der angegebenen Lebensdauer vollständig ausgefallen sind, also kein Licht mehr abgeben, werden als Totalausfall C_Y angegeben. LED-Leuchten mit nur einzelnen ausgefallenen LEDs oder auch LED-Leuchten, bei denen nur einzelne LED-Module von mehreren ausgefallen sind gelten nicht als Totalausfall [61].

Bei dieser Betrachtung ist, wie auch bereits bei Leuchten mit Leuchtstofflampen (hier das Vorschaltgerät), der Ausfall von Treibern und anderen elektronischen Bauteilen in einer LED-Leuchte **nicht** berücksichtigt.

Bemessungslebensdauerwerte bei, 50000 h		Betriebsdauer	
		25.000 h	50.000 h
L80, B10	LLMF	0,93	0,85
	LSF	1	1
L80, B50	LLMF	0,9	0,8
	LSF	1	0,99
L70, B10	LLMF	0,87	0,74
	LSF	1	0,98
L70, B50	LLMF	0,85	0,7
	LSF	1	0,96

Tabelle 4: Beispielhafte Faktoren LLMF und LSF

2.7 Wartungsplan

In der DIN EN 12464-1 wird unter Pkt. 6.6 festgelegt, dass für Beleuchtungsanlagen ein Wartungsplan entsprechend dem Pkt. 4.10 erstellt werden muss (siehe Abschnitt 2.6 Wartungsfaktor). Das Erstellen eines Wartungsplans für die Beleuchtungsanlage ist Bestandteil der Planung. Anzugeben sind die Intervalle:

- für den Lampenwechsel (soweit möglich bzw. notwendig)
- für die Reinigung der Leuchten
- für die Reinigung des Raumes
- gegebenenfalls die Reinigungsmethoden.

Die Beleuchtungsanlage muss so geplant und ausgeführt werden, dass die Beleuchtungskörper für Wartungsarbeiten gut zugänglich sind.

Es ist zu beachten, dass hier der Begriff Wartung wie in DIN 12464 verwendet wurde und nicht wie davon abweichend in DIN 31051 [32] festgelegt.

3 Auswahl der Leuchten

Die Aufgabe der Leuchte besteht darin, den Lichtstrom der Leuchtmittel den Sehansforderungen entsprechend mit möglichst hohem Wirkungsgrad auf die Nutzebene zu lenken. Darüber hinaus schützt die Leuchte die Leuchtmittel gegen äußere Einflüsse und enthält die technisch notwendigen Teile zur Aufnahme und Funktion der Leuchtmittel.

Entsprechend der Vielzahl von Leuchtmitteln, der Sehaufgaben sowie architektonischen Aspekten ist der Leuchtenmarkt schwer überschaubar. Wesentliche Unterscheidungskriterien sind:

- Leuchtengeometrie (z. B. rechteckige Leuchte, quadratische Leuchte, runde Leuchte)
- Führung des Lichtstromes (z. B. Ausstrahlungswinkel, Strahlungssymmetrie, direkte/indirekte Beleuchtung)
- Montageart (z. B. Einbauleuchte, Anbauleuchte, Pendelleuchte)
- Verwendungszweck (z. B. Bürobeleuchtung, Feuchtraum, explosionsgeschützter Bereich, Sporthalle)

Aufgabe des Beleuchtungsplaners ist es, eine wirtschaftliche und zweckmäßige Beleuchtungsanlage unter Berücksichtigung der raumgestalterischen Belange zu entwerfen. Auf eine hohe Systemlichtausbeute sowie auf Montage- und Instandhaltungsfreundlichkeit ist zu achten. Der Einsatz von Sonderleuchten (Leuchten kleinerer Serien, nicht handelsübliche Leuchten, Einzelanfertigung und ähnliches) muss wegen der hohen Investitionskosten und der schwierigen Ersatzteilbeschaffung auf besonders begründete Einzelfälle beschränkt bleiben.

Wie die Musterplanungen im Abschnitt 7 zeigen, sind grundsätzlich normgerechte Beleuchtungsanlagen ohne den Einsatz von Einzelplatzleuchten (Tisch- oder Stehleuchten) möglich. Der Einsatz von Einzelplatzleuchten sollte auf begründete Ausnahmefälle beschränkt werden. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn an einem Arbeitsplatz zeitweilig eine höhere Beleuchtungsstärke benötigt wird. Bei der Verwendung von Einzelplatzleuchten sind in jedem Fall die spezifischen Anforderungen der DIN 5035-8 [47] zu beachten. Dies betrifft insbesondere die Anforderungen an die Blendungsbegrenzung.

Bei Deckeneinbauleuchten sind u. U. höhere Montagekosten, geringere Flexibilität bei notwendigen Umrüstungen und höheren Installationskosten zu bedenken. Darüber hinaus ist hier der Brandschutz in Rettungswegen, insbesondere beim Einbau der Leuchten in klassifizierte Brandschutzdecken, zu beachten.

Für Systemdecken werden die Deckeneinbauleuchten als Einlegeleuchte verwendet, meist im 625x625 mm Rastermaß. Die Installation ist im Vergleich zur Einbauvariante sehr einfach.

Deckenanbauleuchten sind ebenfalls sehr einfach zu installieren und sollten bei direkter Beleuchtung gegenüber Einbauleuchten bevorzugt eingesetzt werden. Können in einer Beleuchtungsanlage die Leuchten aus betrieblichen und baulichen Gründen für Instandhaltungszwecke nur schwer erreicht werden, so ist insbesondere der Lampenlebensdauer besondere Beachtung zu schenken.

Leuchten müssen der Niederspannungsrichtlinie [4] und den VDE-Normen, insbesondere DIN EN 60598-1 [41], genügen; das betrifft besonders:

- die Maßnahmen zum Schutz bei direktem Berühren,
- den Schutz gegen Einfluss von Staub und Wasser,
- den Explosions- und Schlagwetterschutz,
- den Schutz gegen unzulässige Erwärmung,
- die elektromagnetische Verträglichkeit,
- die Ballwurfsicherheit,
- die Korrosionsbeständigkeit und den Schutz gegen aggressive Atmosphäre.

Leuchten müssen bei Direktmontage an oder auf normal bzw. leicht entflammbaren Baustoffen den Bestimmungen DIN VDE 0100-559 [53] genügen. Sie müssen entsprechend ihrem Einsatzort funktentstört gem. DIN EN 55015 [65] sein und den auftretenden mechanischen Beanspruchungen genügen.

Aufgrund der „Ersten Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – 1. GPSGV“ [20] sind Hersteller und Händler (Inverkehrbringer) verpflichtet, nur solche Leuchten in den Verkehr zu bringen, die „so hergestellt sind, dass sie bei einer ordnungsgemäßen Installation und Wartung sowie einer bestimmungsgemäßen Verwendung die Sicherheit von Menschen und Nutztieren sowie die Erhaltung von Sachwerten nicht gefährden“.

Die Erfüllung der Schutzziele ist durch die Hersteller von Leuchten selbst und in eigener Verantwortung (Konformitätserklärung des Herstellers) zu erklären und im Detail auf Verlangen gegenüber den staatlichen Kontrollorganen nachzuweisen. Als sichtbares Zeichen der Konformität der Leuchten mit allen einschlägigen Richtlinien hat der Hersteller bzw. Inverkehrbringer das CE-Zeichen auf der Leuchte anzubringen. Das CE-Zeichen ist im engeren Sinne kein Sicherheitszeichen, sondern nur ein Verwaltungszeichen, das aber die Erfüllung des sicherheitstechnischen Standards der EU bestätigt. Fehlt es aber auf den Leuchten, die mit CE gekennzeichnet sein müssen, ist dies für die Kontrollorgane sofort als Mangel sichtbar, und die Leuchten dürfen nicht in Verkehr gebracht bzw. verkauft oder verwendet werden.

Das „VDE“- und „ENEC“²⁾-Zeichen sind im Gegensatz zum CE-Zeichen freiwillige Zeichen, die die Qualität bestätigen. Wer sie erwirbt, unterzieht seine Produkte einer freiwilligen Qualitätskontrolle nach festen Prüf- und Zertifizierungsregeln, z. B. denen des VDE oder der europäischen ENEC-Organisation. Diese Prüfzeichen haben damit einen sehr hohen Stellenwert. Auf den Leuchten garantieren sie, dass die Leuchten nach den anerkannten Regeln der Technik hergestellt und geprüft sind.

Auf Grund dieser Tatsache ist zu empfehlen, dass nur Leuchten eingesetzt werden, die das VDE- oder ENEC-Zeichen tragen.

Durch die schnelle Entwicklung bei den LED-Leuchten ist es möglich, dass die Leuchten nur ein CE-Zeichen besitzen. Ist ein VDE-Zeichen vorhanden, ist dies ein weiteres Qualitätskriterium.

Vor der ersten Inbetriebnahme einer Beleuchtungsanlage ist durch den Auftragnehmer die Einhaltung der einschlägigen VDE-Bestimmungen schriftlich zu bescheinigen.

²⁾ European Norm Electrical Certification

4 Planung von Beleuchtungsanlagen

4.1 Allgemeines

4.1.1 Anforderungen

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen sind zunächst die Anforderungen und Gegebenheiten des zu planenden Raumes festzustellen. Es handelt sich dabei insbesondere um:

- Art der Raumnutzung und der Sehaufgabe
- Bereich oder Bereiche der Sehaufgabe
- Abmessungen
- Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen
- Hauptlichtrichtung

Die Beleuchtungsplanung sollte auf der Basis einer verbindlichen Einrichtungsplanung erfolgen, denn nur so sind optimale Lösungen möglich. Auf der Grundlage dieser Anforderungen ist zu entscheiden, welches Beleuchtungskonzept (siehe Abschnitt 2.3) und welche Beleuchtungsart (siehe Abschnitt 2.4) gewählt werden.

4.1.2 Notwendige lichttechnische Güte

Im nächsten Planungsschritt sind die sich aus der Art der Raumnutzung ergebenden notwendigen lichttechnischen Güteigenschaften, wie sie in Abschnitt 2.3 allgemein beschrieben wurden, zu ermitteln. Es handelt sich dabei um:

- Leuchtdichteverteilung entsprechend DIN EN 12464-1; Pkt. 4.2
- Beleuchtungsstärke
 - im Bereich der Sehaufgabe entsprechend DIN EN 12464-1 Pkt. 4.3.3
 - im unmittelbaren Umgebungsbereich entsprechend DIN EN 12464-1 Pkt. 4.3.4 bzw. ASR A3.4 Abschnitt 5.2
- Blendungsbegrenzung
 - Direktblendung entsprechend DIN EN 12464-1; Pkt. 4.5.2
 - Reflexblendung entsprechend DIN EN 12464-1; Pkt. 4.5.4 bzw. DGUV Information 215-410 [29] Abschnitt 4.7.2 (siehe auch 2.2.3)
- Lichtfarbe entsprechend DIN EN 12464-1; Pkt. 4.7.2, Tabelle 3
- Farbwiedergabe entsprechend DIN EN 12464-1; Pkt. 4.7.3

4.1.3 Art, Anzahl und Anordnung von Leuchten

Im nächsten Schritt werden entsprechend den ermittelten Vorgaben die zweckmäßigsten Leuchten ausgewählt. Die voraussichtliche Anzahl der notwendigen Leuchten ist festzulegen. Dies kann z. B. mit Hilfe des im Anhang 15.2.1 beschriebenen Wirkungsgradverfahrens erfolgen.

Die Anordnung der Leuchten richtet sich nach dem gewählten Beleuchtungskonzept (siehe Abschnitt 2.3). Dabei soll die Gestaltung des Arbeitsplatzes so erfolgen, dass störende Blendwirkungen, Reflexionen oder Spiegelungen vermieden werden. Die Leuchten sollen parallel zur Hauptblickrichtung und somit parallel zur Hauptfensterfront angeordnet werden. Zur Vermeidung der Reflexblendung auf den Schreibflächen sind im Allgemeinen keine Leuchten direkt über den Arbeitsplätzen anzuordnen.

Weitere Hinweise sind den Musterplanungen im Abschnitt 7 zu entnehmen.

4.1.4 Berechnung

Die Einhaltung der lichttechnischen Gütemerkmale wird in Abhängigkeit von den ausgewählten Leuchten, deren Anzahl und Anordnung mit Hilfe eines Berechnungsprogramms überprüft. Für die Berechnung der Beleuchtungsstärkeverteilung sind in der DIN EN 12464-1 Abschnitt 4.4 Mindestanforderungen an ein Beleuchtungsstärke-Raster vorgegeben. Ggf. müssen die Leuchten und ihre Anordnung so lange verändert werden, bis die Anforderungen erfüllt sind.

Der der lichttechnischen Berechnung zugrundeliegende Wartungsfaktor MF (siehe Abschnitt 2.6) ist entsprechen DIN EN 12464-1, Abschnitt 4.1 im Wartungsplan zu dokumentieren (siehe Abschnitt 2.7).

4.2 Zusätzliche Hinweise für Räume mit Bildschirmarbeitsplätzen

Um ein einwandfreies Aufnehmen der Bildschirminformationen zu gewährleisten, dürfen Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln, keine störenden Leuchtdichten aufweisen. Die mittlere Leuchtdichte einer Leuchte, die sich auf einem Bildschirm spiegelt, ohne dass störende Reflexe auftreten, ist in DIN EN 12464-1 Tabelle 4 festgelegt.

Darstellungsart	Leuchtdichte des Bildschirms	
	Hoch ($> 200 \text{ cd/m}^2$)	Mittel ($\leq 200 \text{ cd/m}^2$)
Positive Polarität (Büroanwendung)	$\leq 3000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$
Negative Polarität (CAD-Anwendung)	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

Tabelle 5: Grenzwerte der Leuchtdichte von Leuchten und hellen Raumbegrenzungsflächen, die sich in matten, entspiegelten Bildschirmen spiegeln können.

Bei Standardbildschirmen kann heute davon ausgegangen werden, dass diese mit einer Leuchtdichte von über 200 cd/m^2 betrieben werden können. Beim Einsatz von Notebooks kann nicht immer davon ausgegangen werden, dass diese eine Leuchtdichte von über 200 cd/m^2 erreichen.

Zu beachten ist, dass sich in kleinen Räumen (Ein- oder Zwei-Personen-Büros) schon aus rein geometrischen Gründen keine Leuchten im Bildschirm spiegeln können. Werden Leuchten mit einem Grenzausstrahlungswinkel $\gamma_G \leq 65^\circ$ eingesetzt, sind grundsätzlich keine Blendungsprobleme zu erwarten.

5 LED-Leuchten

5.1 Schematischer Aufbau einer LED-Leuchte

Leuchten für LED gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen. Allen gemeinsam ist die Zusammenführung der für einen ordnungsgemäßen Betrieb notwendigen Komponenten. Dazu gehören grundsätzlich Gehäuse, elektrischer Anschluss, Netzteil/Treiber und die eigentlichen LEDs. An Hand einer fiktiven „Langfeldleuchte“ ohne zusätzliche lichtlenkende Systeme sind beispielhaft die verschiedenen Komponenten skizziert:

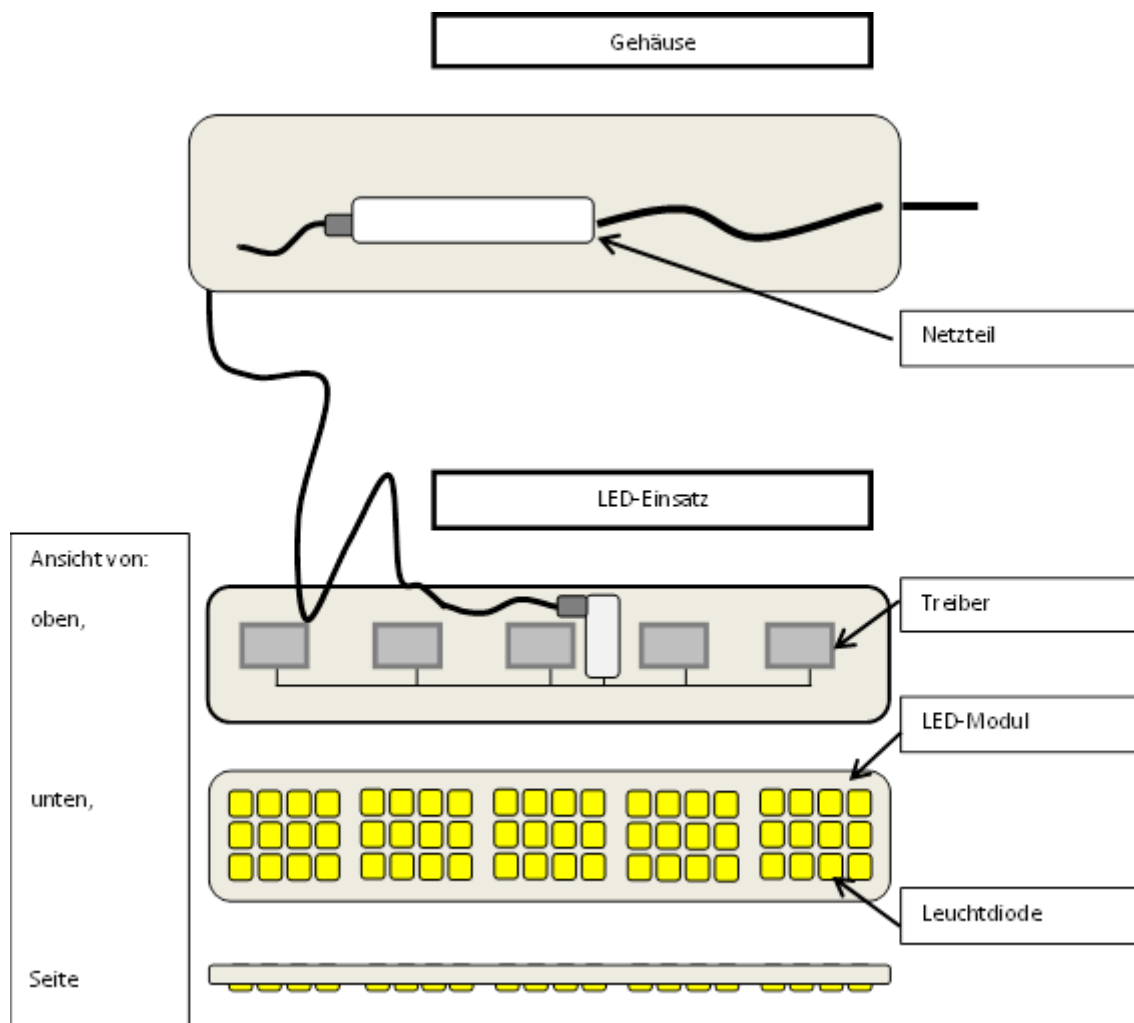


Abbildung 3: Schema LED-Leuchte

5.2 Aufbau einer LED

LED sind elektronische Bauteile aus Halbleiterkristallen. LED ist eine Abkürzung für Light Emitting Diode (lichtemittierende Diode). Der entscheidende Unterschied zu konventionellen Leuchtmitteln ist die Art der Lichterzeugung. LED basieren auf Halbleiterverbindungen, die elektrische Energie in sichtbares Licht umwandeln. LED bestehen aus einem negativ leitenden Grundhalbleiter mit einem Überschuss an Elektronen. Darüber befindet sich eine sehr dünne, positiv leitende Halbleiterschicht mit einem Mangel an Elektronen, sogenannte Löcher. Unter Spannung wandern die überzähligen Elektronen und die „Löcher“ aufeinander zu und rekombinieren in der sogenannten Sperrschicht. Die freigesetzte Energie wird im Halbleiterkristall in Strahlung umgesetzt. Zur besseren Ableitung der während des Betriebs auftretenden Wärme muss die LED auf einem thermisch leitenden Trägermaterial aufge-

bracht werden. Um sie vor Umwelteinflüssen zu schützen, werden diese Bauteile von einem stabilen Gehäuse umgeben. Reflektoren sorgen dafür, dass das Licht in einem Ausstrahlungswinkel bis zu 150° ausgestrahlt wird. Durch eine Primäroptik (Linse) wird das Licht abschließend gelenkt.

Mit LED lassen sich alle Spektralfarben erzeugen. Dies erreicht man durch die Wahl der geeigneten Halbleitermaterialien für die jeweils gewünschte Lichtfarbe der LED.

Ein Weg weißes Licht zu erzeugen besteht darin, dass eine blaue LED mit einem Lumineszenzfarbstoff kombiniert wird (Leuchtstoffkonvertierte LED). Das energiereiche blaue Licht wird zum Teil von der Konverter-Schicht absorbiert und als breitbandig längerwelliges gelbes Licht emittiert. Durch die Mischung von dem nicht absorbierten Blaulichtanteil mit dem entstandenen gelblichen Licht entsteht weißes Licht. Solch ein Licht besitzt eine relativ breite und gleichmäßige spektrale Verteilung und dadurch eine bessere Farbwiedergabe.

Eine andere Möglichkeit ist es, die Spektralfarben Rot, Grün und Blau zu mischen. Hierbei werden ein roter, grüner und blauer LED-Chip zu einer LED-Einheit zusammengesetzt (RGB-LED). Man muss jedoch zwischen dem Auge weiß erscheinendem Licht (hierzu reichen eigentlich bereits eine blaue LED mit 490 nm Wellenlänge und eine Orange-rote LED mit 600 nm aus) und dem von Oberflächen reflektierten Licht unterscheiden, da nur Spektralanteile (d. h. Farbanteile) reflektiert werden können, die auch von einer Lichtquelle angeboten werden. Dadurch, dass 3-LED eingesetzt werden müssen, hat diese Variante eine schlechtere Energieeffizienz.

Der Anwendungsbereich (Akzent-, Allgemeinbeleuchtung) bestimmt daher die Wahl der Technologie [60, 61].

5.2.1 Binning und Farbtoleranzen

Bei der Produktion von LED kommt es produktionsbedingt selbst innerhalb einer Charge zu Abweichungen in Bezug auf Lichtfarbe, Lichtstrom sowie der Durchlassspannung. Jede Leuchtdiode muss nach der Fertigung geprüft und entsprechend fein abgestufter Kriterien in sogenannte Bins eingeteilt werden, d. h. sie werden in verschiedene Klassen bzw. Gruppen einsortiert.

Ein Binning-Verfahren wird durchgeführt, um die einheitliche Bestückung einer Leuchte zu gewährleisten.

Beim Binning werden die LED sortiert nach:

- ihren Farbkoordinaten (Colour-Binning) im CIE-Normvalenzsystem. Weiße LED werden nach ähnlichster Farbtemperatur und Farbort (siehe Abbildung 5) unterschieden. Für farbige LED wird ein Binning mit Hilfe des Farbortes und der Wellenlänge durchgeführt.
- dem Lichtstrom (Flux-Binning) der LED, gemessen in Lumen (lm). Bei LED mit integrierter Optik kann anstelle des Lichtstromes auch die Lichtstärke in Candela (cd) angegeben werden.
- der Durchlassspannung (Voltage-Binning).

Bei der Ausschreibung von Beleuchtungsanlagen mit weißen LED ist zu beachten, dass man nicht wie bei Leuchtstofflampen im Leistungsverzeichnis u. a. den Zusatz nw für Neutralweiß für die Auswahl des Leuchtmittels hinzufügen kann, sondern dass die ähnlichste Farbtemperatur, der Farbort und der Lichtstrom vorgegeben werden müssen. Ferner muss u. U. beachtet werden, dass die ähnlichste Farbtem-

peratur eine Funktion der Abstrahlrichtung sein kann. Eine Änderung der ähnlichsten Farbtemperatur von etwa 1000 K zwischen Hauptausstrahlungsrichtung und seitlicher Abstrahlung ist möglich.

Für Nachbestellungen von defekten Lampen in LED Technik sollten nur Lampen eingesetzt werden, welche die gleichen Kennwerte haben wie das zu ersetzende Leuchtmittel. Die Kennwerte sind die Ergebnisse der o. a. Binning-Verfahren. Hierfür ist eine entsprechende, zurzeit nicht normierte Bezeichnung (z. B. Artikelnummer, Seriennummer, Bestellzeitraum) der Hersteller notwendig. Diese Angaben sind dann Bestandteil der Bestandsunterlagen und an den Betreiber der Anlage zu übergeben.

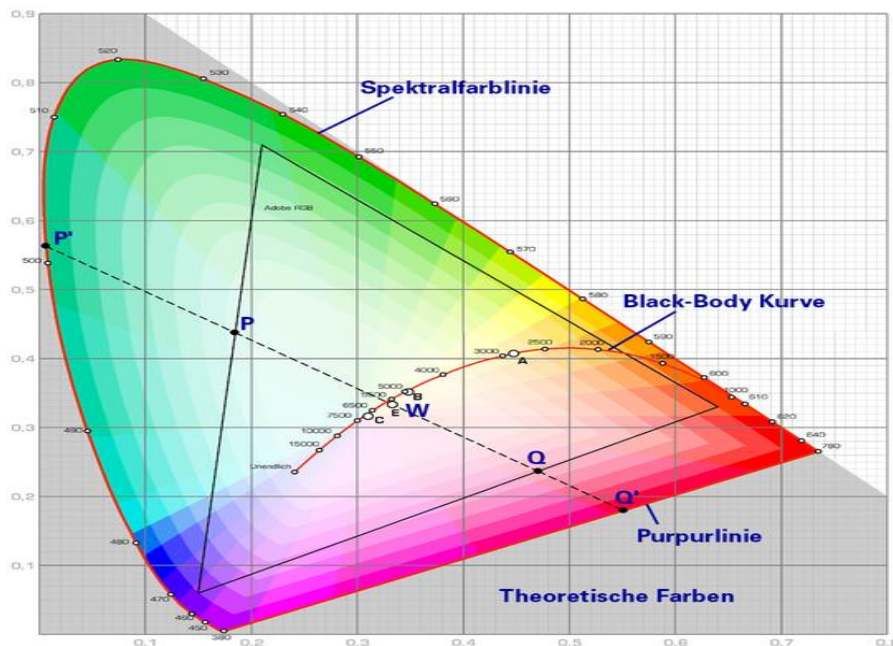


Abbildung 4: CIE-Normfarbtafel [62]

Die Farben der Grafik in der CIE-Normfarbtafel stellen eine grobe Orientierung innerhalb des Farbraumes dar. Die gesättigtsten Farbtöne befinden sich an den Kanten des Dreiecks.

Hinweis:

Das CIE-Normvalenzsystem von 1931 lässt die messtechnische Festlegung einer Farbe von Selbstleuchtern zu, welches eine Grundvoraussetzung für ein sinnvolles Binning-Verfahren ist [62].

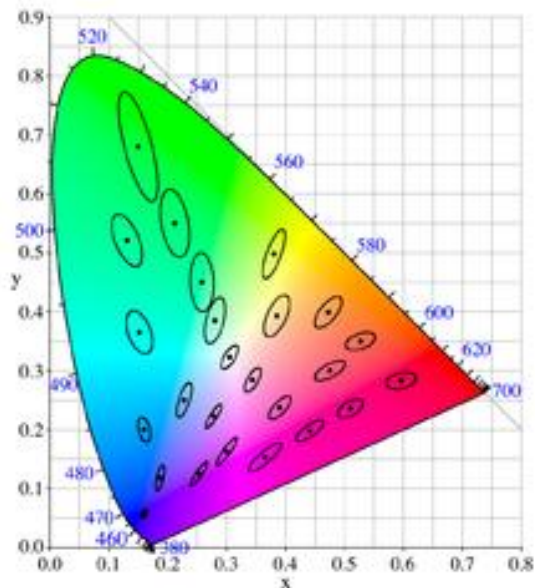


Abbildung 5: MacAdam-Ellipsen, die Ellipsen sind zur Verdeutlichung 10-fach vergrößert [62, 64].

Da das menschliche Auge verschiedene (rot, grün und blau) Farbabweichungen differenziert wahrnimmt (Farbtoleranz), wurde dies durch die MacAdam-Ellipsen im CIE-Normvalenzsystem verdeutlicht (siehe Abbildung 5). Eine Ellipse gibt den Bereich um einen Farbton an, in welchem das menschliche Auge den Eindruck hat, dass die Vergleichsfarben den gleichen Abstand zum Bezugsfarbton haben. Farbabweichungen im blau-violetten Bereich werden besser erkannt als im grünen Bereich. Deshalb sind die Ellipsen im grünen Gebiet am größten und im blauvioletten Gebiet am kleinsten. Als Maßeinheit der Ellipse wurden SDCM (Standard Deviation of Colour Matching) bzw. SWE (Schwellenwerteinheit) definiert, d. h. bei kleinen Ellipsen mit $SWE = 1$ werden die Farben innerhalb der Ellipsen als gleich angenommen. Bei $SWE = 2 - 3$ wird der Farbunterschied kaum, aber schon ab $SWE = 4$ immer deutlicher wahrgenommen.

Je kleiner das Colour-Binning durch den Hersteller gewählt wird, umso weniger Farbunterschiede sind sichtbar. Es ist bei der Planung jedoch zu berücksichtigen, dass ein kleines Color-Binning immer auch einen zusätzlichen Kostenfaktor darstellt.

5.2.2 Wärmemanagement

Bei LED-Beleuchtung wird Wärme frei. Entsprechend der LED-Leistung wird derzeit in handelsüblichen LED-Leuchten etwa ein Drittel der aufgenommenen Energie, mit steigender Tendenz, in sichtbares Licht umgewandelt. Die restliche Energie wird überwiegend in Wärme umgesetzt.

Die Wärme entsteht im Wesentlichen im Halbleiter. Diese wird größtenteils über den Kühlkörper abgegeben. Mit steigender Temperatur an der Sperrschicht der Halbleiter (Junction-Temperatur) nehmen die Lichtausbeute und die Lebensdauer der LED ab. Die Wärme muss daher über ein Wärmemanagement abgeführt werden.

Die beiden folgenden Grafiken zeigen deutlich den Einfluss der Wärme auf den Lichtstrom und die Betriebsdauer.

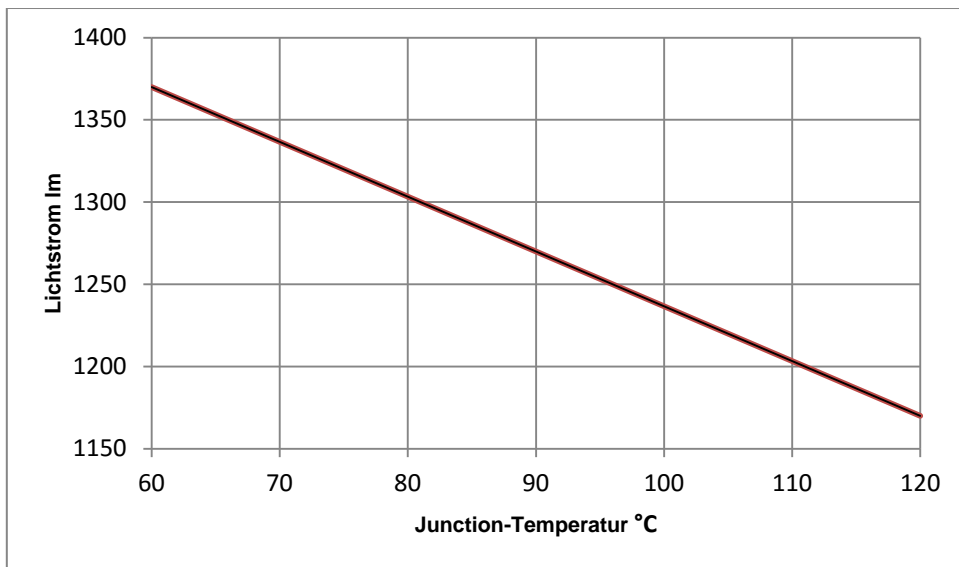


Abbildung 6: Beispielhafter Lichtstrom in Abhängigkeit von der Junction-Temperatur [60].

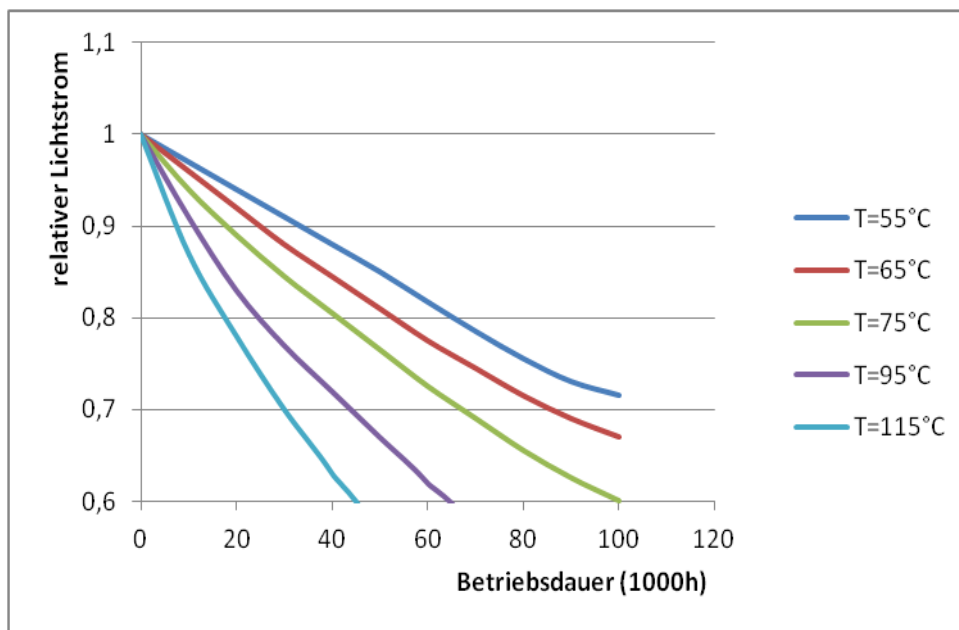


Abbildung 7: Beispielhafte relative Lichtströme in Abhängigkeit von der Junction-Temperatur und Betriebsdauer [60].

Diese Wärmeabfuhr erfolgt in mehreren Schritten, vom Halbleiter über die Anschlussfahnen und Lötunkte zur Leiterplatte und von dort auf den Kühlkörper. Der Kühlkörper gibt die Wärme über Konvektion und Strahlung an die Umgebung ab. Gerade bei Downlights sind oft aufwändig konstruierten Kühlkörper (z. B. wie in Abbildung 8 dargestellt) notwendig.

Von entscheidender Bedeutung ist daher bei LED-Leuchten die Bemessungsumgebungstemperatur. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen dem Wert t_a , der die Temperatur angibt, bei der die Leuchte maximal betrieben werden darf, und dem Wert t_q , auf den sich u. a. die Lebensdauerangaben des Herstellers beziehen.

Die Bemessungsumgebungstemperatur stellt daher ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar. Fehlt eine Temperaturangabe auf der Leuchte, beziehen sich die

Leuchtendaten immer auf eine Junction-Temperatur von 25°C (Temperatur des heißesten Punktes der Leuchte im eingeschwungenen Betrieb). Dieses führt aber zu falschen, weil unrealistischen Daten der Leuchte, da die Junction-Temperatur im eingeschwungenen Betrieb immer deutlich über dem Wert von 25°C liegt.



Abbildung 8: Beispielhafter Kühlkörper

Um eine optimale Wärmeableitung zu gewährleisten ist eine freie Luftzirkulation sehr wichtig. Besonders bei Einbauleuchten darf der Kühlkörper nicht durch Dämmmaterial abgedeckt werden.

5.3 Spannungs- und Stromversorgung

Die Treiber zur Erzeugung der Gleichspannung sind ebenfalls eine wichtige Komponente jeder LED-Beleuchtung und bestimmen somit auch in einem erheblichen Umfang deren Qualität. Bei der Konstruktion dieser Treiber und deren Einsatz muss daher auf Qualitätsmerkmale, wie Lebensdauer, Effizienz, Leistungsfaktor, EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit), Einschaltstrom und elektrische Sicherheit, geachtet werden. Auch der Treiber ist für die erhöhte Betriebsstundenzeit auszulegen. Die Ausfallrate von Treibern wird von der Industrie, z. B. mit 1 % pro 5.000 Betriebsstunden angegeben. Aus diesen Gründen müssen bei der Produktauswahl die sehr unterschiedlichen Angaben der Datenblätter der Hersteller berücksichtigt werden [60, 61].

5.4 Dimmbarkeit

Moderne Beleuchtungsanwendungen richten sich in besonderem Maße nach den Nutzungs- und Umgebungsbedingungen. Das bedeutet, dass Flexibilität erforderlich ist. Daher muss in vielen Fällen die Beleuchtungsstärke (z. B. bei tageslichtabhängigen Steuerungen) regelbar sein. Wenn gedimmt wird, ist es wichtig, dass die Effizienz und der Leistungsfaktor möglichst hoch bleiben.

Intelligente Lichtsteuergeräte ermöglichen Helligkeitsregelungen eines LED-Systems in dynamischer Weise in kleinen, für das menschliche Auge nicht wahrnehmbaren Stufen. Standardisierte digitale Schnittstellen für z. B. DMX oder DALI können ebenso wie die analoge 1-10V Schnittstelle eingesetzt werden. LED-Systeme sind in einem sehr weiten Bereich zu regeln. Leuchtstofflampen können bis auf etwa 3 %, LED sogar bis auf 0,1 % ihrer Lichtleistung gedimmt werden. Siehe auch: ZVEI „Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen“ [63].

5.4.1 Dimmen mit Phasendimmern

Zum Dimmen von LED-Lampen mit integriertem elektronischem Betriebsgerät die oft auch als Retrofit-LED bezeichnet werden, besteht häufig der Wunsch, diese über handelsübliche Phasendimmer zu betreiben. Dabei ist jedoch zu beachten, dass aufgrund der derzeit noch nicht normierten Schnittstelle zwischen Dimmer und LED-Lampe nicht jede Kombination möglich ist. Häufig ist für diese Art von Dimmern eine Mindestlast vorgegeben, die häufig von LED-Lampen nicht erreicht wird.

Zulässige und gut funktionierende Kombinationen aus beiden Komponenten müssen daher im Einzelfall den Herstellerdatenblättern oder sogenannten Kombinationslisten entnommen werden. Die Kombination eines beliebigen LED-Dimmers mit einer dimmbaren LED-Lampe kann daher funktionieren, muss aber nicht.

5.4.2 Dimmen durch Stromstärke

Eine Möglichkeit, eine LED zu dimmen, ist die Veränderung der Stromstärke. Ein großer Vorteil ist die Effizienzsteigerung bei geringer werdender Stromstärke. Problematisch erweisen sich dabei die voneinander abweichenden Spannungskennlinien der LED. Wird eine Leuchte zu stark gedimmt (<10%), können einzelne LED erlöschen, während andere noch leicht leuchten. Zu beachten ist, dass sich der Farbort der LED leicht verschiebt. Es werden gegebenenfalls Farbunterschiede sichtbar.

5.4.3 Dimmen durch Pulsweitenmodulation

Wenn ein LED-Modul mit konstanter Spannung, z. B. 10, 12 oder 24 V betrieben wird, muss die Dimmung über Pulsweitenmodulation erfolgen. Dabei fließt durch die LED der Nennstrom. Gedimmt wird, indem die LED nur einen gewissen Prozentsatz der Zeit ein- bzw. ausgeschaltet werden. Da die Impulse mit einer hohen Schaltfrequenz im Millisekundenbereich erfolgen, nimmt das menschliche Auge dies nicht wahr. Es registriert lediglich, dass die über die Zeit gemittelte Lichtstärke abnimmt. Eine gewisse Frequenz (400 Hz) darf dabei nicht unterschritten werden, denn der Mensch reagiert sonst auf das kaum wahrnehmbare Flimmern, das durch das Ein- und Ausschalten der LED entsteht. Eine zu geringe Schaltfrequenz kann zur Ermüdung führen.

Bei ungünstig gewählten Frequenzen kann es zu Stroboskopeffekten kommen, die beispielweise im Werkstattbereich in Verbindung mit rotierenden Werkstücken (Drehmaschine) die Unfallgefahr erhöhen.

Darüber hinaus kann bei der Verwendung von RGB-LED nicht nur die Helligkeit mittels Pulsweitenmodulation variiert werden, sondern auch der Farbort. Es können so etwa 16,5 Millionen verschiedene Farbtöne erzeugt werden.

5.5 Einschaltverzögerung, Schalthäufigkeit

Die LED erreichen unmittelbar nach dem Einschalten ihren maximalen Lichtstrom. Deshalb sind sie besonders für Bereiche geeignet, in denen oft und nur kurz das Licht ein- und ausgeschaltet wird, wie z. B. Flurbeleuchtung mit Bewegungsmelder.

Im Gegensatz zu Leuchtstofflampen sind sehr niedrige Umgebungstemperaturen (z. B. in Kühlräumen) beim Einschalten von LED unproblematisch. Die verbesserte Kühlung der LED führt dazu, dass der unvermeidliche Alterungsprozess verlangsamt wird.

Die Anzahl der Schaltspiele hat nach heutigen Erkenntnissen keinen Einfluss auf die Lebensdauer. Dagegen können Leuchtstofflampen, selbst bei Einsatz von Warmstart-EVG's, nicht unbegrenzt oft geschaltet werden. Dies kann sich bei häufigen Schaltspielen, z. B. in Fluren in Verbindung mit Bewegungsmeldern, durch eine erhöhte Leuchtmittelausfallrate bemerkbar machen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung ist die richtige Auslegung der Sicherungen bzw. bei über Relais geschaltete Leuchten die Auswahl der Relais.

Von den Leuchtenherstellern werden dazu Datenblätter herausgegeben, aus denen zu erkennen ist, wie viele Leuchten maximal auf einen Sicherungsabgang aufgeschaltet werden können.

5.6 Besonderheiten bei der Auswahl von LED-Leuchten

Die nachfolgende Tabelle gibt Hinweise zur Auswahl von LED-Leuchten. Um keine Priorisierung der einzelnen Punkte vorzugeben, wurde die Auflistung alphabetisch sortiert.

Anzahl der Schaltspiele	LED sind unempfindlich gegenüber einer hohen Anzahl von Schaltspielen.
Blendungsbegrenzung	LED verfügen gegenüber Leuchtstofflampen über eine mehrfach höhere Oberflächenleuchtdichte (cd/m^2). Das erfordert Maßnahmen an der Leuchte um eine ausreichende Blendungsbegrenzung sicher zu stellen.
Dimmbarkeit	Dimmbare LED-Leuchten lassen sich in der Regel (0,1% bis 100%) dimmen.
Ersatzteilkhaltung	Für LED-Leuchten sind derzeit keine normierten Bauteile auf dem Markt. Wenn z. B. bei Außenleuchten (Betriebsdauer 25 Jahre mit 4.000 h/a entspricht 100.000 Betriebsstunden) abzusehen ist, dass die vom Hersteller angegebene Bemessungslebensdauer von 50.000 bis 60.000 Stunden überschritten wird, muss sichergestellt werden, dass langfristig kompatible LED-Module erhältlich sind. Dies gilt auch sinngemäß für die Treiber.
Farbwiedergabe	Generell gilt, dass die Lichtausbeute mit steigendem Farbwiedergabe-Index R_a abnimmt. Es sind auch LED-Leuchten auf dem Markt, deren $R_a < 80$ ist und somit für einige Anwendungen (z. B. Bürobeleuchtung) nicht in Frage kommen. Unkontrolliertes Mischlicht verschiedener Farbtemperaturen von Leuchten ist zu vermeiden.
Helligkeitsempfinden	Das Spektrum der LED weicht nennenswert von dem des natürlichen Tageslichtes ab. Bedingt durch den physikalischen Prozess werden bestimmte Spektralbereiche überhöht und andere reduziert abgestrahlt. Aus diesem Grund werden die Farbtemperaturen von LED nach dem Farbeindruck definiert. Der Blauanteil bei LED ist höher als bei anderen Leuchtmitteln. Da sich das Helligkeitsempfinden des Menschen zwischen Tag- (skotoptische Bedingungen) und Nachtsehen (photoptische Bedingungen) ändert, (in der Nacht kann er besser blau Anteile sehen; am

	Tag eher die grüngelben Anteile) blenden LED in der Nacht mehr als andere Leuchtmittel bei gleicher gemessener Lichtstärke.
IR-/UV-Strahlung	LED-Leuchten eignen sich aufgrund ihres Spektrums besonders für Anwendungen, die möglichst geringe IR- und/oder UV-Anteile erfordern (z. B. Museen).
Modulbauweise	Da bei LED-Leuchten sowohl der Ausfall der LED-Module, als auch der Netzteile möglich ist sind Leuchten, bei denen die Bauteile unabhängig voneinander getauscht werden können vorteilhafter.
Recycling	Leuchtstofflampen können problemlos dem Recycling zugeführt und die verwendeten Materialien mindestens in großem Umfang wiederverwendet werden. Für LED sind derzeit noch keine Recycling-Verfahren abzusehen. Es handelt sich bei zu entsorgenden LED nicht um Sondermüll. Zu beachten sind jedoch die Regelungen für die Entsorgung von Elektrogeräten [63].
Stromversorgung	Da LED mit Gleichstrom betrieben werden, ist beim Anschluss an die 230V-Versorgung der Einsatz von Treiber (Netzteilen) notwendig. Die Treiber sollten so ausgelegt sein, dass ihre Lebensdauer mindestens die der LED erreicht.

6 Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen

6.1 Stabförmige Leuchtstofflampen

Leuchtstofflampen in Röhrenform werden allgemein mit dem Buchstaben T (Tube lamp = Röhrenform) gekennzeichnet.

Ergänzend zum führenden Buchstaben T werden bei stabförmigen Leuchtstofflampen an den Buchstaben Ziffern angehängt, die den Durchmesser des Leuchtmittels in mm wiedergeben. Es werden jedoch auch die Firmenbezeichnungen T5 (für T16) bzw. T8 (für T26) verwendet. Hier wird der Durchmesser in 1/8“ angegeben.

Die Nennlebensdauer von Leuchtstofflampen ist abhängig von der Schalzhäufigkeit und dem verwendeten Vorschaltgerät. Bei Lampen mit EVG-Betrieb sind Warmstart-EVG einzusetzen, die eine höhere Nennlebensdauer der Lampen gegenüber Kaltstart-EVG erreichen.

Der Lichtstrom von T16- bzw. T26-Leuchtstofflampen zeigt ähnliche Abhängigkeiten von der Temperatur. T16-Lampen haben ihr Lichtstrommaximum bei 35°C, während T26-Lampen ihr Maximum bei 25°C aufweisen.

Bei T16-Lampen wird zwischen Lampen mit optimaler Lichtausbeute [lm/W] (HE, High Effizient) und maximalem Lichtstrom [lm] (HO, High Output) unterschieden. Dabei erreichen bzw. überschreiten nur HE-Lampen die Lichtausbeute von T-26 Leuchtstofflampen. Die Systemlichtausbeute einer Leuchte mit T16-Lampe ist daher im Durchschnitt nicht höher als die mit einer T26-Lampe. Aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen ist zu beachten, dass grundsätzlich T16-Lampen in der HE-Ausführung zum Einsatz kommen. Es sind lichttechnisch optimierte Leuchten mit einem hohen Leuchtenbetriebswirkungsgrad auszuwählen. Die extrem schlanken Leuchtenbauarten mit schmaler Lichtaustrittsfläche erfüllen diese Anforderungen nicht. Das gleiche gilt für zweiflämmige Leuchtstofflampen bei denen die Leuchtmittel dicht nebeneinander in einem Reflektor untergebracht sind.

Weitere Hinweise zur stabförmigen Leuchtstofflampe befinden sich im AMEV-Archiv in der Beleuchtung 2011³⁾.

6.2 Anwendungsfälle der stabförmigen Leuchtstofflampe

Nach den in den letzten Jahren erfolgten technischen und wirtschaftlichen Fortschritten der LED-Leuchten erstreckt sich der Einsatz von Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen nur noch auf immer weniger Einsatzfälle. Dieses sind zum einen Anwendungen mit geringen Jahresnutzungsstunden und zu anderen Fälle bei denen direkt/indirekt strahlende Leuchten benötigt werden.

6.2.1 Anwendungen mit geringen Jahresnutzungsstunden

In Räumen bei denen von geringen Jahresnutzungsstunden (wenige hundert Stunden/Jahr) ausgegangen werden kann, tritt der Energieverbrauch einer Leuchte gegenüber den Investitionskosten in den Hintergrund. Dieses kann z. B. in untergeordneten Technik- oder Lagerräumen, die nur selten betreten werden, der Fall sein. Allerdings sollten innerhalb eines Gebäudes im Sinne einer Vereinheitlichung auch nicht zu viele verschiedene Leuchten-Typen eingesetzt werden.

³ Der Zugriff auf das AMEV-Archiv ist auf die Mitarbeiter der Bauverwaltungen (Bund, Länder, Kommunen), nach Anmeldung bei der FIB, beschränkt.

6.2.2 Direkt/indirekt strahlenden Leuchten

Derzeit sind auf dem Markt noch kaum wirtschaftliche direkt/indirekt strahlende LED-Leuchten verfügbar. Die Hersteller bieten hierzu verschiedene Lösungen an, z. B. Leuchten mit zwei entgegengesetzt strahlenden Lichttechniken oder Leuchten die seitlich in eine transparente Platte Licht einkoppeln. Deren Kosten liegen aber derzeit noch deutlich über denen von direkt/indirekt strahlenden Leuchten mit stabförmigen Leuchtstofflampen. Darüber hinaus dürfte der energetische Vorteil dieser LED-Leuchten aufgrund der erforderlichen Wattagen bzw. der zusätzlichen Umlenkverluste in der Leuchte derzeit äußerst gering sein.

Direkt/indirekt strahlenden Leuchten werden immer dann eingesetzt, wenn aufgrund der Raumhöhe eine Deckenanbau- oder Einbauleuchte nicht in Frage kommt bzw. in Räumen mittels Indirektanteil ein angenehmes Raumklima erzeugt werden soll, beispielsweise in Büroräumen.

Abbildung 1Abbildung 9 zeigt eine alternative Lösung mittels stabförmigen Leuchtstofflampen für ein 2-Personenbüro. In

Abbildung 11 ist dagegen die Ausleuchtung des gleichen Raumes mit LED-Leuchten dargestellt.

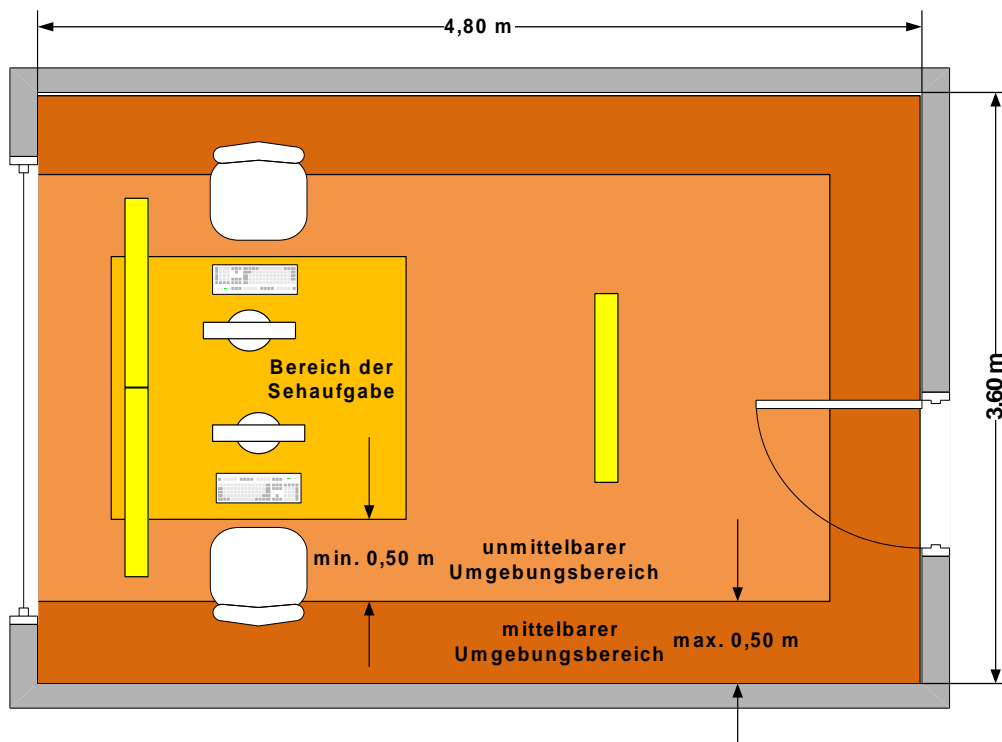


Abbildung 9: 2-Personen-Büro

3 Leuchten mit je 1 Leuchtstofflampe T16/49 W HE	
Installierte Leistung	162 W
Spezifische Leistung	9,4 W/m ²
Mittelbarer Umgebungsbereich	$\bar{E}_m \geq 100 \text{ lx}$
Unmittelbarer Umgebungsbereich	$\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$
Bereich der Sehaufgabe	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

7 Hinweise und Beispiele für ausgewählte Räume mit LED-Leuchten

Die im Folgenden gegebenen Hinweise - wie auch die tabellarische Zusammenfassung der Beleuchtungsanforderungen für Räume, Bereiche, Aufgaben und Tätigkeiten im Anhang 15.1 - berücksichtigen die allgemein üblichen Verhältnisse bei Arbeits- und Unterrichtsräumen in öffentlichen Gebäuden, die DIN-Normen, lichttechnische Forschungs- und Untersuchungsergebnisse und die Erfahrungen in staatlichen und kommunalen Verwaltungen.

Bei den nachstehenden Beispielen wird, soweit nichts anderes angegeben ist, von folgenden Rahmenbedingungen ausgegangen:

- ausreichend entblendete LED-Leuchten
- Wartungsfaktor: 0,75
- „helle“ Räume mit Reflexionsgraden von
 $\rho_{\text{Decke}} = 0,8$; $\rho_{\text{Wand}} = 0,5$ (im Mittel) und $\rho_{\text{Boden}} = 0,3$
- Farbtemperatur 4000 K
- Farbwiedergabe $R_a \geq 80$ %
- Höhe der Nutzebene 0,75 m (siehe DIN 5035-7 Bild 1b [46])

Die Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke in den nachfolgenden Beispielen erfolgte mit dem Verfahren der punktwweisen Berechnung (siehe Abschnitt 15.2.2). Die in den gerechneten Beispielen ermittelten Kennwerte (z. B. spezifische installierte Leistung) können als Vergleichswerte für eigene Planungen herangezogen werden.

Bei einigen Beispielen wurden sowohl Varianten mit Deckenaufbauleuchten (direkte Beleuchtung) als auch Pendelleuchten (Direkt-/Indirektbeleuchtung) betrachtet. Es zeigte sich, dass bei den ausgewählten Beispielen die spezifische Anschlussleistung nur unwesentlich variiert.

7.1 Büroräume mit Bildschirmarbeitsplätzen

Auf Grund der Tatsache, dass Bildschirme für Text- und Datenverarbeitung inzwischen zur üblichen Büroausstattung gehören, beziehen sich alle nachfolgenden Aussagen auf Büroräume, die mit EDV-Geräten für typische Büroanwendungen (Textverarbeitung und ähnliches) ausgestattet werden können. Im Einzelnen bestehen diese typischen Büroanwendungen in Bezug auf die Sehaufgabe aus folgenden Tätigkeiten:

- Konventionelle Büroarbeit
- Bildschirmarbeit
- Besprechung (am Schreibtisch bzw. separaten Besprechungsbereich)
- Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen

Durch die lichttechnische Gestaltung der Arbeitsplätze soll der Raumeindruck insgesamt positiv beeinflusst werden. Daher ist von Fachingenieuren und Architekten rechtzeitig ein gemeinsames Konzept zu entwickeln. Wegen der erhöhten visuellen Beanspruchung während der Bildschirmtätigkeit sind die ergonomischen Anforderungen vorrangig gegenüber den architektonischen Belangen zu erfüllen.

Räume für den Betrieb spezieller EDV-Systeme, insbesondere zur Graphikbearbeitung (CAD⁴), Bildbearbeitung, DTP⁵), unterliegen beleuchtungstechnisch besonderen Anforderungen. Siehe hierzu (siehe auch DIN EN 12464-1 [35] Abschnitt 6.2.4.9 und Tabelle 5.26.4)

7.1.1 Auswahl der Leuchten

Je nach Größe, Höhe und Ausstattung des Raumes kommen Ein- bzw. Anbauleuchten mit einer direkten Lichtverteilung oder Pendelleuchten mit einem Indirektanteil von max. 30% zum Einsatz.

Wegen der hohen Leuchtdichte von LED sind seitens der Hersteller häufig Entblendungsmaßnahmen an den Leuchten erforderlich. Diese können z. B. Mikroprismenabdeckungen oder geeignete Ausstrahlungswinkelbegrenzungen sein. Bei der Planung von LED-Beleuchtungsanlagen ist daher darauf zu achten, dass nur ausreichend entblendete Leuchten eingesetzt werden. Spezielle BAP-Leuchten sind bei Bildschirmarbeitsplätzen heute nicht mehr erforderlich.

7.1.2 Anordnung und Wahl von Bildschirmen

Zur Vermeidung störender Blendung auf dem Bildschirm ist eine an den Arbeitsplatz angepasste Auf- und Einstellung des Bildschirms, ggf. durch Veränderung des Bildschirmneigungswinkels und der Bildschirmhöhe, notwendig und vorrangig in Betracht zu ziehen. Die Anordnung der Bildschirmgeräte im Raum sollte so erfolgen, dass die Hauptblickrichtung bei der Betrachtung des Bildschirms parallel zu der Hauptfensterfront verläuft. Bei anderer Anordnung sind insbesondere Probleme mit Direkt- und Reflexblendung zu erwarten.

Sind nur wenige Bildschirmgeräte in großen Räumen, z. B. Hallen oder Großraumbüros, vorhanden, müssen nicht die gesamten Räume bildschirmgerecht hergerichtet werden; oft sind hier arbeitsplatz- oder gerätebezogene Maßnahmen zur Blendungsbegrenzung ausreichend.

Es sind matte entspiegelte Bildschirme mit einer möglichen Leuchtdichte von über 200 cd/m² einzusetzen. Die mittleren Leuchtdichten von Leuchten und Flächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln können, dürfen bei Positivdarstellung 3.000 cd/m² (siehe Abschnitt 4.2) nicht überschreiten.

7.1.3 Leuchtdichte der Leuchten

Bei matten entspiegelten Bildschirmen ist es ausreichend, Leuchten einzusetzen, deren Leuchtdichte bei einem Ausstrahlungswinkel von $\gamma > 65^\circ$ auf 3.000 cd/m² (siehe Abschnitt 4.2) begrenzt ist.

Bei Innenräumen dürfen nach DIN EN 12464-1 zur Begrenzung der Direktblendung die UGR-Werte (psychologische Blendung) nicht überschritten werden. Dies erfordert für Büroräume gemäß Abbildung 10 bis 12 auf Grund der Raumgeometrie keine besonderen Maßnahmen.

Es ist jedoch zusätzlich darauf zu achten, dass die Flächen, die sich **hinter** dem Bildschirm befinden, keine höhere Leuchtdichte als 500 cd/m² und die größeren

⁴) Computer Aided Designing

⁵) Desktop Publishing

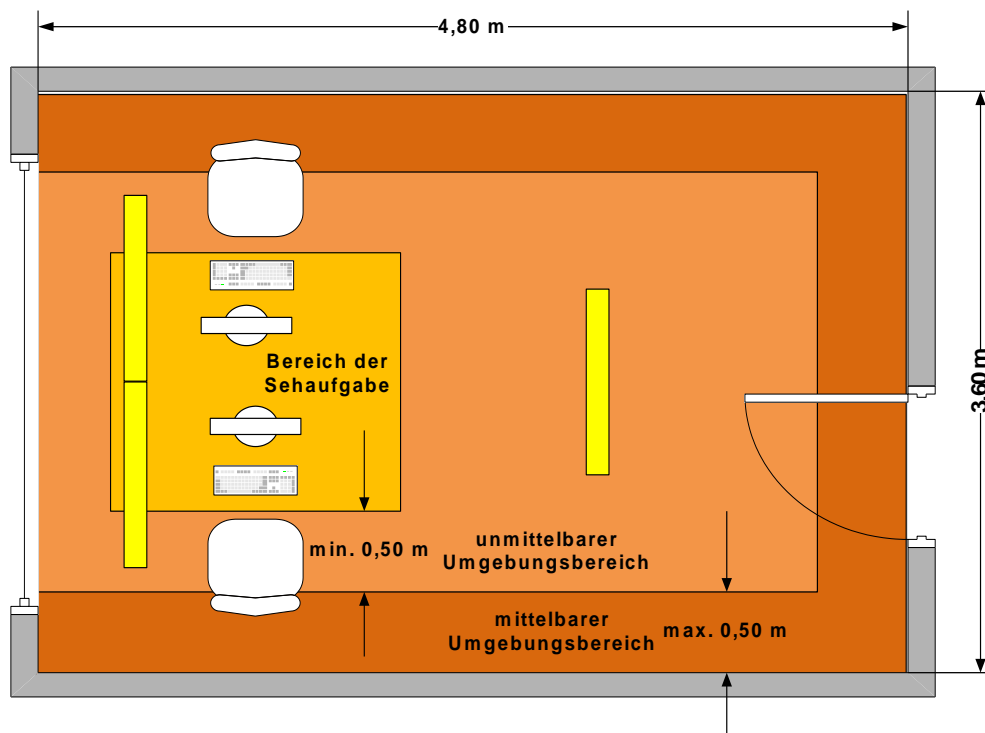


Abbildung 11: 2-Personen-Büro

3 LED-Leuchten mit je 3400 lm / 32 W

Installierte Leistung 96 W

Spezifische Leistung 5,5 W/m²

Mittelbarer Umgebungsbereich $\bar{E}_m \geq 100 \text{ lx}$

Unmittelbarer Umgebungsbereich $\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$

Bereich der Sehaufgabe $\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

Alternativ Direkt-/Indirektbeleuchtung mit Pendelleuchten

3 LED-Leuchten mit je 4100 lm/ 38,5 W

Installierte Leistung 115,5 W

Spezifische Leistung 6,7 W/m²

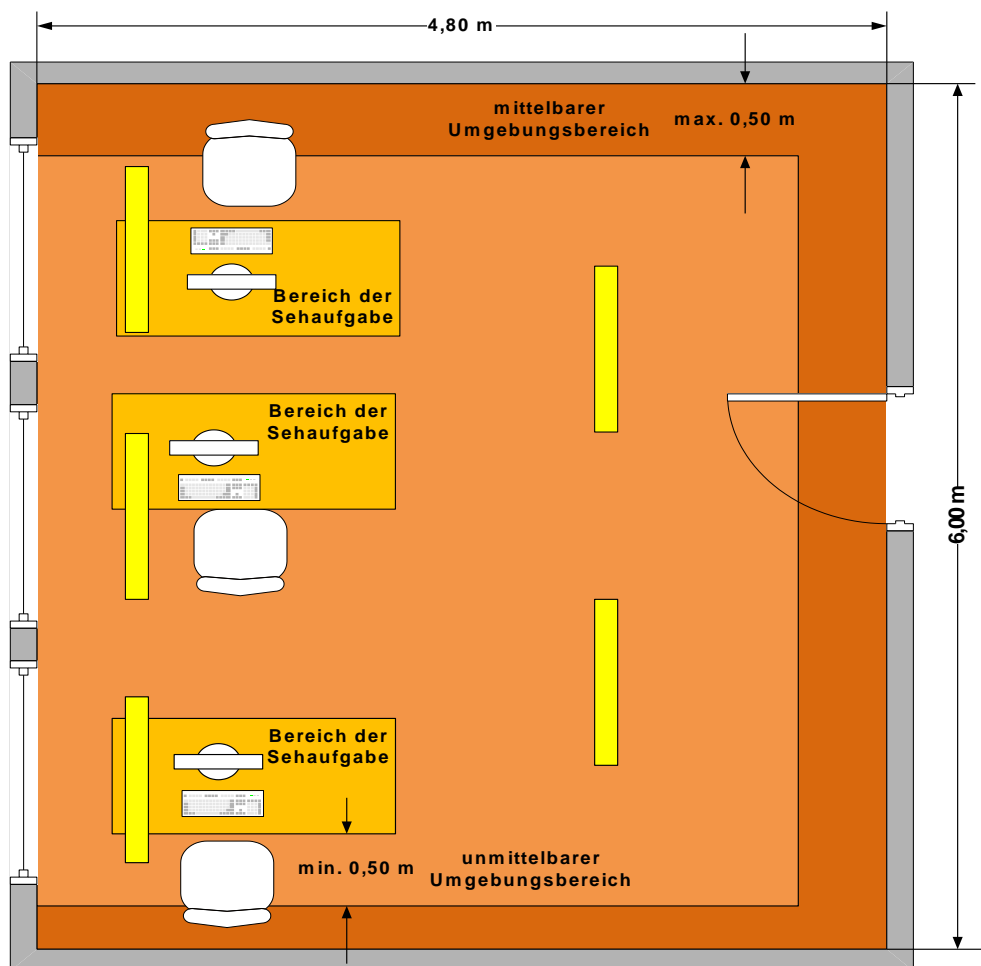


Abbildung 12: 3-Personen-Büro

5 LED-Leuchten mit je 3400 lm / 32 W

Installierte Leistung	160 W
Spezifische Leistung	5,6 W/m ²
Mittelbarer Umgebungsbereich	$\bar{E}_m \geq 100 \text{ lx}$
Unmittelbarer Umgebungsbereich	$\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$
Bereich der Sehaufgabe	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

Alternativ direkt/indirekt Beleuchtung mit Pendelleuchten

5 LED-Leuchten mit je 4100 lm/ 38,5 W

Installierte Leistung	192,5 W
Spezifische Leistung	6,7 W/m ²

7.2 Großraumbüros

In Großraumbüros mit einer flexiblen Arbeitsplatzanordnung ist eine raumbezogene Beleuchtung vorzusehen. Bei Arbeitsplätzen in Fensternähe müssen die Bildschirme rechtwinklig zur Fensterfront aufgestellt werden. Die Leuchten bzw. die Leuchtenbänder sind ebenfalls parallel zur Fensterseite anzuordnen. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Bildschirme nicht unmittelbar unter den Leuchten angeordnet werden.

Wird die Arbeitsplatzanordnung bereits bei der Planung der Raumgestaltung exakt festgelegt, kann die Raumbeleuchtung arbeitsbereichsbezogen ausgeführt werden. Dieses Beleuchtungskonzept ist bei Räumen mit unterschiedlichen Sehaufgaben und Beleuchtungsanforderungen anzuwenden. Ferner wird durch unterschiedliche

Beleuchtungsstärken innerhalb des Großraumes die Raumatmosphäre positiv beeinflusst.

Teilflächenbezogene Beleuchtungssysteme mit Stand- oder Tischleuchten sollten nur als zusätzliche Beleuchtung zur raum- oder arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung eingesetzt werden (siehe hierzu auch Abschnitt 2.3.3).

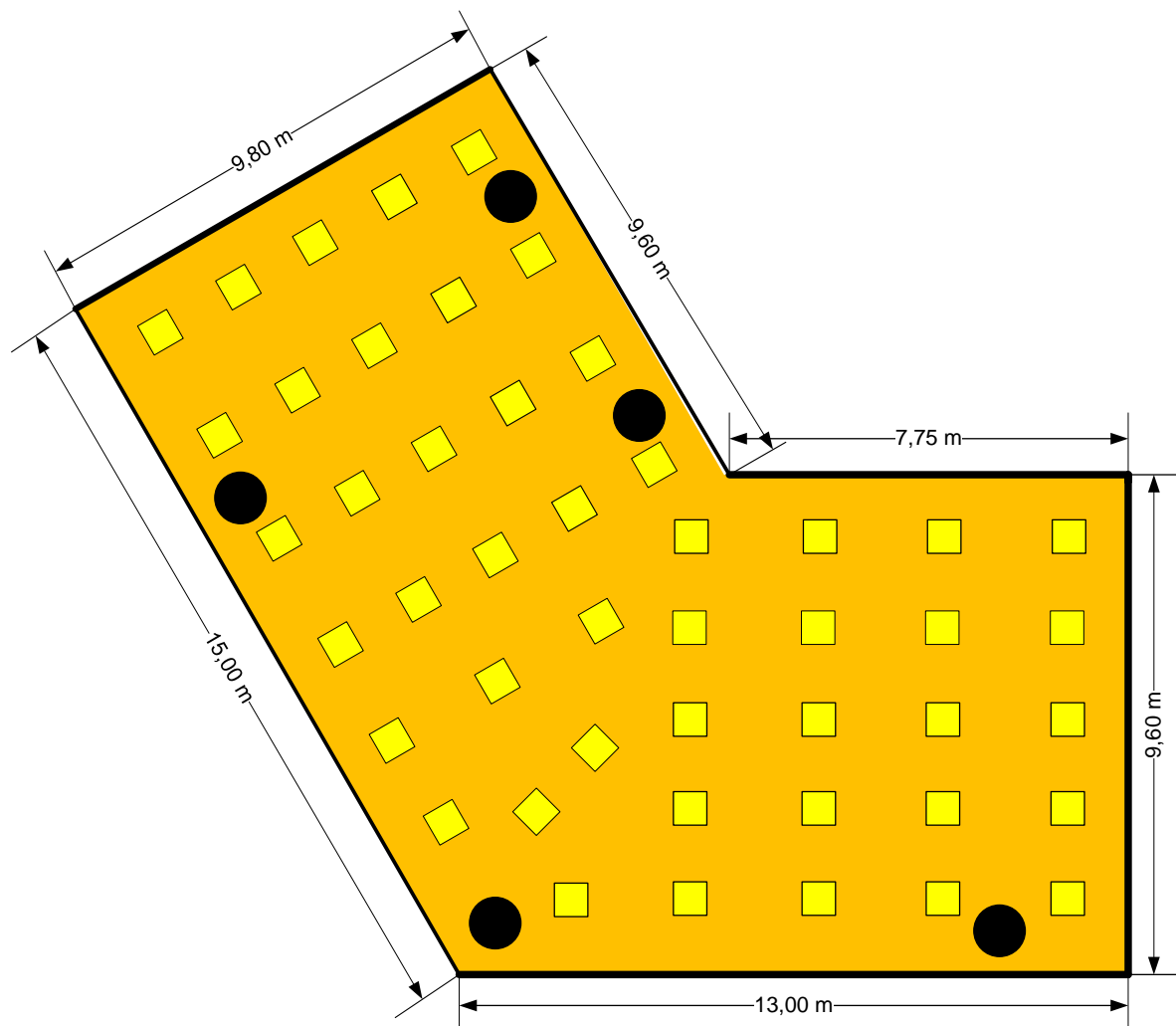


Abbildung 13: Großraumbüro

47 Deckeneinbau-LED-Leuchten mit je 2900 lm/ 26 W	
Installierte Leistung	1222 W
Spezifische Leistung	5,7 W/m ²
Nutzebene	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

7.3 CAD-Zeichenbüros

In den CAD-Zeichenbüros wird häufig in der Negativdarstellung auf dem Bildschirm (helle Linien auf schwarzem Hintergrund) gearbeitet. Aufgrund der großflächigen Bildschirme ist daher die Auswahl der Leuchten und die Leuchtenanordnung unter Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse (Spiegelung der Leuchten auf dem Bildschirm) zu bestimmen. Für Negativdarstellung darf die maximale Leuchtdichte der Leuchten für Ausstrahlungswinkel $\gamma \geq 65^\circ$ 1.500 cd/m² (siehe Abschnitt 4.2) nicht überschreiten. Dies gilt auch für helle Raumbegrenzungsflächen, die sich

im Bildschirm spiegeln. Besondere Bedeutung kommt der Abschirmung des Tageslichtes mit seinen unterschiedlichen Helligkeitswerten zu. Es ist daher zu empfehlen, CAD-Arbeitsplätze nicht in der Nähe von Fenstern anzuordnen. Auf einen ausreichenden Blendschutz gemäß DGUV Information 215-444 [30] ist zu achten.

Da die Entscheidung ob Positiv- oder Negativdarstellung vom jeweiligen Anwender abhängt, können in einem Raum beide Darstellungsweisen gleichzeitig auftreten. CAD-Arbeitsplätze erfordern im Arbeitsbereich einen Wartungswert der horizontalen Beleuchtungsstärke von $\bar{E}_m = 500 \text{ lx}$. Diese Beleuchtungsstärke wiederum wird bei manchen Bildschirmarbeiten als zu hell empfunden. Deshalb sollten alle Leuchten einzeln schaltbar, oder besser, einzeln dimmbar sein.

7.4 Unterrichtsräume

7.4.1 Unterrichtsräume mit gerichteter Sitzanordnung

In Unterrichtsräumen mit gerichteter Sitzanordnung⁶⁾ wird mit einer raumbezogenen Beleuchtung eine Angleichung an die Verhältnisse bei Tageslicht am besten erreicht. Das bedingt eine Anordnung der Leuchten parallel zur Fensterseite in Reihen. Die erste Reihe sollte parallel zur Fensterfront vorgesehen werden. Der Abstand der Leuchtenreihen richtet sich nach der Lichtstärkeverteilung der Leuchten und der Raumgeometrie sowie der geforderten Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit. Die zweite Reihe ist daher in etwa 1/2 bis 2/3 der Raumtiefe von der Fensterseite anzuordnen.

Bei einer Tiefe der Unterrichtsräume von mehr als 8,4 m kann eine dritte Leuchtenreihe erforderlich sein. Die Lichtbänder sind einzeln schaltbar auszuführen. Zur Verringerung von Reflexblendung sollte keine Leuchtenreihe direkt über Arbeitsplätzen angeordnet werden. Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke für die einzelnen Unterrichtsräume sind dem Anhang 13.1 zu entnehmen.

Die Blendungsbegrenzung gemäß DIN EN 12464-1 nach dem UGR-Verfahren mit einem UGR-Wert von 19 ist einzuhalten.

⁶⁾ Gerichtete Sitzanordnung bedeutet: Alle Plätze der zu Unterrichtenden sind gleich orientiert mit Blickrichtung zur Hauptwandtafel, zum Experimentiertisch in fachbezogenen Unterrichtsräumen oder zum Vortragenden; seitlicher Tageslichteinfall in der Regel von links.

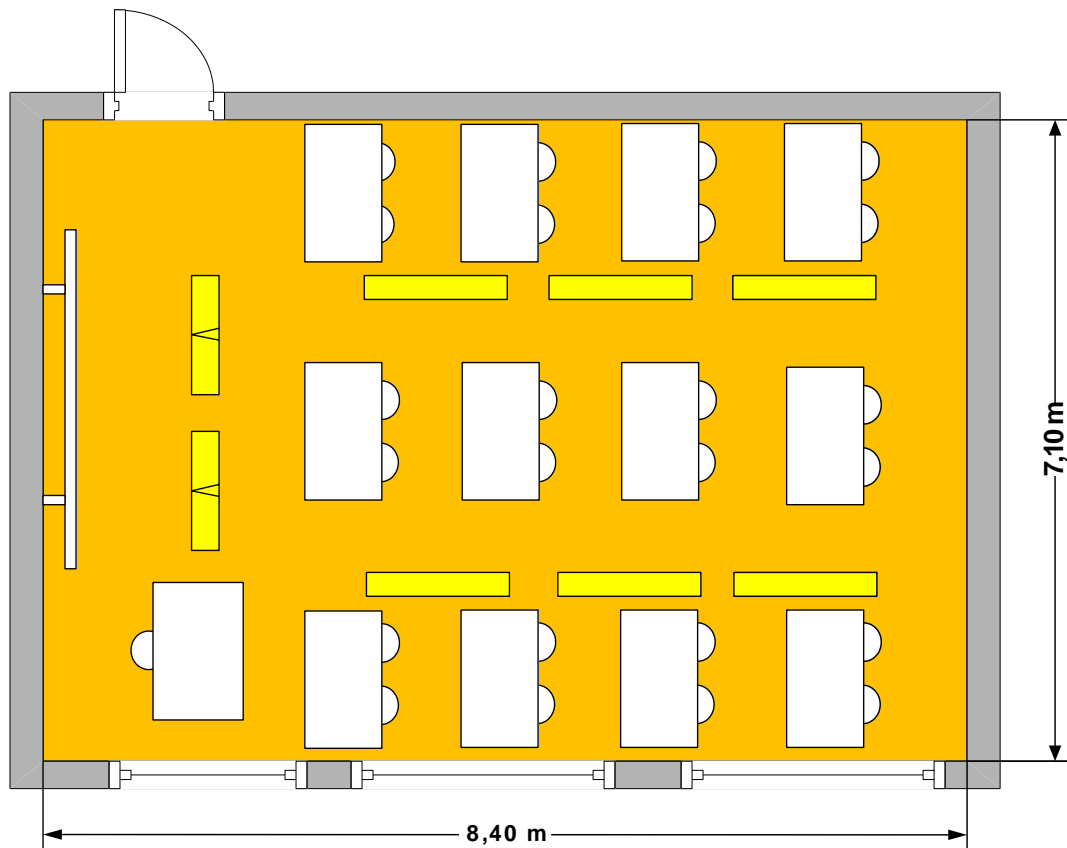


Abbildung 14: Beleuchtung einer Normalklasse

Raumhöhe	3,00 m
Lichtpunkthöhe	2,50 m
6 LED-Leuchten mit je 4200 lm / 39 W und	
2 Leuchten, asymmetrische Lichtstärkeverteilung, mit je 4900 lm; 50 W	
als Zusatzbeleuchtung für Hauptwandtafelbereich.	
Installierte Leistung	334 W
Spezifische Leistung	5,6 W/m ²

Alternativ direkt/indirekt Beleuchtung mit Pendelleuchten

6 LED-Leuchten mit je 3800 lm / 40 W und	
2 Leuchten, asymmetrische Lichtstärkeverteilung, mit je 4900 lm; 50 W	
als Zusatzbeleuchtung für Hauptwandtafelbereich.	
Installierte Leistung	340 W
Spezifische Leistung	5,7 W/m ²

7.4.2 Unterrichtsräume mit freier Sitzanordnung

Bei der freien Sitzanordnung werden der Tageslichteinfall und die Blickrichtung nicht berücksichtigt. Die Plätze der zu Unterrichtenden sind nicht gleich orientiert. Eine Zuordnung der Leuchten zu den Plätzen ist nicht möglich. Bei üblicher Direktbeleuchtung sind - wie bei Tageslicht - Reflexblendung und Glanzlicht durch glänzendes Lehrmaterial und glatte Tischflächen sowie Sichtbehinderung beim Blick auf die - beliebig aufstellbare - Tafel vorhanden. Diese Mängel können durch matte Oberflächen des Unterrichtsmaterials z. B. Lehrbücher, Tischoberfläche und helle, nicht glänzende Raumbegrenzungsflächen gemildert werden.

7.4.3 Wandtafelbeleuchtung

Der Bereich der Wandtafel in einem Unterrichtsraum muss, unabhängig von der Sitzanordnung, nach DIN EN 12464-1 eine mittlere vertikale Beleuchtungsstärke von 500 lx erreichen. Das Verhältnis der kleinsten zur mittleren Beleuchtungsstärke soll 0,7 nicht unterschreiten. Für die Beleuchtung von Wandtafeln sind daher Deckenleuchten mit asymmetrischer Optik in ca. 0,85 m bis 1,30 m von der Tafelfront anzuordnen.

Die Lichtfarbe der Zusatzbeleuchtung sollte der Lichtfarbe der Allgemeinbeleuchtung entsprechen. Die Zusatzbeleuchtung darf auf der Tafel keine störenden Reflexe und Spiegelungen hervorrufen.

In letzter Zeit werden immer mehr Klassenräume mit interaktiven Tafeln (sogenannten Activboards) ausgestattet. Die interaktive Tafel ist eine elektronische Tafel, die den Computerbildschirm mittels eines Beamers wiedergibt. Auf der Tafel (Board) wird mit einem speziellen Stift oder über eine Kontaktoberfläche geschrieben und vom Beamer direkt wiedergegeben. Derzeit werden Bilddiagonalgrößen von ca. 2 m bis 2,5 m erreicht.

Für den reinen Beamerbetrieb ist die Tafelbeleuchtung nicht notwendig.

Zurzeit werden die Boards noch mit normalbeschreibbaren Seitenteilen betrieben und hierfür wird die Tafelbeleuchtung noch benötigt.

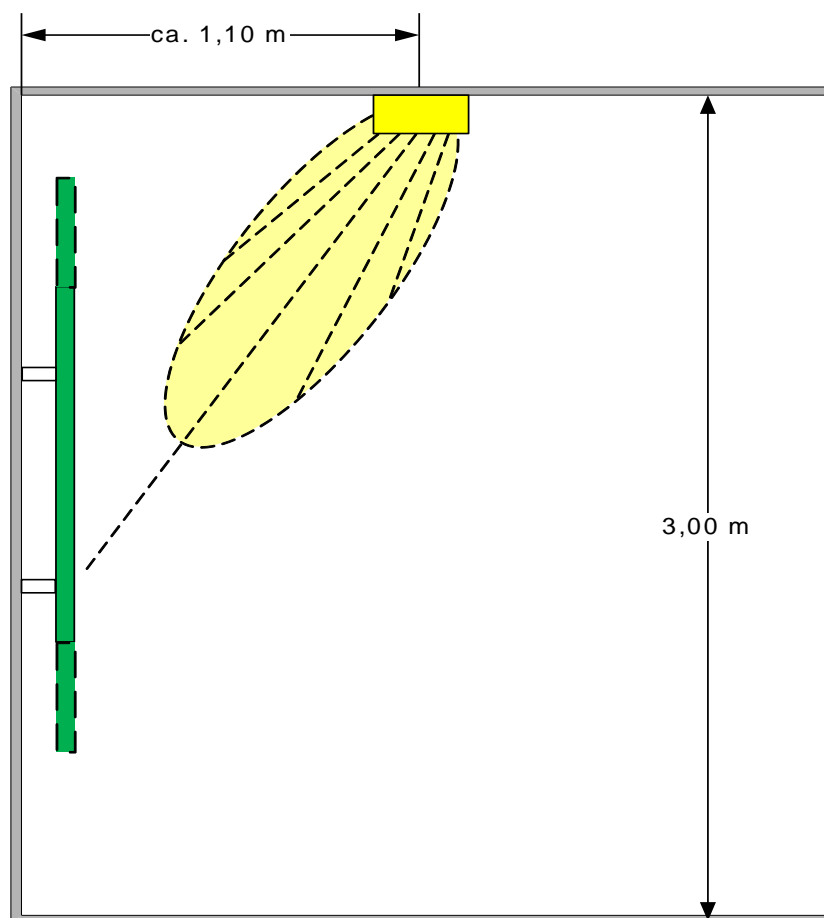


Abbildung 15: Separate Tafelbeleuchtung

7.4.4 Übungsräume für Fachbereiche

Chemie-, Physik-, Biologie-, Handarbeits- u. ä. Räume benötigen höhere Beleuchtungsstärken (siehe Anhang 13.1). Die Leuchten werden wie in Normalklassen mit gerichteter Sitzanordnung angeordnet (siehe Abbildung 14). Ausstattungsgegenstände sollten zur Vermeidung von Reflexblendung matte Oberflächen haben.

Experimentierpulte für Chemie-, Physik- und Biologieräume sind mit einer gesonderten Beleuchtung auszustatten. Die Beleuchtung muss separat schaltbar und aus Sicht der Zuhörer gut entblendet sein.

Für das Vorführen von Lichtbildern oder die Durchführung von Versuchen ist eine so genannte „Mitschreibbeleuchtung“ mit einer Beleuchtungsstärke von etwa 25 lx vorzusehen. Dies kann mit dimmbaren Leuchten sehr einfach realisiert werden

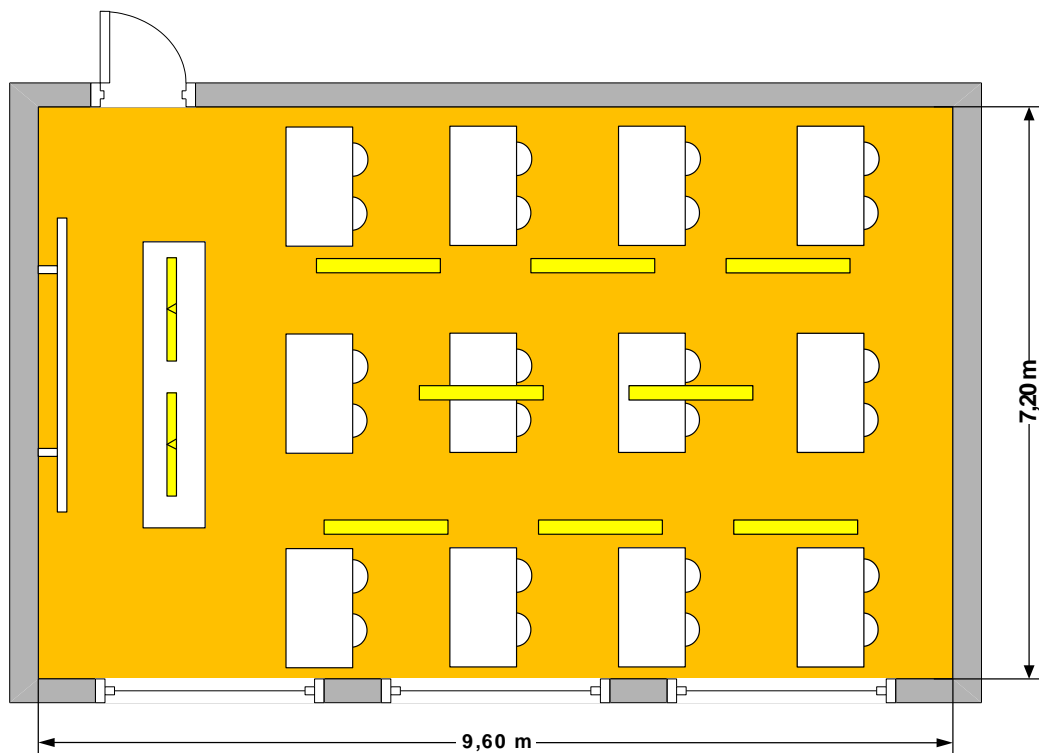


Abbildung 16: Beleuchtung einer Fachklasse

Lichtpunkthöhe	2,50 m
8 LED-Leuchten mit je 6000 lm / 63 W und	
2 Leuchten, asymmetrische Lichtstärkeverteilung, mit je 4900 lm / 50 W	
als Zusatzbeleuchtung für Hauptwandtafelbereich.	
Installierte Leistung	604 W
Spezifische Leistung	8,7 W/m ²
Nutzebene	$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

Alternativ, rein direkte Beleuchtung

9 LED-Leuchten mit je 4200 lm / 39 W und	
2 Leuchten, asymmetrische Lichtstärkeverteilung, mit je 4900 lm; 50 W	
als Zusatzbeleuchtung für Hauptwandtafelbereich.	
Installierte Leistung	451 W
Spezifische Leistung	6,5 W/m ²

7.4.5 EDV-Schulungsraum

Wie bei Unterrichtsräumen mit gerichteter Sitzordnung ist auch bei den EDV-Schulungsräumen die Orientierung zum Dozenten bzw. zu einer Videoprojektionsfläche hin ausgerichtet. Variationen zu dieser Sitzanordnung sind wegen der auftretenden Blendungsprobleme daher nicht möglich. Für diesen Raumtyp ist eine raumbezogene Beleuchtung vorzusehen. Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke darf dabei einen Wert von \bar{E}_m von 500 lx nicht unterschreiten. Um bei einer Videoprojektion störende zu hohe Beleuchtungsstärken zu vermeiden, sollten die einzelnen Lichtbänder dimmbar ausgeführt werden.

Es muss, wie nachfolgend dargestellt, eine Leuchtenanordnung gewählt werden, bei der die Leuchten neben den Arbeitsflächen angeordnet sind, um Reflexblendung auf den Schreibflächen zu vermeiden. Eine einwandfreie Planung eines derartigen Raumes kann daher nur nach Vorliegen eines verbindlichen Möblierungsplanes erstellt werden.

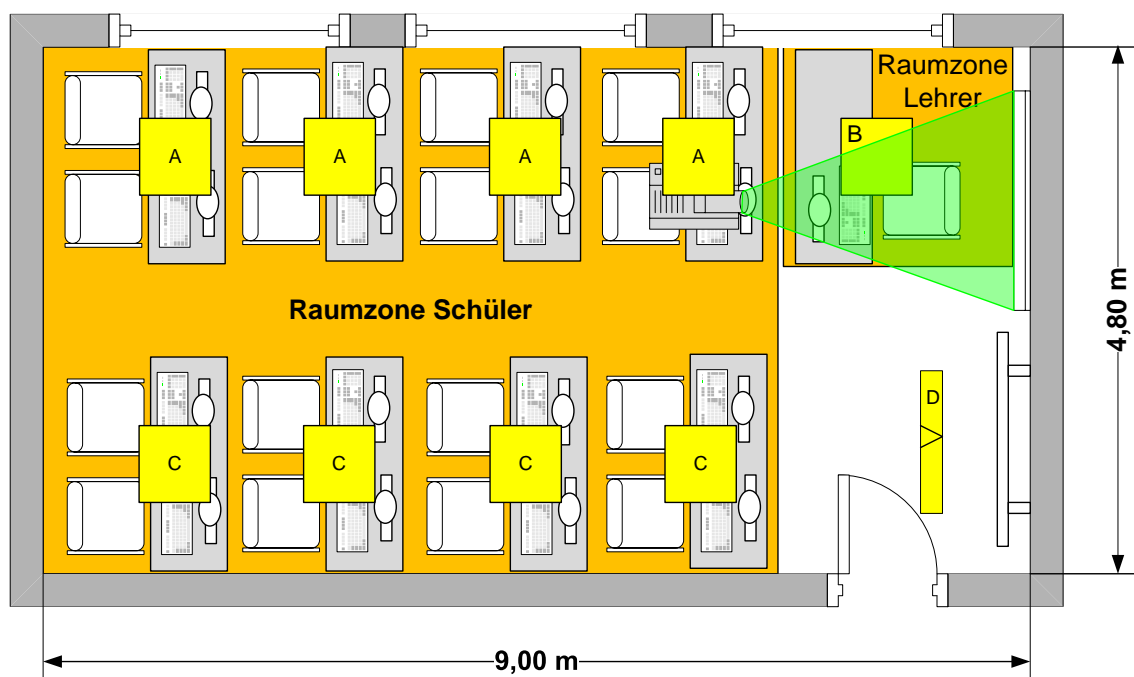


Abbildung 17: EDV-Schulungsraum

Die Buchstaben im Leuchtsymbol stellen die 4 Schaltgruppen dar.

9 LED-Deckeneinbauleuchten mit je 2900 lm / 26 W und

1 LED-Deckenaufbauleuchte, asymmetrische Lichtstärkeverteilung 4000 lm, 42 W als Tafelbeleuchtung

Installierte Leistung	276 W
Spezifische Leistung	6,4 W/m ²

7.5 Hör- und Lehrsäle

In kleinen Sälen ist die Beleuchtung wie in Fachklassen auszuführen.

In großen Sälen (z. B. mit ansteigendem Gestühl) ist die Queranordnung der Leuchten mit einer raumbezogenen Beleuchtung als wirtschaftlichste Lösung zu empfehlen. Zur Vermeidung von Blendung sind tiefstrahlende Leuchten erforderlich, die unter etwa 15° bis 25° Abweichung von der Senkrechten nach vorn strahlen und nach hinten gut abgeschirmt sind. Die Leuchten können auch durch bauliche Maßnah-

men gegen die Hörer abgeschirmt werden. Bei ansteigendem Gestühl wird eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke dadurch erreicht, dass der Lichtstrom der installierten Leuchten der abnehmenden Lichtpunkthöhe angepasst wird. Die erforderliche Beleuchtungsstärke ist der Tabelle im Anhang 15.1 zu entnehmen.

Die Wandtafel in diesen Räumen muss nach DIN EN 12464-1 eine mittlere vertikale Beleuchtungsstärke von 500 lx erreichen und separat schaltbar sein. Das Verhältnis der mittleren zur kleinsten Beleuchtungsstärke (U_0) soll 0,70 nicht unterschreiten. Experimentierpulte und Vortragspulte für Hör- und Lehrsäle sind mit einer gesonderten Beleuchtung auszustatten. Die Beleuchtungsstärke muss 750 lx nach DIN EN 12464-1 betragen. Die Beleuchtung muss separat schaltbar und aus Sicht der Zuhörer gut entblendet sein.

Die Lichtfarbe der Zusatzbeleuchtung soll der Lichtfarbe der raumbezogenen Beleuchtung entsprechen.

Zur Helligkeitssteuerung sind dimmbare LED-Leuchten vorzusehen.

Bei Einsatz schnurloser Mikrofonanlagen ist eine Beeinflussung durch die Treiber der LED-Leuchten möglich. Abhilfe kann durch Vergrößerung des Abstandes zwischen Antenne und Treiber oder Wechsel der Übertragungsfrequenz der Mikrofonanlage erreicht werden.

7.6 Bibliotheken, Leseräume und -säle

Bücherregale und Bücherschränke erfordern eine gute Vertikalbeleuchtung bis zu den unteren Fächern. Bei Regalen, die fest aufgestellt sind, sollen die Leuchten parallel zu den Regalen aufgestellt werden. Bei üblichem Abstand der Regale oder Schränke voneinander sind breitstrahlende Leuchten zu empfehlen. Bei enger Regal- oder Schrankaufstellung bringen tiefstrahlende Leuchten die beste vertikale Ausleuchtung. In größeren Räumen genügt oft die zu Regalen oder Schränken orientierte raumbezogene Beleuchtung mit einem hohen vertikalen Beleuchtungsanteil. Dies gilt auch für Büchereien, bei denen die Regale verfahrbar angeordnet sind. Der Wartungswert der vertikalen Beleuchtungsstärke \bar{E}_v darf gemäß ASR A3.4 Anhang 1 [25] 200 lx nicht unterschreiten.

Bei verfahrbaren Kompaktanlagen sind die Leuchten als durchgehende Lichtbänder rechtwinklig zu den Regalen anzuordnen.

Bildschirm-Arbeitsplätze innerhalb von Büchereien sind mit einer arbeitsbereichsbezogenen Beleuchtung auszuführen. Hierbei ist bei der Planung dieses Arbeitsplatzes besonders darauf zu achten, dass die Blendung, die von den Leuchten innerhalb der Bücherei auftreten kann, nicht zur Beeinflussung des Bildschirmarbeitsplatzes führt. Gegebenenfalls ist der Bildschirm durch Stellwände abzuschirmen. Teilflächenbezogene Beleuchtungssysteme mit ortsveränderlichen Leuchten sind wegen erhöhter Unfallgefahr zu vermeiden. Ferner sind für diese Beleuchtungssysteme häufigere Sicherheitsprüfungen nach DGUV-Vorschrift 3 [31] notwendig, was auch zur Erhöhung der Betriebskosten führt.

Bei Lesecken in Büchereien können abgehängte Pendelleuchten über den Lesetischen zweckmäßig sein. In Lesebereichen sind gemäß DIN EN 12464-1 eine Beleuchtungsstärke von 500 lx zu realisieren.

Die Lese- und Schreibtische in Leseräumen und -sälen sind so anzuordnen, dass das Tageslicht möglichst von links auf die Arbeitsfläche fällt. Die künstliche Beleuchtung ist wie in Fachklassen auszuführen, um gleichen Lichteinfall und gleiche Schattenbildung wie bei Tageslichtbeleuchtung zu erzielen.

7.7 Turn-, Sport- und Schwimmhallen

7.7.1 Turn- und Gymnastikhallen für Ausbildungsstätten

Aus lichttechnischer und wirtschaftlicher Sicht sind für Turn- und Gymnastikhallen in Ausbildungsstätten breitstrahlende Leuchten zu empfehlen. Diese Leuchten ermöglichen

- hohe Vertikalbeleuchtungsstärken,
- eine große horizontale Gleichmäßigkeit,
- die Möglichkeit einer guten Endverstärkung (siehe Abbildung 18 und 19),
- eine bessere Ausleuchtung des oberen Hallenraumes, insbesondere wenn sie an die Decke montiert werden.

Der Wartungswert für die mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}_m beträgt nach DIN EN 12464-1 mindestens 300 lx auf dem Fußboden. Für besondere Nutzungen sind in DIN EN 12193 [34] abweichende Werte ausgewiesen.

Die Leuchten sind grundsätzlich parallel zur Hauptbewegungsrichtung anzuordnen. In Turnhallen sind drei unterbrochene Lichtbänder zu empfehlen, bei Gymnastikhallen genügen meist zwei unterbrochene Lichtbänder. Dadurch wird für den Blick in Raumlängsachse die Direktblendung für die Sporttreibenden minimiert. Vor den Stirnwänden sind die Lichtbänder zu verstärken, um eine zu niedrige Beleuchtungsstärke an den Enden der Lichtbänder zu vermeiden. Die Leuchten müssen ballwurfsicher ausgeführt oder gegen Beschädigung durch Ballwurf geschützt sein (vgl. DIN 18032-3 [50] und DIN VDE 0710-13 [55]).

Bei Turnhallen ist es aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen, die Beleuchtungsanlage dimmbar oder in Gruppen schaltbar auszuführen. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke ist hierbei zu beachten (siehe hierzu Abschnitt 2.2.1 und 10.1).

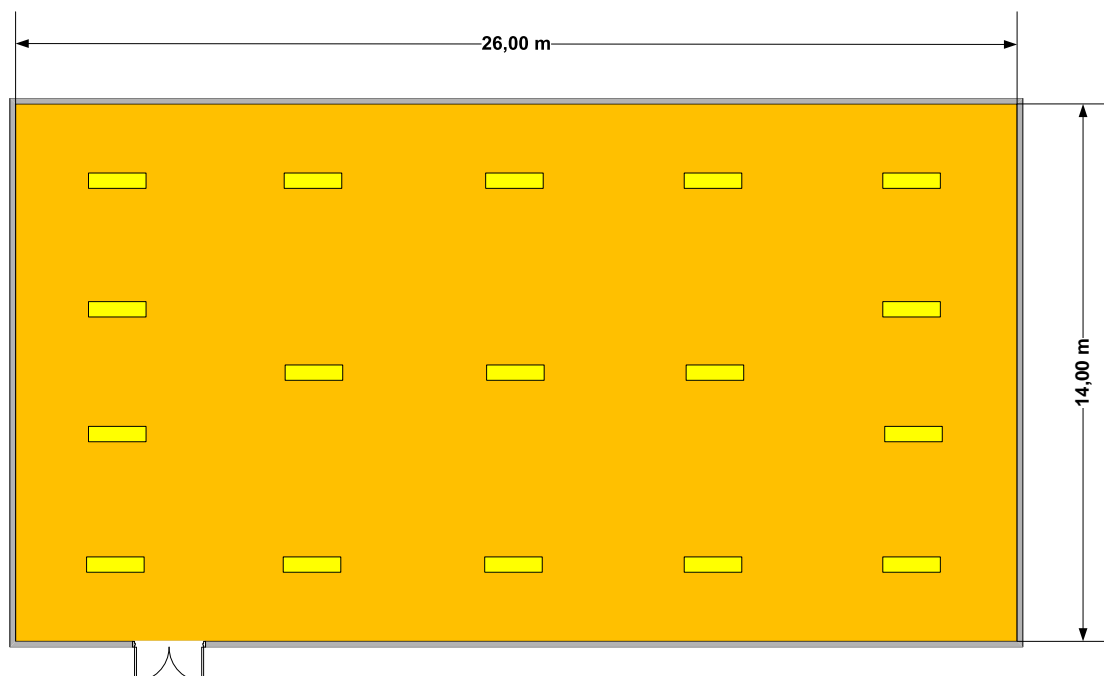


Abbildung 18: Beleuchtung einer Turnhalle 14 m x 26 m

Breitstrahlende LED-Leuchten, ballwurfsicher

17 Leuchten mit je 12.000 lm / 110 W

Raumhöhe

6 m

Installierte Leistung	1.870 W
Spezifische Leistung	5,1 W/m ²
Nutzebene	$\bar{E}_m \geq 300 \text{ lx}$

7.7.2 Sporthallen für Wettkämpfe

Die Beleuchtung der Sporthallen für Wettkämpfe sind nach DIN EN 12193 [34] auszulegen. Für die Beleuchtungsstärke auf der Spielfläche ist die Nutzung maßgebend. Die DIN EN 12193 unterscheidet hierzu folgende Beleuchtungsklassen:

- I Internationale / nationale Hochleistungswettkämpfe mit großen Zuschauerzahlen sowie Hochleistungstraining
- II Regionale / örtliche Wettkämpfe auf mittlerem Niveau mit Zuschauerbeteiligung sowie Leistungstraining
- III Einfache örtliche- und Vereinswettkämpfe ohne Zuschauerbeteiligung sowie allgemeiner Training-, Schul- und Freizeitsport.

Für die meisten Hallensportarten (z. B. Handball, Basketball, Volleyball) beträgt die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke \bar{E}_h bei

- Beleuchtungsklasse I 750 lx
- Beleuchtungsklasse II 500 lx
- Beleuchtungsklasse III 200 lx

Geringere Anforderungen an die Beleuchtungsklasse stellen z. B. Leichtathletik und Turnen, höhere Anforderungen z. B. Tischtennis, Badminton und Fechten.

Bei der Auslegung der Spielflächenbeleuchtung ist besonders auf eine gute Gleichmäßigkeit für alle drei Beleuchtungsklassen zu achten. Für bestimmte Sportarten ist die vertikale Beleuchtungsstärke besonders zu berücksichtigen. Wird die Beleuchtung in Sporthallen für Fernseh- und Filmaufnahmen ausgelegt, sind spezielle Anforderungen bei der vertikalen Beleuchtungsstärke nach DIN EN 12193 zu beachten. Weiterhin sind die besonderen Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung zu berücksichtigen.

Die Sporthallen für Wettkämpfe werden meist so ausgelegt, dass sie für den Trainings-, Schul- und Freizeitsport 3-fach teilbar sind. Ein Hallenteil entspricht hierbei der Größe einer Schulturnhalle (27 m x 15 m).

Die Spielflächenbeleuchtung ist hierbei für den Wettkampfbetrieb auszulegen, d. h. bei Verwendung von rechteckigen Leuchten sind diese parallel zur Hauptspielrichtung anzuordnen. Hierbei werden die Lichtbänder normal, d. h. mit gleichen Leuchtenabständen ausgeführt. Die Lichtbänder an den Stirnseiten der Halle müssen hierbei durch zusätzliche Leuchten verstärkt werden, damit im Bereich der Tore und der Basketballständer die geforderte Beleuchtungsstärke garantiert ist. Bei Turn- und Sporthallen mit nennenswerten Tageslichtanteilen ist es aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen, die Beleuchtungsanlagen dimmbar mit einer tageslichtabhängigen Regelung mittels Tageslichtsensor auszuführen.

Bei Sporthallen, die für Wettkämpfe ausgelegt sind, gewährleisten diese dimmbaren Leuchten auch die Anforderungen der Beleuchtungsklasse III (Schul-, Freizeitsport und Trainingsbetrieb) mit einer hohen Gleichmäßigkeit. Die Beleuchtungsstärke kann auch durch entsprechendes Abschalten einzelner Leuchten erreicht werden. Hierbei ist besonders auf die Gleichmäßigkeit zu achten.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb der Beleuchtung in Hallen mit unterschiedlichen Nutzungsanforderungen bezüglich der Beleuchtungsstärke zu gewährleisten, ist die eingeschränkte Schaltbarkeit, bzw. Dimmbarkeit für die verschiedenen Nutzergruppen (Sportarten) zu empfehlen. Beispielhaft kann die Beleuchtung mit Schlüsselschalter oder Chipkarte derart betätigt werden, dass die jeweils zu Grunde gelegten Beleuchtungsstärken sich automatisch einstellen. Trainer oder Aufsichtspersonen erhalten den für ihre Sportart passenden Schlüssel bzw. die programmierte Chipkarte.

Die Leuchten müssen ballwurfsicher ausgeführt oder gegen Beschädigung durch Ballwurf geschützt sein (DIN 18032-3 [50] und DIN VDE 0710-13 [55]).

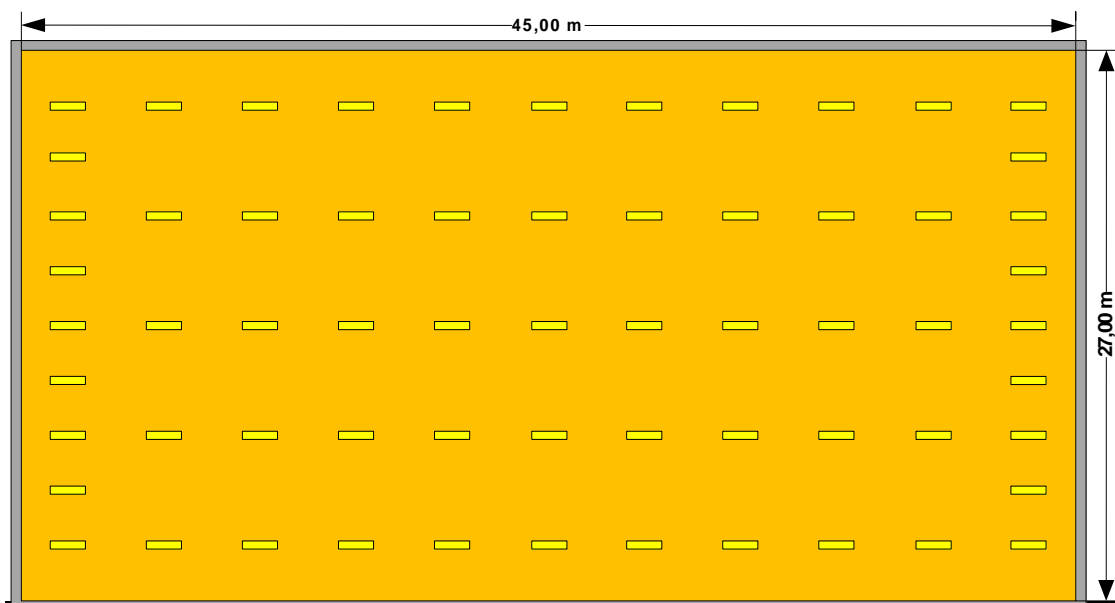


Abbildung 19: Beleuchtung einer Wettkampf-Sporthalle 27 m x 45 m

Breitstrahlende LED-Leuchten ballwurfsicher:
 Beleuchtungsklasse II 500 lx z. B. für Handball
 55 LED-Leuchten mit je 14000 lm / 123 W,
 8 LED-Leuchten mit je 14000 lm / 123 W als Endverstärkung
 Raumhöhe 7 m
 Installierte Leistung 7749 W
 Spezifische Leistung 6,4 W/m²

7.7.3 Schwimmhallen

In Schwimmhallen ist eine Anordnung der Leuchten über der Wasseroberfläche nach Möglichkeit zu vermeiden. Andernfalls ist eine sichere und wirtschaftliche Möglichkeit zur Instandhaltung sicherzustellen.

7.8 Bettzimmer in Krankenhäusern

An die Beleuchtung in Bettzimmern werden unterschiedliche Anforderungen gestellt. Diese sind mit den nachfolgend beschriebenen Beleuchtungsanlagen zu erfüllen. Alle lichttechnischen Werte sind der DIN EN 12464-1 bzw. der DIN 5035-3 [44] zu entnehmen.

Werden in den Bettenzimmern zusätzlich zu den Beleuchtungsarten, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, noch elektrische Energieanlagen, nachrichtentechnische Installationen, sowie eine Versorgung mit medizinischen Gasen gefordert, so wird der Einsatz von Verbundsystemen, so genannte Medizinische Versorgungseinheiten (MVE, nach DIN EN ISO 11197 [67]), empfohlen.

7.8.1 Allgemeinbeleuchtung

Die Allgemeinbeleuchtung in einem Patientenzimmer hat großen Einfluss auf das Wohlbefinden des Kranken. Sie soll durch ihr angenehmes, indirektes, blendfreies Licht Behaglichkeit schaffen und so zur Genesung des Patienten beitragen. Die Beleuchtung ist separat schaltbar.

7.8.2 Lesebeleuchtung

Das Schalten der (ortsfesten) Lesebeleuchtung soll örtlich vom Bett aus möglich sein. Reflexblendung auf der Lesefläche ist durch eine entsprechende Anordnung der Leuchten zu vermeiden. Eine Störung - hier besonders die Blendung - anderer Patienten muss unbedingt vermieden werden. Beim Einsatz von MVE treten die vorgenannten Probleme nicht auf, denn die Lesebeleuchtung ist direkt strahlend und blendfrei.

7.8.3 Untersuchungsbeleuchtung

Für einfache Untersuchungen am Krankenbett soll die Beleuchtungsstärke in Bettmitte (0,85 m über Fußboden) mindestens 300 lx betragen. Sie wird im Allgemeinen durch Zuschaltung der in der MVE integrierten Lesebeleuchtung zur Allgemeinbeleuchtung erreicht.

Bei Abweichungen von der üblichen Bettenzimmergeometrie ($L \times B \times H = 4,80 \text{ m} \times 3,60 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$; 2-Bettzimmer) ist eine rechnerische Überprüfung notwendig und ggf. sind zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Bei größeren Untersuchungen ist bei Bedarf eine (fahrbare) Untersuchungsleuchte hinzu zu ziehen.

7.8.4 Übersichtsbeleuchtung

Die Übersichtsbeleuchtung dient dem Pflegepersonal während der Nachtstunden zur Beobachtung der Patienten. Dafür ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von 5 lx ausreichend. Vorteilhaft ist der Einbau von Leuchten geringer Leistung in der MVE. Im Notfall kann die Übersichtsbeleuchtung bei Stromausfall als Sicherheitsbeleuchtung verwendet werden. Die Schaltung ist entsprechend auszuführen.

7.8.5 Orientierungsbeleuchtung

Diese soll die Orientierung des Patienten im Raum während der Nachtstunden ermöglichen und schlafende Kranke nicht stören. Die Leuchten sollen nur den Fußboden schwach erhellen und Hindernisse erkennen lassen (deshalb auch Pantoffellicht genannt). Sie werden üblicherweise in Nähe der Eingangstür ca. 30 cm über dem Fußboden in die Wand eingebaut und unabhängig von der übrigen Beleuchtung geschaltet.

7.9 Untersuchungs-, Intensivpflege- und OP-Räume

Die Allgemeinbeleuchtung muss hier den medizinischen und hygienischen Anforderungen an diese Räume angepasst werden. Sie ist auch dann erforderlich, wenn spezielle Leuchten (z. B. OP-Leuchten) vorgesehen sind. In OP-Räumen werden Reinraumleuchten der Schutzklasse IP 65 eingesetzt, die die Anforderungen an die Staubdichtigkeit, den Schutz gegen Strahlwasser und die Resistenz gegen Desinfektionsmittel erfüllen. Bei den Treibern der LED-Leuchten ist zu beachten, dass sie Störungen magnetischer und hochfrequenter Art verursachen können, die insbesondere medizinische Geräte und Steuerungsanlagen betreffen. Bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit sind die Hinweise der Medizingerätehersteller zu beachten.

7.10 Beleuchtung von Ausstellungsbereichen in Museen

Die Beleuchtung von Ausstellungsbereichen in Museen erfolgte bislang in der Regel über auswechselbare Strahler verschiedenen Typs. Als Leuchtmittel wurden Glüh- oder Halogenlampen eingesetzt. Meist ist diese technische Infrastruktur in den Museen schon recht lang (z. T. seit den 1980er Jahren) in Benutzung und der Energieverbrauch, auch aufgrund der Größe der zu beleuchtenden Ausstellungsfläche, sehr hoch.

Die heute erhältlichen LED-Leuchten erfüllen die speziellen Anforderungen im Museumsbereich hinsichtlich der Lichtqualität. Wichtige Kriterien sind dabei die Farbwiedergabe und die Lichtfarbe. Die LED-Technik erfüllt beide Anforderungen auch mit der oft bevorzugten Farbtemperatur von 2.800/3.000 K.

Für die Museumsbesucher stellt die Beleuchtung der Ausstellungen ein wesentliches Qualitätsmerkmal für ihren Ausstellungsbesuch dar. Zu einer gelungenen musealen Lichtinszenierung gehört die Steuerung der Lichtintensität (Dimmbarkeit) am Strahler, um verschiedene Lichtstärken je nach Objektart, z. B. 50 Lux für Grafiken und 200 Lux für Gemälde auch bei unmittelbar benachbarten Exponaten herzustellen und eine variable Lichtverteilung (Wallwasher-Funktion für die gleichmäßige Beleuchtung größerer Wandflächen versus Spot-Licht zur Akzentuierung einzelner Exponate) zu den zeitgemäßen technischen Merkmalen. Darüber hinaus spricht eine deutliche Reduzierung des Energiebedarfs, mit wesentlich geringerer Wärmeentwicklung und die weitgehende Begrenzung der für viele Ausstellungsstücke schädlichen IR-/UV-Strahlung, sowie die lange Lebensdauer von LED-Leuchten für deren Einsatz in Museen.

7.11 Eingangshallen, Repräsentationsräume, Gesellschaftsräume, Cafeterien

An die Ausstattung dieser Räume werden im Allgemeinen besondere Ansprüche gestellt. Die Beleuchtung kann hier auch als repräsentatives und gestalterisches Element der Innenarchitektur betrachtet und in diese integriert werden. Neben den gestalterischen Gesichtspunkten kann die Beleuchtung auch als verkehrsleitendes Element eingesetzt werden, z. B. durch herausgehobene Lichtinseln am Eingang. Die jeweilige Mindestbeleuchtungsstärke ist einzuhalten. Wirtschaftlichkeit und sparsamer Energieverbrauch sind ebenfalls zu beachten.

7.12 Verkehrsflächen

Bei der Beleuchtung von Fluren, Eingangsbereichen und Aufzugsvorräumen ist eine ausreichende Gleichmäßigkeit ($U_0 \geq 0,40$) einzuhalten. Blendung soll hierbei vermieden werden. In Flurbereichen, die nur von Personen benutzt werden, muss eine mittlere horizontale Beleuchtungsstärke von 100 lx nach DIN EN 12464-1 auf dem Boden eingehalten werden. Im Bereich von Verkehrsflächen, die auch von Fahrzeugen benutzt werden, müssen 150 lx auf dem Boden gewährleistet werden. Bei Treppen, Rolltreppen und Fahrbändern sind 100 lx notwendig. Auch hier ist auf eine ausreichend gleichmäßige und blendungsbegrenzte Beleuchtung zu achten.

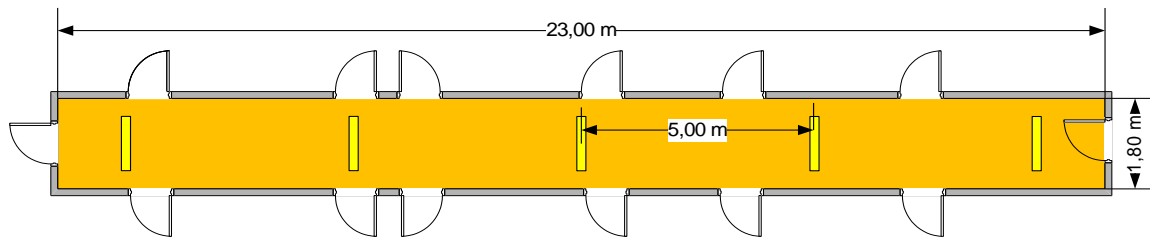


Abbildung 20: Flurbeleuchtung Anbauleuchten

Raumhöhe	2,75 m
5 LED-Leuchten mit je 1920 lm / 20,6 W HE	
Installierte Leistung	103 W
Spezifische Leistung	2,5 W/m ²
Nutzebene (0,00 m)	$\bar{E}_m \geq 100 \text{ lx}$

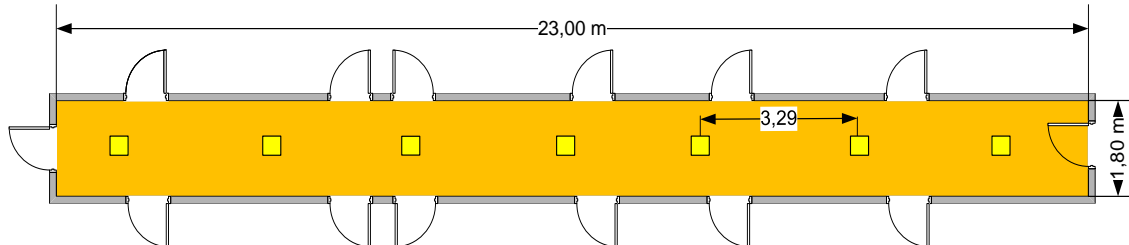


Abbildung 21: Flur (Einbauleuchten)

Raumhöhe	2,50 m
7 LED-Leuchten je 1200 lm / 13,8 W	
Installierte Leistung	96,6 W
Spezifische Leistung	2,3 W/m ²
Nutzebene (0,00 m)	$\bar{E}_m \geq 100 \text{ lx}$

7.13 Sanitärräumen

In Sanitärräumen wird grundsätzlich eine raumbezogene Beleuchtung vorgesehen. Besonderes Augenmerk ist bei der Leuchtenanordnung auf die Lage der Schamwände zu richten. Die dargestellte Anordnung der Leuchte über der Schamwand ist möglich, wenn genügend Abstand zwischen Decke und Oberkante Schamwand besteht. Bei der Beleuchtungsberechnung darf die abschattende Wirkung der Schamwände nicht vernachlässigt werden.

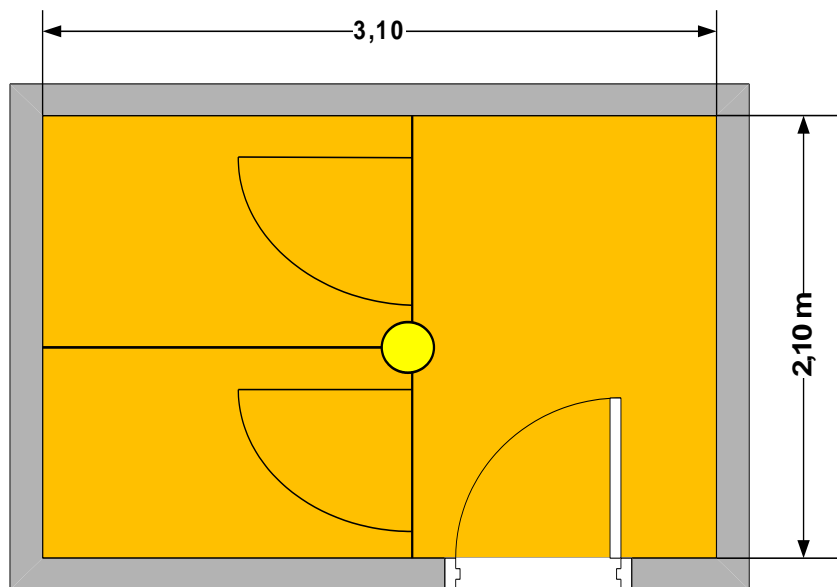


Abbildung 22: Sanitärraum1 LED-Leuchte 21,5 W / 2600 lm
Raumhöhe 2,75 m
Installierte Leistung 21,5 W
Spezifische Leistung 3,3 W/m²
Nutzebene $\bar{E}_m \geq 200 \text{ lx}$

Grundsätzlich werden die Leuchten in Sanitärräumen über Bewegungsmelder geschaltet. In fensterlosen Räumen kann auch der Einsatz von Meldern die auf akustische Signale reagieren sinnvoll sein.

7.14 Datenverteilterräume

In Datenverteilterräumen wird grundsätzlich eine raumbezogene Beleuchtung mit einem Wartungswert von 500 Lux nach DIN 50174-2 [66] Pkt. 8.3.8.3.1 vorgesehen. Besonderes Augenmerk ist bei der Leuchtenanordnung auf die Lage der Datenverteilerschränke zu richten. Bei der Beleuchtungsberechnung ist die abschattende Wirkung der Datenverteilerschränke zu berücksichtigen. Durch Anordnung einer Leuchte bzw. Leuchtenreihe vor und hinter den Schränken wird die abschattende Wirkung der Schränke vermieden. Bei den Schränken ist in der Regel von sehr geringen Reflexionsgraden auszugehen. Außerdem müssen die Vor- und Rückseiten der Schränke als vertikale Arbeitszone betrachtet werden. Bei vertikalen Arbeitsflächen ist eine Beleuchtungsstärke von 150 Lux in der Höhe von 0,5 m bis 2,0 m über dem Boden einzuhalten.

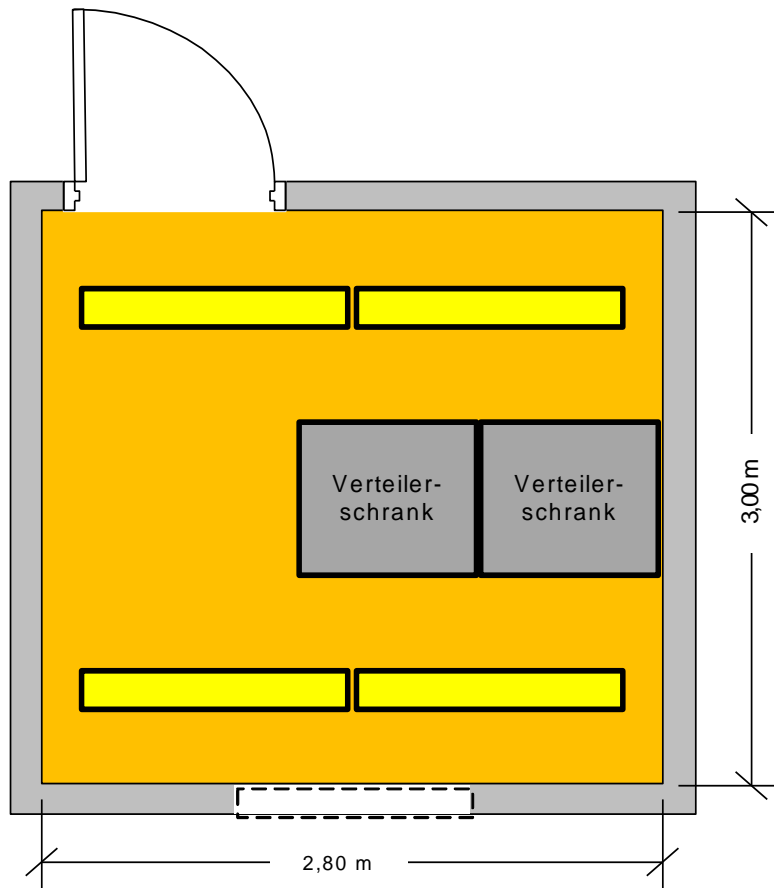


Abbildung 23: Datenverteilterraum

4 LED-Leuchten 2800 lm / 31 W

Raumhöhe

2,75 m

Installierte Leistung

124 W

Spezifische Leistung

14,8 W/m²

Nutzebene

$\bar{E}_m \geq 500 \text{ lx}$

8 Beleuchtung von Arbeitsstätten im Außenbereich

Vielfach besteht Handlungsbedarf in Außenbeleuchtungsanlagen, da die häufig im Einsatz befindlichen Quecksilberhochdrucklampen nur noch bis April 2015 in Verkehr gebracht werden durften. Ein 1:1-Austausch von Leuchtmitteln ist daher nicht mehr möglich. Auf Grund der hohen Lebensdauer sind LED-Leuchten grundsätzlich für den Einsatz in der Außenbeleuchtung prädestiniert. Vor einer Entscheidung sollten jedoch einige Punkte betrachtet werden. Planungsgrundlage für die Beleuchtung im Außenbereich ist bei Arbeitsplätzen im Freien die DIN EN 12464-2 [40].

8.1 Planung von Außenbereichen mittels LED-Leuchten

Bei Einsatz von moderner LED-Technik beträgt nach Herstellerangaben die Lebensdauer der LED-Außenleuchten derzeit etwa 60.000 Stunden, mit steigender Tendenz. Einige Hersteller geben bereits Lebensdauern von 80.000 - 100.000 Stunden für ihre Produkte an. Bei einer durchgängig betriebenen Außenbeleuchtung ist mit rund 4.000 Jahresbetriebsstunden zu rechnen. Das bedeutet, dass bei einer angegebenen Lebensdauer von 60.000 Stunden spätestens nach 15 Jahren die LED-Module ausgetauscht werden müssten, da Außenbeleuchtungsanlagen über deutlich längere Zeiträume von 25 - 30 Jahren betrieben werden. Sollten dann keine LED-Ersatzmodule mehr zur Verfügung stehen, wird ein Komplettaustausch der Leuchte erforderlich. Dieses ist bei einer vorausgehenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchung im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung zu berücksichtigen.

Bei einem Betrieb über den v. g. Zeitraum von 60.000 Stunden ist zudem mit einem nennenswerten Lichtstromrückgang zu rechnen. Dieses hat Auswirkungen auf den Wartungsfaktor. Wird ein entsprechend kleiner Wartungsfaktor gewählt ist die Leuchte lange Zeit überdimensioniert, was die angestrebte Energieeinsparung reduziert. Alternativ kommt eine dimmbare oder in Stufen schaltbare Leuchte in Betracht. Die Leuchte wird dann z. B. zunächst mit 80 % Lichtstrom betrieben, was den Energieverbrauch ebenfalls um etwa 20 % absenkt. Wenn der Lichtstrom nach einigen Jahren nicht mehr ausreicht, wird dieser zunächst auf 90 % und später auf 100 % des Nenn-Lichtstroms eingestellt. Dieses erfordert jedoch neben Lichtstrom-einstellbaren und damit teureren Leuchten einen erhöhten Aufwand für den Leuchtenbetreiber.

Neben den LED-Modulen sind auch die Treiber der Stromversorgung zu betrachten, die bei LED-Leuchten der erforderlichen Strombegrenzung dienen. Auch hier ist mit Früh-Ausfällen bei der erforderlichen Elektronik zu rechnen. Einige Hersteller geben derzeit Ausfallquoten von 1 % je 5.000 Betriebsstunden an. Bei einer angestrebten Betriebszeit von 25 Jahren bedeutet dieses, dass bei bis zu 20 % aller Leuchten der Treiber zwischenzeitlich gewechselt werden muss. Dieses ist, genau wie eine zukünftige Ersatzteilbeschaffung von herstellereigenen Teilen, bei einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigen.

Werden dagegen LED-Außenbeleuchtungsanlagen nicht durchgängig betrieben und deutlich weniger als 4.000 Jahresbetriebsstunden erreicht, können auch LED-Module mit geringeren vom Hersteller garantierten Lebensdauern eingesetzt werden. Möglich ist dieses zum Beispiel, wenn LED-Leuchten in Verbindung mit einem Bewegungsmelder nur bei Bedarf eingeschaltet werden. Hier ist unter Umständen eine nennenswerte Energieeinsparung zu realisieren. Ein zusätzlicher Vorteil ist dabei, dass LED-Leuchten quasi unbegrenzt häufig geschaltet werden können und der Lichtstrom auch bei niedrigen Temperaturen sofort nach dem Einschalten 100 % erreicht.

8.2 Hinweise zu Bestandsanlagen

Sollten sich die vorhandenen Leuchten noch in einem guten Zustand befinden, kann nach wie vor auch der Einsatz von Natriumdampflampen in Betracht gezogen werden. In vielen Kommunen ist dies bereits mit Erfolg praktiziert worden. So kann durch den Einsatz einer 70 W Natriumdampflampe anstatt einer 125 W Quecksilberhochdrucklampe bei annähernd gleichem Lichtstrom eine Energieeinsparung von ca. 40 % (unter Berücksichtigung der reduzierten Leistungsaufnahme des Vorschaltgeräts) erzielt werden. Die zu erwartende Lampenlebensdauer verdoppelt sich und zukünftige Probleme bei der Ersatzbeschaffung sind, da es sich um normierte Bauteile handelt, unwahrscheinlich. Der geringe Farbwiedergabeindex von Natriumdampflampen (R_a ca. 40) ist für viele Anwendungsfälle im Außenbereich, insbesondere wenn es sich um die Beleuchtung von Verkehrswegen handelt, ausreichend.

9 Notbeleuchtung

Die Notbeleuchtung ist eine netzunabhängige Beleuchtung, die bei Störung der elektrischen Versorgung der allgemeinen künstlichen Beleuchtung rechtzeitig wirksam wird. Es wird zwischen Sicherheitsbeleuchtung und Ersatzbeleuchtung unterschieden.

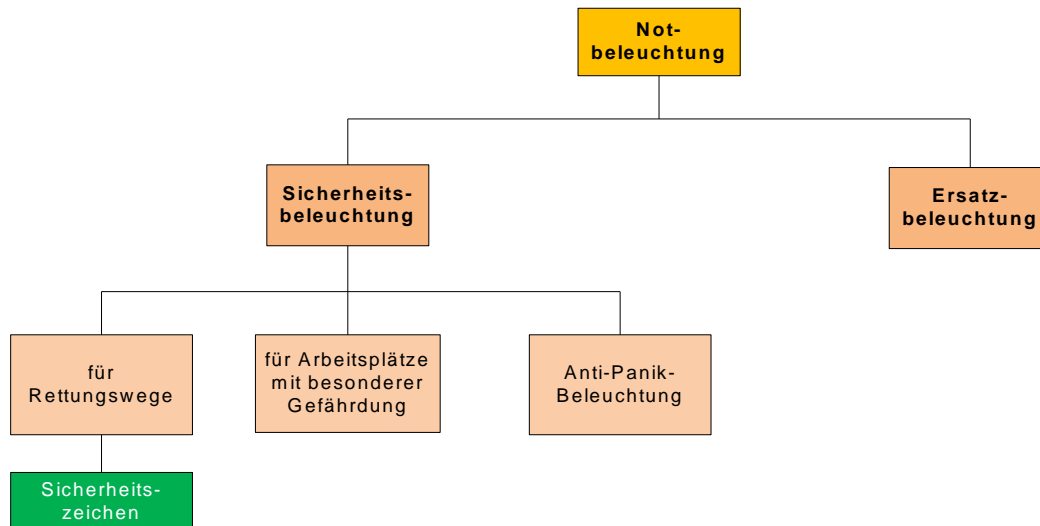


Abbildung 24: Systematik der Notbeleuchtung

Anforderungen an die Notbeleuchtung enthalten u. a. die DIN EN 1838 [30], DIN EN 50172 [39], DIN EN 60598-2-22 [42] und die DIN VDE 0100-718 [54]. Eine Besonderheit stellt die DIN V VDE 0108-100 von August 2010 dar. Da für diese Vornorm bisher die Zustimmung der europäischen Normungsgremien fehlt, ist sie offiziell nicht gültig. In ihr werden Änderungen beschrieben, wie sich die nationalen Normungsgremien die zukünftige DIN EN 50172 vorstellen. Nach besonderer Vereinbarung zwischen dem Bauherrn und dem Errichter darf die Vornorm angewendet werden.

Ergänzend zu den vorgenannten Normen können zusätzliche Forderungen in den jeweiligen Landesbauordnungen, Baugenehmigungen bzw. Brandschutzkonzepten festgelegt sein.

Standardmäßig werden nur noch LED-Leuchten eingesetzt. Der sichere Betrieb dieser Anlagen ist von wesentlicher Bedeutung und daher wird für die Zwecke der Notbeleuchtung das Qualitätsmerkmal der hohen Lebensdauer hier ausgenutzt. Zusätzlich führt der geringere Energiebedarf, der dann gleichzeitig auch aus kleineren Batterien gedeckt werden kann, zu einer Wirtschaftlichkeit des gewählten Anlagentyps.

9.1 Ersatzbeleuchtung

Die Ersatzbeleuchtung ist eine Notbeleuchtung, die für die Weiterführung des Betriebes über einen begrenzten Zeitraum ersatzweise die Aufgabe der raumbezogenen Beleuchtung übernimmt, um notwendige Tätigkeiten im Wesentlichen fortsetzen zu können. Liegt das Beleuchtungsniveau unter dem Minimum der raumbezogenen Beleuchtung, darf sie nur benutzt werden, um einen Arbeitsprozess herunter zu fahren oder zu beenden. Die Anforderungen daran sind nicht genormt und müssen individuell festgelegt werden. Wird sie eingesetzt, um auch die Aufgaben der

Sicherheitsbeleuchtung zu übernehmen, so müssen alle hierfür notwendigen Bedingungen erfüllt werden.

9.2 Sicherheitsbeleuchtung

Eine Sicherheitsbeleuchtung kann in- und außerhalb von Gebäuden besonderer Art und Nutzung bis zu einem sicheren Bereich erforderlich sein. Im Besonderen sind dies Versammlungsstätten, Verkaufsstätten und Hotels sowie Bereiche aufgrund der jeweiligen Baugenehmigung. Näheres regeln die jeweiligen Landesbauordnungen. Darüber hinaus gelten die Arbeitsstättenverordnung [18] mit den Arbeitsstättenregeln ASR A2.3 und ASR A3.4/3 [24, 26] und die Unfallverhütungsvorschriften (DGUV) der Träger der gesetzlichen Unfallversicherung.

Die Notwendigkeit einer Sicherheitsbeleuchtung kann sich daher neben einer bauordnungsrechtlichen Anforderungen auch auf Grund einer Gefährdungsbeurteilung entsprechend §5 (1) Arbeitsschutzgesetz [16] ergeben, z. B. wenn Rettungswege in Arbeitsstätten bei Ausfall der Beleuchtung nicht gefahrlos genutzt werden können.

9.2.1 Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege

Die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege ist ein Teil der Beleuchtung, die Rettungswege mit einer vorgeschriebenen Mindestbeleuchtungsstärke beleuchtet. Das gefahrlose Verlassen der Räume oder Anlagen sowie das eindeutige Erkennen von Rettungseinrichtungen wird dadurch zu allen Zeiten, zu denen Personen in der baulichen Anlage anwesend sind, ermöglicht.

Beispiel für einen Flur mit Sicherheitsbeleuchtung unter Verwendung der Allgemeinleuchten (gelb hinterlegt):

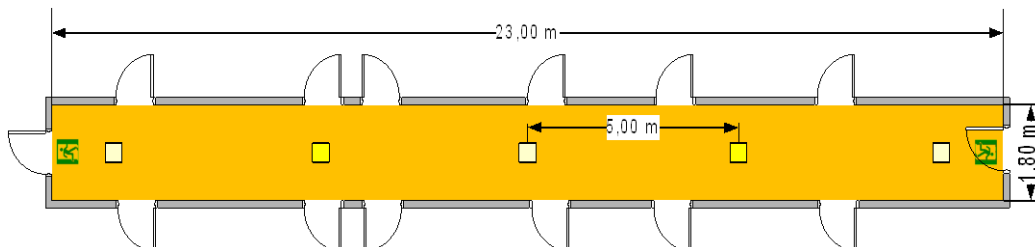


Abbildung 25: Flur mit Sicherheitsbeleuchtung

9.2.2 Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung

Die Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung ist eine Beleuchtung, die das gefahrlose Beenden notwendiger Tätigkeiten und das Verlassen des Arbeitsplatzes ermöglicht.

Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung sind solche, an denen bei Ausfall der Beleuchtung eine unmittelbare Unfallgefahr besteht oder von denen Gefahren für Dritte ausgehen können. Bühnen, Szenenflächen, Rennbahnen, Manegen werden im Sinne dieser Norm wie Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung behandelt.

9.2.3 Anti-Panik-Beleuchtung

Ziel einer Anti-Panik-Beleuchtung ist es, die Wahrscheinlichkeit einer Panik zu reduzieren, sowie den Personen ein sicheres Erreichen der Rettungswege durch Vorsehen ausreichender Beleuchtung und Richtungsangaben zu ermöglichen. Antipanik-Bereiche sind nach VDE 0108-100 Pkt. 3.4 [36] Flächen mit nicht gekennzeichneten Rettungswegen in Räumen größer 60 m² und in kleineren Bereichen, wenn zusätzliche Risiken gegeben sind, z. B. durch größere Menschenansammlungen. Nach DIN EN 1838 [33] ist in Toiletten für Menschen mit Behinderung sowie die Zuwegung zu Räumen mit Sicherheitsbeleuchtung, die nicht auf Rettungswegen liegen, ebenfalls eine Anti-Panik-Beleuchtung erforderlich.

9.3 Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung

Die Sicherheitsbeleuchtung muss bei einem örtlichen oder vollständigen Ausfall der allgemeinen Stromversorgung wirksam werden. Je nach Anwendung gelten gem. der ASR [24, 26] z. B. für die Beleuchtungsstärke, der Farbwiedergabe und die Gleichmäßigkeit unterschiedliche Anforderungen an eine Sicherheitsbeleuchtungsanlage. Die wesentlichen Anforderungen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

	Sicherheitsbeleuchtung		
	für Rettungswege	für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung	Anti-Panik-Beleuchtung
Mindestbeleuchtungsstärke E_{min}	1 lx (Mittellinie Rettungsweg, auf dem Boden)	10% E_n der Allgemeinbeleuchtung, mindestens jedoch 15 lx	0,5 lx (auf dem Boden)
Gleichmäßigkeit $E_{max} : E_{min}$	≤ 40 :1	≤ 10 :1	≤ 40 :1
Farbwiedergabeindex R_a	≥ 40		
Nennbetriebsdauer	1 Stunde	Dauer der Gefährdung	1 Stunde
Einschaltverzögerung ⁷	100 % E_{min} in 15 s	100 % E_{min} in 0,5 s	100 % E_{min} in 15 s

Tabelle 6: Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung

Verschärfende Anforderungen sind teilweise in Versammlungsstättenverordnungen, Hochhausrichtlinien, Großgaragenverordnungen etc. vorgegeben. Hier sind jeweils die spezifischen Regelungen der Länder zu beachten.

9.4 Sicherheitszeichen

Bei Sicherheitszeichen für Rettungswege kann es sich um beleuchtete bzw. angestrahlte Sicherheitszeichen (Zeichen mit externer Lichtquelle) oder um hinterleuch-

⁷⁾ Nach DIN EN 1838 inkl. nationaler Anhang.

tete Sicherheitszeichen (Zeichen mit interner Lichtquelle) handeln. Langnachleuchtende Sicherheitszeichen sind als Ersatz für eine Sicherheitsbeleuchtung unzulässig, da die Mindestbeleuchtungsdauer und –stärke nicht eingehalten werden können.

Die Sicherheitszeichen für Rettungswege müssen folgende Qualitätsmerkmale erfüllen:

- Das Format der Leuchte ist nach der Richtlinie 92/58/EWG über Mindestvorschriften für die Sicherheitskennzeichnung am Arbeitsplatz [2], nach ASR A1.3 [23] und nach DIN 4844, Teil 1+2 [68, 69] auszulegen.
- Die Farben müssen ASR A1.3 bzw. DIN 4844-1 entsprechen, die Sicherheitsfarbe ist grün, die Kontrastfarbe ist in weiß ausgelegt.
- Die Leuchtdichte der Sicherheitsfarbe (grün) muss an jeder Stelle mind. 2 cd/m² betragen. Für den Betrieb bei Allgemeinbeleuchtung werden 200 cd/m² mittlere Leuchtdichte auf der gesamten Fläche gefordert.
- Die Erkennungsweite (l) ist abhängig von der Größe des Zeichens und bestimmt sich nach der Formel:

$$l = z * h$$

h = die Höhe des Sicherheitszeichen

z = Distanzfaktor 100 für angestrahlte (beleuchtete) Zeichen
 200 für hinterleuchtete Zeichen

Beispiel:

Wie hoch muss ein hinterleuchtetes Sicherheitszeichen sein, das aus einer Entfernung von 30 m noch erkennbar ist?

$$h = l/z = 30 \text{ m}/200 = 0,15 \text{ m}$$

9.5 Stromversorgung

Zur Stromversorgung werden meist Batterien nach DIN EN 50272-2 [40] eingesetzt. In Abhängigkeit der Umschaltzeiten können auch Ersatzstromaggregate, die den Anforderungen nach DIN 6280-13 [49] entsprechen eingesetzt werden. Zur Reduzierung der Batteriekapazitäten ist eine Kombination beider Systeme möglich.

Im Betrieb von Notbeleuchtungsanlagen werden zwei Schaltungsarten unterschieden:

- Die Bereitschaftsschaltung wird vor allem zur Beleuchtung von Fluchtwegen und Bereichen eingesetzt, die Leuchten sind nur bei Netzausfall der allgemeinen Beleuchtung in Funktion.
- In Dauerschaltung wird die Kennzeichnung mit Rettungszeichenleuchten ausgeführt. Sie schaltet nach weniger als 0,5 Sekunden um, sobald ein örtlicher Stromausfall der Allgemeinbeleuchtung registriert wird. Nach Rückkehr der Netzversorgung muss die Rückschaltung auf das Netz erfolgen. Die Leuchten sind in Funktion, wenn die allgemeine Beleuchtung oder Notbeleuchtung erforderlich ist.

Die Auswahl und Festlegung, welches der nachfolgenden Systeme für die entsprechenden Einsatzbereiche in Abhängigkeit von der Raum- und Gebäudenutzung

eingesetzt wird, muss für jede Anlage separat geplant und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten umgesetzt werden.

9.6 Batterieanlagen

9.6.1 Einzelbatterieanlage

Als Stromquelle sind nur wiederaufladbare, verschlossene Batteriebauarten zugelassen, die ein Nachfüllen von Wasser oder Elektrolyt ausschließen. Die Batterien müssen für Erhaltungsladung konzipiert sein und lageunabhängig betrieben werden können. Das Einzelbatteriesystem erlaubt es, den Stromversorgungsteil in die Leuchten einzubauen. Durch die Verwendung von Bussystemen können diese Leuchten einzeln und automatisch überwacht werden. Aufwändige manuelle Prüfungen werden dadurch auf ein Minimum reduziert.

9.6.2 Zentralbatterieanlage

Hierbei handelt es sich um ein System, bei welchem die Batterieanlage als auch das Lade- und Steuergerät mit den Stromkreissicherungen an einer zentralen Stelle des Gebäudes installiert sind und sämtliche Leuchten von hier aus über entsprechende Leitungen versorgt werden. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Landesbauordnung ist für die Zentralbatterieanlage ein separater Aufstellungsraum notwendig. Die Batteriekapazität der Zentralbatterie ermittelt sich aus der erforderlichen Nennbetriebsdauer und der Gesamtsumme aller Anschlussleistungen der erforderlichen Leuchten. Für eine ausreichende Lüftung der Anlage ist zu sorgen.

Leitungen sind mit Funktionserhalt bis zur ersten Leuchte im anderen Brandabschnitt zu verlegen, wenn die einspeisende Leitung andere Brandabschnitte durchquert. Wenn die erste Leuchte weit entfernt von der Brandschutzwand angebracht ist, kann die Installation der Leitung mit Funktionserhalt bei Erreichen des Brandabschnittes in einer Abzweigdose beendet und mit Standardleitungsmaterial die erste Leuchte angeschlossen werden.

Als Vorteil ist die zentrale Überwachung und Aufstellung der Anlage zu bewerten, nachteilig wirken sich der hohe Installationsaufwand sowie die Erfordernis eines eigenen Aufstellungsraumes für die Batterie aus. Die Anzahl der Leuchten, bei der eine Zentralbatterieanlage wirtschaftlicher ist als Leuchten mit Einzelbatterien, ist abhängig von der jeweiligen Situation des Gebäudes und muss individuell betrachtet werden.

9.6.3 Stromversorgungssystem mit Leistungsbegrenzung (Gruppenbatterieanlage)

Bei diesem zentralen Stromversorgungssystem mit Leistungsbegrenzung (LPS-System, Low Power Supply System) ist die Ausgangsleistung für die Dauer von 3 Stunden auf 500 W oder für 1 Stunde auf 1500 W begrenzt. Dieses System wird vorwiegend als kompakte Kleinanlage für die Versorgung von Etagen eingesetzt. Ein separater Betriebsraum ist nicht notwendig.

9.7 Ersatzstromaggregat

Ersatzstromaggregate, auch Ersatzstromversorgungsanlagen genannt, sind meistens dort im Einsatz, wo weitere Sicherheitseinrichtungen und notstromberechtigte Verbraucher auch bei Ausfall der öffentlichen Stromversorgung weiter betrieben werden müssen. Vielfältige Anforderungen und unterschiedliche Verbraucher bestimmen die im Einzelfall zu wählende Ausführung (siehe AMEV Ersatzstrom [58]).

Die Sicherheitsleuchten werden im Normalbetrieb aus dem öffentlichen Netz gespeist. Die Ersatzstromversorgungsanlage ist in Bereitschaft und startet bei Netzstörung sofort aus dem Stillstand. Erst wenn die Nenndrehzahl erreicht ist, wird die Last mit einer Unterbrechungszeit von maximal 15 Sekunden zugeschaltet. Bei der

Auslegung als Schnellbereitschaftsaggregat beträgt die Unterbrechungszeit 0,1 bis 0,5 Sekunden.

Die Überbrückungsdauer kann je nach Kraftstoffvorrat bis zu mehrere Tage betragen und ist nicht abhängig von der Batteriekapazität wie bei den Batteriesystemen.

9.8 Instandhaltung von Notbeleuchtungseinrichtungen

Batterien und Stromversorgungsaggregate müssen regelmäßig gem. der gültigen Normen geprüft und instand gehalten werden. Für Arbeitsstätten ergibt sich die Pflicht zur Instandhaltung aus § 4 der Arbeitsstättenverordnung. Hierbei sind die technischen Regeln zu beachten. Nach bauordnungsrechtlichen Vorschriften sind Prüfungen durch anerkannte Sachverständige erforderlich.

Der Betreiber des Gebäudes muss eine zuständige Person bestimmen, die die Instandhaltung des Systems überwacht.

Laut der DIN EN 50172 [39] Abschnitt 7 Wartung und Prüfung sind folgende Prüfungen durchzuführen:

- Täglich sind Gruppen- und Zentralbatterien durch Sichtprüfung auf korrekte Funktion zu überprüfen. Dies kann durch eine Meldeeinrichtung übernommen werden. Die Meldung erfolgt an eine Zentralstelle.
- Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Sicherheitsbeleuchtung ist monatlich die automatische Umschaltung der Sicherheitsleuchten auf Batterie-/SV-Betrieb zu prüfen. Dieses muss durch Simulation eines Ausfalls der allgemeinen Beleuchtungsversorgung erfolgen. Zusätzlich ist bei Vorhandensein einer Überwachungseinrichtung der korrekte Betrieb dieser Einrichtung zu überprüfen.
- Einmal jährlich muss jede Leuchte und jedes hinterleuchtete Zeichen über seine volle, notwendige Betriebsdauer, geprüft werden. Während dieser Zeit müssen alle Leuchten und Zeichen überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie vorhanden und sauber sind sowie richtig funktionieren.

Werden automatische Prüfeinrichtungen benutzt, so sind die Prüfergebnisse im Prüfbuch monatlich aufzuzeichnen. Diese Einrichtungen müssen nach der Norm DIN EN 62034 [43] gestaltet, konstruiert und installiert werden. Bei allen anderen Systemen sind die Prüfungen gem. der Norm EN 50172 [36] Abschnitt 7 Wartung und Prüfung manuell durchzuführen.

Die jährliche Prüfung darf nicht automatisch ausgelöst werden.

Die Ergebnisse der Prüfungen müssen dokumentiert werden, die Dokumente sind mindestens bis zur nächsten regelmäßigen Prüfung aufzubewahren.

Jeweils nach Ende der Prüfdauer muss die allgemeine Beleuchtung wieder hergestellt und jede Meldelampe und jedes Meldegerät geprüft werden, um sicherzustellen, dass die allgemeine Stromversorgung wieder hergestellt ist.

Spätestens nach Ablauf von 3 Jahren muss die Messung der Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung nach DIN EN 1838 [33] erfolgen.

Batterien sind gemäß der DIN EN 50110-1 [38] außerhalb der Betriebszeiten einmal im Jahr zu entladen.

Beim Stromerzeugungsaggregat wird gefordert, dass der Kraftstoffvorrat für die Mindestbetriebsdauer ausreicht.

10 Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen

Für Beleuchtungszwecke werden in der Bundesrepublik Deutschland, je nach Einsatzbereich, im Mittel etwa 13 % der elektrischen Energie verbraucht. Daher ist es notwendig, Beleuchtungsanlagen so zu planen, dass der Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen minimiert werden, ohne dabei die Qualität der Beleuchtung zu beeinträchtigen. Mit in Kraft treten des Energieeinspargesetzes (EnEG) im Jahre 2005 [3] wurde die Erstellung von Energieausweisen für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden einschließlich der Systemleistung der Beleuchtungsanlage verbindlich vorgeschrieben.

In der dazu von der Bundesregierung erlassenen Energieeinsparverordnung (derzeit EnEV 2014 mit Ergänzungen 2016 [21]) werden für Nichtwohngebäude Referenzbeleuchtungsanlagen mit dazu festgelegten Raumnutzungsarten definiert. Diese Referenzanlagen dürfen jedoch nicht als Standard für die Beleuchtungsplanung verstanden werden. Vielmehr ist im Einzelfall zu entscheiden, welche Maßnahmen zur Energieeinsparung (z. B. präsenz- oder tageslichtabhängige Regelung) im jeweiligen Projekt wirtschaftlich sind.

Die Referenzbeleuchtungsanlagen dienen ausschließlich dazu mit dem in DIN V 18599 [51] beschriebenen Verfahren für das Referenzgebäude den Energiebedarf zu berechnen. Dieser wird dann mit dem ebenfalls über alle Teile der DIN V 18599 berechneten Gesamtenergieverbrauch des geplanten Bauwerks verglichen. Die Anforderungen an die Beleuchtung sind in der DIN V 18599-4 [52] definiert.

Dabei ist jedoch folgendes zu beachten: Sollten bei der Berechnung des Endenergiebedarfs für das geplanten Bauwerk, z. B. bei der Beleuchtungsanlage, die Anforderungen für das Referenzgebäude nach v. g. Norm unterschritten werden, so ist der sich daraus ergebende Energiemehrbedarf an anderer Stelle im Bauwerk wieder zu kompensieren. Dieses gilt im Übrigen für alle von der DIN V 18599 betroffenen Gewerke. Bei der Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtungsanlagen wird üblicher Weise das Tabellenverfahren eingesetzt. Dabei werden durchweg höhere spezifische Werte ermittelt, als sie sich bei der für Beleuchtungsplanungen üblichen Fachplanung nach der Punkt-zu-Punkt-Methode ergeben.

Bei der Planung und dem Betrieb von Beleuchtungsanlagen sind daher auch immer Maßnahmen zur Energieeinsparung zu untersuchen. Zunächst ist dabei das verfügbare Tageslicht optimal zu nutzen (siehe auch Abschnitt 2.5). Darüber hinaus ist z. B. der Einsatz von intelligenten und nutzungsgerechten Steuer- und Regelungstechniken, geeignete Beleuchtungssysteme mit effizienten Leuchtmitteln bzw. Vorschaltgeräte-Systemen oder eine mögliche Aufschaltung auf eine vorhandene Gebäudeautomation zu untersuchen. In diesem Zusammenhang gelten im Bereich von Baumaßnahmen des Bundes, aufgrund dessen Vorbildfunktion, weitergehende Vorgaben zur Umsetzung einer energieeffizienten Beleuchtung.

Die Planungen sollen sich jedoch nicht nur am technisch Machbaren, sondern insbesondere am wirtschaftlich Sinnvollen orientieren. Dazu führt § 5 des EnEG aus, dass eine Maßnahme zur Energieeinsparung im Sinne der EnEV dann als wirtschaftlich vertretbar gilt, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eintretenden Einsparungen erwirtschaftet werden können.

In Anbetracht des in der Regel knapp bemessenen Kostenrahmens ist daher immer ein Abwägen von Nutzen und Kosten im Einzelfall und in Abstimmung mit dem Nutzer bzw. Bedarfsträger einer Baumaßnahme erforderlich. Oft können jedoch gerade bei Beleuchtungsanlagen höhere Investitionskosten schon nach relativ kurzer Zeit, d. h. innerhalb weniger Jahre, durch die geringeren Betriebs- und Instandhaltungs-

kosten kompensiert werden. Hierzu kann insbesondere auch der Einsatz moderner LED-Technik beitragen.

10.1 Schalten, Steuern und Regeln der Beleuchtung

10.1.1 Allgemeines

Durch die Schaffung nutzungsgerechter Möglichkeiten zum Schalten, Steuern und Regeln der Beleuchtungsanlagen werden die entscheidenden Voraussetzungen für den strom- und kostensparenden Betrieb der Beleuchtungsanlagen geschaffen. Dabei ist zu bedenken, dass die einmal installierten Einrichtungen langfristig betrieben werden und häufig nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand nachträglich geändert werden können.

10.1.2 Schalten

In Büro-, Klassen- und ähnlichen Räumen sind die fensternahen und fensterfernen Leuchten getrennt schaltbar- bzw. regelbar zu installieren. In Sälen und anderen großen Räumen (z. B. Sporthallen) sind Zonenschaltungen für einzelne Raumbereiche zu installieren. Darüber hinaus sind durch geeignetes Zusammenfassen der Leuchten zu Schaltgruppen unterschiedliche Beleuchtungsniveaus schaltbar zu machen.

Für Treppenhäuser ist jeweils ein eigener Schaltkreis vorzusehen. Die Beleuchtung der Flure muss etagenweise schaltbar sein. Bei weitläufigen Verkehrswegen sind mehrere Schaltkreise je Etage vorzusehen. Dies gilt auch für Flure, die nur teilweise mit Tageslicht versorgt werden.

Der Einsatz von Präsenzmeldern⁸⁾ kann sinnvoll sein, wenn bei Beleuchtungsanlagen mit unnötig langen Brenndauern zu rechnen ist, z. B. in Sporthallen, Hörsälen oder bestimmten Verkehrszonen. Präsenzmelder steuern das zeitverzögerte automatische Abschalten. Das Einschalten erfolgt entweder von Hand oder ebenfalls automatisch über den Melder. Beim Einsatz von Meldern im Hochfrequenzbetrieb (sog. HF-Melder) ist zur Vermeidung von ungewollten Schaltungen besonders Augenmerk auf deren Erfassungsbereich zu legen.

Bewegungsmelder können auch in Toilettenräumen und anderen nur sporadisch genutzten Räumen (z. B. Kellerräume, zwischen Regalen in Lagern) eingesetzt werden.

Bei innenliegenden Verkehrswegen wird die Beleuchtung im Regelfall über Bewegungsmelder geschaltet.

Die Schaltung der Beleuchtung von Verkehrswegen mit ausreichend Tageslichteinfall (Flure, Treppenhäuser, Lichthöfe) ist zusätzlich die Kombination mit einem Dämmerungsschalter sinnvoll.

Eine regelmäßige Funktionskontrolle bei automatisierten Schaltungen ist im Rahmen der Inspektion vorzusehen, um unnötige Schaltzeiten durch Fehlfunktionen zu vermeiden.

⁸⁾ Präsenzmelder erfassen im Gegensatz zu Bewegungsmeldern auch Personen die sich nicht bewegen.

Erfolgt keine automatische Abschaltung in Fluren und Treppenhäusern, sollte die Beleuchtung in dafür geeigneten Bereichen möglichst an einer zentralen Stelle (z. B. Pförtner, Hausmeister) schaltbar sein.

Die Außenbeleuchtung ist grundsätzlich über Dämmerungsschalter ein- und auszuschalten. Die Schaltung ist, abhängig von den Nutzungszeiten der Liegenschaft zusätzlich mit einer Zeitschaltuhr auszustatten, damit die Beleuchtung nicht die ganze Nacht über betrieben wird. Anstelle einer völligen Abschaltung kann der Einsatz von Bewegungsmeldern mit integrierten Dämmerungsschaltern sinnvoll sein.

10.1.3 Lichtsteuerung

Lichtsteuerungen schalten oder dimmen die Beleuchtung, um die Beleuchtungsstärke der jeweiligen Nutzung anzupassen. Zur stufenlosen Beleuchtungssteuerung werden dimmbare Treiber eingesetzt, deren Ansteuerung eine zusätzliche Leitung erfordert.

Bei Beleuchtungsanlagen ohne besondere Anforderungen erfolgt das Dimmen über handbediente Taster. Aufwändige Anlagen (z. B. für Hörsäle) erhalten in der Regel elektronische Steuerungen mit Bedientableaus, an denen eine oder mehrere vorgewählte Beleuchtungsstärken (z. B. Mitschreibbeleuchtung) über Taster abgerufen werden können.

10.1.4 Lichtregelung

Lichtregelungen regeln die Raumbelichtung mittels eines Lichtfühlers auf einen konstanten Helligkeitswert. Dadurch reduzieren sie bei ausreichendem Tageslichteinfall den künstlichen Beleuchtungsanteil.

In großen Räumen (z. B. Hörsälen) wird der Einsatz eines Lichtregelgerätes mit zentralem Lichtsensor empfohlen. Der Lichtsensor soll an geeigneter Stelle im Raum das Mischlicht aus Tages- und Kunstlicht aufnehmen.

In Büros oder büroähnlichen Räumen bietet der Einsatz von Leuchten mit integriertem Lichtsensor Vorteile wie z. B. die individuelle Nachregelung der Raumhelligkeit und die Berücksichtigung lokaler Verschattungen. Darüber hinaus reduziert sich bei integrierten Lichtsensoren der Installationsaufwand. Dieses kann sich besonders bei der Erneuerung von Beleuchtungsanlagen im Bestand kostensenkend auswirken.

Auf eine gesicherte Abschaltung der Beleuchtung nach Beendigung der Raumnutzung ist zu achten, damit bei eintretender Dunkelheit die Beleuchtung nicht unbeabsichtigt wieder hochgeregelt wird.

Der Eigenverbrauch der Beleuchtungsregelung und eines ggf. installierten Bus-Systems verschlechtern den Wirkungsgrad der Beleuchtungsregelung. Dieser Aspekt ist bei der Auswahl der Systeme unter wirtschaftlichen Aspekten zu berücksichtigen.

Für die Inbetriebnahme von Lichtregelsystemen ist ein nicht unerheblicher personeller Aufwand einzukalkulieren. Für die bestimmungsgemäße Funktion der Lichtregelsysteme können mehrere Messungen, Abgleiche und Einregulierungen erforderlich werden. Vor Abnahme der Leistungen sollte ein ausreichender, realitätsnaher Testbetrieb durchgeführt werden.

Für eine akzeptable Funktion der präsenzabhängigen Schaltung der Beleuchtung müssen geeignete Präsenzmelder eingesetzt und optimal im Raum positioniert und

parametriert werden. Die örtliche Anordnung der Präsenzmelder und Lichtfühler im Raum sollte in einem Musterraum getestet werden. Typenblätter und Herstellerangaben können hierfür nur erste Anhaltswerte liefern.

10.1.5 Gebäudeautomation

In Liegenschaften mit vorhandener Gebäudeautomation/Gebäudeleittechnik wird empfohlen, Leuchtengruppen mit hoher Leistung auf diese aufzuschalten. Bei der Festlegung der Informationslisten nach VDI 3814 Gebäudeautomation [56] sind vor allem das Melden der Schaltzustände EIN/AUS, zentrales Abschalten sowie Zeitprogramme zu berücksichtigen.

Gebäude mit komplexer elektrotechnischer Ausrüstung werden zunehmend mit einem Installationsbus (z. B. KNX/EIB) ausgestattet. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit die Beleuchtungssteuerung in das Bus-System zu integrieren.

Die Beleuchtung kann dann manuell vor Ort, fernbetätigt durch Infrarot oder zentral schalt- bzw. dimmbar ausgeführt werden.

Weiterhin kann die Steuerung oder Regelung der Beleuchtung in Abhängigkeit von dem Außenlicht, der Zeit oder der Anwesenheit von Personen erfolgen.

Auch ist die Kopplung mit der Raumluf- und Heizungstechnik möglich. Bei Nutzungsänderungen kann die Zuordnung EDV-gestützt durch Neukonfiguration verändert werden, so dass kein weiterer Installationsaufwand entsteht. Bei der Neueinrichtung eines Bus-Systems für Beleuchtungsanlagen kann dessen Wirtschaftlichkeit über die ggf. daraus resultierenden zusätzlichen Energieeinsparungen (gegenüber einer konventionellen Lichtsteuerung/-regelung) nachgewiesen werden. Weitere Hinweise zur Gebäudeautomation, siehe AMEV Gebäudeautomation [57].

10.2 Auswahl von Leuchtmitteln für Bestandsanlagen

10.2.1 LED-Lampen

Als Ersatz für Glühlampen, Halogenlampen oder Kompaktleuchtstofflampen können grundsätzlich energiesparende LED-Lampen (sogenannte Retrofit-Lampen) gewählt werden. LED-Lampen reduzieren den Energieverbrauch bis zu 85 %. Bei der Verwendung ist insbesondere auf die Leistung, den Lichtstrom und die Lichtverteilung des Leuchtmittels zu achten. Während die Lichtausbeute bei den Kompaktleuchtstofflampen stagniert, werden zunehmend LED-Lampen mit größeren Lichtströmen und zugleich besseren spezifischen Leistungen (lm/W) angeboten.

Für dekorativen Anforderungen sind LED-Lampen mit Glühfadenanmutung verfügbar, die auch optisch herkömmlichen Glühlampen ähneln.

Bei den Leistungs- und Lichtstromangaben in den folgenden Tabellen handelt es sich um Richtwerte (Circa-Angaben), die zumindest bei den LED-Lampen der ständigen technischen Fortentwicklung unterliegen.

Fassung	Lichtstrom	Glühlampe	Halogenlampe (klar)	Kompaktleuchtstofflampe	LED-Lampe
E 14/E 27	127-249 lm	25 W	18 W	5 W	2 W
E 14/E 27	410-470 lm	40 W	28 W	7-8 W	4 W
E 27	702-806 lm	60 W	42 W	11 W	6 W
E 27	920-1055 lm	75 W	52 W	15 W	9 W
GU 10	345 lm		50 W		4,5 W

Tabelle 7: Vergleich der Leuchtmittel mit 230 V Betriebsspannung

Fassung	Lichtstrom	Niedervolthalogen-glühlampe	LED-Lampe
GU 5.3	300 lm	35 W	4 W
GU 5.3	540 lm	50 W	6 W

Tabelle 8: Vergleich der Leuchtmittel mit 12 V Betriebsspannung

10.2.2 LED-Röhren

Auf dem Markt werden alternative Leuchtmittel als Ersatz für stabförmige T26-Leuchtstofflampen, in Leuchten mit induktiven Vorschaltgeräten, angeboten. Bei den LED-Röhren wird die T26-Lampe durch ein mechanisch kompatibles Leuchtmittel ersetzt, das mit Leuchtdioden bestückt ist. Der Starter wird durch eine Kurzschlussbrücke ersetzt. Die Vorschaltgeräte verbleiben in den Leuchten. Eventuelle vorhandene Kompensationskondensatoren sollten demontiert werden.

Es ergeben sich rechtliche Probleme. Da die Leuchten seitens des Herstellers nur für den Betrieb mit T26-Lampen vorgesehen sind, erlischt seine Produkthaftung und das CE-Zeichen auf der Leuchte verliert seine Gültigkeit. Der für den Umbau Verantwortliche übernimmt die volle Betriebsverantwortung und zwar für Sach- als auch Personenschäden.

Technisch problematisch ist der Austausch, da er in der Regel mit einem Lichtstromrückgang verbunden ist, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Außerdem ist das höhere Gewicht der LED-Röhren gegenüber stabförmigen Leuchtstofflampen zu berücksichtigen.

	T26-Lampe		LED-Lampe	
Lampenlänge	Systemleistung	Lichtstrom	Systemleistung	Lichtstrom
600 mm	24 W	1350 lm	14 W	2000 lm
1200 mm	44 W	3350 lm	20 W	3000 lm
1500 mm	66 W	5200 lm	28 W	4000 lm

Tabelle 9: Lichtstromvergleich – T26 Lampe – LED-Lampe 4000 K (Beispielwerte)

Viele Leuchten mit Spiegelraster sind auf den Durchmesser des vorgesehenen Leuchtmittels abgestimmt. Durch den Einsatz eines Leuchtmittels mit geringerem Durchmesser oder mechanischer Form wird das optische Verhalten der Leuchte in nicht vorhersehbarer Weise beeinflusst.

Zu berücksichtigen ist, dass bei den LED-Röhren Produkte auf dem Markt sind, die für den Einsatz in Büros eine unzureichende Farbwiedergabe ($R_a < 80$) haben.

LED-Röhren werden auch mit einer integrierten Lichttechnik angeboten, die dafür sorgt, dass das Licht nur in einem Winkel von z. B. 120° nach unten abgestrahlt wird. Werden solche Leuchtmittel in Leuchten ohne jegliche Reflektoren (z. B. freistrahrende Lichtleisten) eingesetzt, ist es möglich, dass die in der LED-Röhre integrierte Lichttechnik den geringeren Lichtstrom zumindest insoweit kompensiert, dass auf der Nutzebene weiter die erforderliche Lichtstärke erreicht wird. Bei Umrüstungen sollte vorab untersucht werden, ob gegenüber dem früheren Betrieb höhere Temperaturen auftreten. Dabei wird eine Zulassung der LED-Röhre (z. B. VDE-Prüfzeichen) vorausgesetzt. Siehe auch VDE/ZVEI Leitfaden LED-Lampen als Alternative zu Leuchtstofflampen⁹⁾ [70].

⁹⁾ <http://www.zvei.org/Publikationen/LED-Lampen-Alternative-zu-Leuchtstofflampen.pdf>

11 Messen der Beleuchtungsstärke

Ein Verfahren zur Messung und Bewertung der Beleuchtung mit künstlichem Licht wird in DIN 5035-6 [45] beschrieben. Es bringt genaue Ergebnisse, erfordert allerdings einen Personal- und Messaufwand, der in Standardfällen häufig als unverhältnismäßig hoch angesehen wird. Aufgrund der Erfahrungen vieler Verwaltungen werden für einfache Praxisfälle zunächst einfache Punktmessungen zur ersten näherungsweise Einschätzung der Beleuchtungsstärke empfohlen.

Die Punktmessung wird in sinngemäßer Anlehnung an DIN 5035-6 durchgeführt. Die Zahl der Messpunkte wird jedoch erheblich reduziert.

In einem Raum mit arbeitsplatzorientierter Beleuchtung (z. B. Büroraum oder büroähnlicher Raum) sind Messpunkte im Bereich oder den Bereichen der Sehaufgabe (z. B. auf dem Schreibtisch und dem Besprechungstisch) zu wählen. Zusätzlich sollte an einem Messpunkt im Umgebungsbereich der Sehaufgabe gemessen werden.

Bei der Messung ist zu beachten, dass als Messebene die Höhe der Bewertungsfläche angenommen wird. Diese ist in Büroräumen 0,75 m über dem Fußboden und in Verkehrsflächen und Sportstätten der Fußboden.

Bei einer Punktmessung in Verkehrswegen wird ein repräsentativer Messpunkt mit niedriger Beleuchtungsstärke (z. B. ein Messpunkt zwischen zwei Leuchten) gewählt. Von den Raumbegrenzungsflächen ist nach Möglichkeit ein Abstand von mindestens 1 m einzuhalten.

Die Messwerte dürfen die jeweiligen Wartungswerte nicht unterschreiten. Bei Neuanlagen ist zu prüfen, ob das Produkt aus den gemessenen Werten und dem festgelegten Wartungsfaktor über dem Wartungswert liegt (siehe Abschnitt 2.6).

DIN 12464-1 enthält in Abschnitt 4.4 Hinweise zu der Ermittlung der notwendigen Rasterpunkte bei Messung und Berechnung. Dabei sind bei Berechnung und Messung grundsätzlich die gleichen Rasterpunkte zu verwenden, damit Ergebnisse vergleichbar sind. Für den Abstand der Berechnungspunkte gilt:

$$p = 0,2 * 5^{\log_{10}(d)}$$

p = max. Abstand Rasterpunkte bzw. < 10 m; Seitenverhältnis < 1:2

d = Seitenlänge des Berechnungsfelds

12 Hinweise für den Betrieb von Beleuchtungsanlagen

12.1 Instandhaltung

Während des Betriebes nimmt die Beleuchtungsstärke ab durch:

- Verschmutzung der Leuchtmittel und Leuchten,
- Alterung und Ausfall der Leuchtmittel,
- Verschmutzung der Raumbegrenzungsflächen,
- Alterung der Leuchten.

Unter den genannten Einflüssen hängen die Alterung und der Ausfall der Leuchtmittel von der Zahl der Betriebsstunden ab. Die anderen Einflüsse sind unabhängig von der Zahl der Betriebsstunden der Anlage; ihre Größe hängt von der Art und dem Grad des Staubanfalls ab, der z. B. in normalen Büroräumen gering, in Holzwerkstätten dagegen sehr groß ist. Somit können sich in normalen Büroräumen lange Wartungsfristen, in Holzwerkstätten dagegen kurze Wartungsfristen ergeben.

Zur Instandhaltung einer Beleuchtungsanlage gehören folgende Arbeiten:

- Reinigen der Leuchten und Leuchtmittel in Abhängigkeit von der Raumnutzung,
- Auswechseln der Leuchtmittel in Abhängigkeit von der Anzahl der Betriebsstunden.

Ein zu niedriges Beleuchtungsniveau infolge zu geringer Reflexionsgrade durch stark verschmutzte Decken und Wände kann durch Renovierung der Räume angehoben werden. Renovierungsintervalle können den Wartungsplänen gemäß DIN EN 12464-1 Pkt. 6.6 entnommen werden, soweit diese bei Bestandsanlagen bereits vorhanden sind.

12.2 Entsorgung von Leuchtmitteln

Die nutzende Verwaltung ist darauf hinzuweisen, dass Leuchtstofflampen wie auch andere Entladungslampen, die u. a. Quecksilber enthalten, ordnungsgemäß entsorgt werden müssen. Die Entsorgung erfolgt gemäß Elektro- und Elektronikgerätegesetz [17] über spezielle Annahmestellen, die von den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (z. B. Fuhramt, Reinigungsamt) vorgehalten werden. Die Annahme der Leuchtmittel erfolgt dort kostenfrei.

Es empfiehlt sich, die Entsorgung zusammen mit der Ersatzbeschaffung aususchreiben und von der Lieferfirma eine entsprechende Bestätigung über die stoffgerechte Verwertung bzw. Entsorgung der Leuchtmittel zu verlangen.

12.3 Änderung der Raumnutzung

Bei Änderung der Arbeitsplatzanordnung, der Raumausstattung oder der Nutzung muss geprüft werden, ob die Zuordnung der Beleuchtung zum Arbeitsplatz noch den Anforderungen entspricht. Wird das nicht beachtet, können Arbeitsdurchführung und Arbeitsleistung nachteilig beeinflusst werden. Diese Prüfung ist auch dann erforderlich, wenn der Raum einen anderen Verwendungszweck erhält. Nötigenfalls ist die Beleuchtung nach einer Neuberechnung anzupassen.

13 Glossar

Adaptation

Anpassung der Augen an unterschiedliche Helligkeiten.

Arbeitsbereich

Räumlicher Bereich, in dem die Arbeitsaufgabe verrichtet wird.

Arbeitsbereich „Besprechung“

Dieser Arbeitsbereich setzt sich zusammen aus

- Tischfläche,
- Benutzerfläche.

Arbeitsbereich „Bildschirm- und Büroarbeit“

Dieser Arbeitsbereich setzt sich zusammen aus:

- Arbeitsflächen, auf denen die Sehaufgaben durchgeführt werden,
- Arbeitsflächen, auf denen die dem unmittelbaren Fortgang der Arbeit dienenden Arbeitsmittel angeordnet sind,
- Benutzerflächen, die bei der funktions- und sachgerechten Ausübung der Bildschirmarbeit erforderlich sind.
- Arbeitsbereich „Lesetätigkeit an Schrank- und Regalflächen“
Dieser Arbeitsbereich setzt sich zusammen aus vertikalen Flächen an Schränken und Regalen.

Ausstrahlungswinkel

Winkel zwischen der Senkrechten und dem aus einer Leuchte austretenden Lichtstrom.

Beleuchtungsart

- Direktbeleuchtung
Der Lichtstrom der Leuchten wird direkt auf die zu beleuchtenden Flächen gelenkt. Der Anteil des Lichtstroms der Leuchte, der in den unteren Halbraum ausgestrahlt wird, ist größer als 90 % des Lichtstroms der Leuchte.
- Indirektbeleuchtung
Der Lichtstrom der Leuchten wird über Reflexion an der Decke, den Wänden oder anderen Reflexionsflächen auf die zu beleuchtenden Flächen gelenkt. Der Anteil des Lichtstroms der Leuchte, der in den unteren Halbraum ausgestrahlt wird, ist kleiner als 10 % des Lichtstroms der Leuchte.
- Direkt-/Indirektbeleuchtung
Der Lichtstrom der Leuchten wird sowohl direkt als auch indirekt auf die zu beleuchtenden Flächen gelenkt. Der Anteil des Lichtstroms der Leuchte, der in den unteren Halbraum ausgestrahlt wird, liegt zwischen 90 % und 10 % des Lichtstroms der Leuchte.

Beleuchtungskonzept

- Raumbezogene Beleuchtung
Gleichmäßige Beleuchtung des Raumes bzw. der Raumzonen.
- Arbeitsbereichsbezogene Beleuchtung
Gesonderte Beleuchtung der einzelnen Arbeitsbereiche und des Umgebungsbereiches.
- Teilflächenbezogene Beleuchtung
Gesonderte Beleuchtung der einzelnen Sehbereiche und des Umgebungsbereiches, wobei innerhalb des Arbeitsbereiches „Bildschirm- und Büroarbeit“ eine

Teilfläche von mindestens 600 mm x 600 mm durch eine Arbeitsplatzleuchte zusätzlich beleuchtet wird.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffende Lichtstrom Φ und der Größe dieser Fläche A. Formelzeichen E, Einheit Lux (lx), Berechnungsgleichung $E = \Phi / A$

- Horizontale Beleuchtungsstärke E_h
Beleuchtungsstärke auf einer ebenen horizontalen Fläche, z. B. auf einer Arbeitsfläche. Messung: Die Empfängerfläche des Beleuchtungsstärkemessgerätes liegt parallel zur horizontalen Bewertungsfläche.
- Vertikale Beleuchtungsstärke E_v
Beleuchtungsstärke auf einer ebenen vertikalen Fläche, z. B. auf einer Schrankfläche. Messung: Die Empfängerfläche des Beleuchtungsstärkemessgerätes liegt parallel zur vertikalen Bewertungsfläche.
- Zylindrische Beleuchtungsstärke E_z
Die zylindrische Beleuchtungsstärke E_z ist der Mittelwert der Beleuchtungsstärke auf der Mantelfläche eines senkrecht stehenden Zylinders. Sie kann näherungsweise als mittlere vertikale Beleuchtungsstärke durch Berechnung oder Messung der vertikalen Beleuchtungsstärken in den vier Raumrichtungen ermittelt werden.
 $E_z = 1/4 (E_{v1} + E_{v2} + E_{v3} + E_{v4})$
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke
Die Gleichmäßigkeit U_0 ist der Quotient aus der minimalen Beleuchtungsstärke E_{min} und der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E} auf einer Bewertungsfläche. Berechnungsgleichung: $U_0 = E_{min}/\bar{E}$. Anforderungen an die Gleichmäßigkeit werden für horizontale, vertikale und zylindrische Beleuchtungsstärken gestellt.

Beleuchtungswirkungsgrad

Betriebswirkungsgrad einer Leuchte unter Berücksichtigung der Umgebung (Raumgröße, -proportionen, Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen).

Benutzerfläche

Die Benutzerfläche schließt direkt an der Arbeitsfläche an. Sie ist so bemessen, dass die natürlichen Bewegungsabläufe des Menschen nicht behindert werden und für wechselnde Körperhaltungen (Sitzen und Stehen) sowie für dynamisches Sitzen (Wechsel zwischen vorgeneigter, mittlerer und zurück geneigter Sitzposition) ausreichend Platz vorhanden ist.

Bezugsebene für den Wartungswert

Die Bezugsebene für den Wartungswert entspricht der Nutzebene. Diese liegt im Allgemeinen auf einer Höhe von 0,85 m und bei überwiegend sitzender Tätigkeit (z. B. Büroarbeitsplätze) bei 0,75 m. Bei Verkehrswegen liegt die Bezugsebene gemäß DIN EN 12464-1 auf dem Boden, gemäß ASR A3.4 bis 0,2 m über dem Boden.

BGG

Berufsgenossenschaftliche Grundsätze (ersetzt durch DGUV)

BGI

Berufsgenossenschaftliche Informationen (ersetzt durch DGUV)

BGR

Berufsgenossenschaftliche Regeln (ersetzt durch DGUV)

Bildschirm- und Büroarbeitsplatz

- **Bildschirmarbeitsplatz**
Ist der räumliche Bereich im Arbeitssystem einschließlich der unmittelbaren Arbeitsumgebung, der mit Bildschirmgerät sowie ggf. mit Zusatzgeräten und sonstigen Arbeitsmitteln ausgerüstet ist.
- **Büroarbeitsplatz**
Ist ein Arbeitsplatz, an dem Informationen erzeugt, erarbeitet, bearbeitet, ausgewertet, empfangen oder weitergeleitet werden. Dabei werden z. B. Planungs-, Entwicklungs-, Beratungs-, Leitungs-, Verwaltungs- oder Kommunikationstätigkeiten sowie diese Tätigkeiten unterstützende Funktionen ausgeführt.

Blendung

Unter Blendung versteht man Störungen durch zu hohe Leuchtdichten und/oder zu große Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld.

- **Direktblendung**
Störungen, die unmittelbar durch Leuchten oder leuchtende Flächen hervorgerufen werden. Zur Bewertung der Direktblendung durch Leuchten wird das UGR-Verfahren angewendet.
- **Reflexblendung**
Störungen, die durch Spiegelungen von Flächen hoher Leuchtdichte auf glänzenden Oberflächen, z. B. auf der Bildschirmoberfläche, auf Arbeitsmitteln, oder auf dem Schreibtisch, verursacht werden. Die dadurch hervorgerufenen Störungen sind im Wesentlichen Kontrastminderung, Fusions- und Akkommodations-schwierigkeiten.

Darstellungsart (Bildschirmpolarität)

- Darstellung dunkler Zeichen auf hellem Hintergrund (Positivdarstellung)
- Darstellung heller Zeichen auf dunklerem Hintergrund (Negativdarstellung).

DGUV

Deutsche gesetzliche Unfallversicherung: Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, (www.dguv.de) verbindliche Sicherheitsanforderungen an Arbeitsmittel u. – verfahren, bußgeldbewehrt.

Dimmer

Vorrichtung zum stufenlosen Steuern des Lichtstroms einer Lichtquelle. Je nach Art der Lichtquelle sowie ggf. des Betriebsgerätes werden unterschiedliche Dimmer benötigt.

Downlight

Downlights sind kompakte runde oder quadratische Deckeneinbau-, Deckenanbau- oder Pendelleuchten mit rein direkter, mehr oder minder engstrahlender Lichtverteilung. Ihre Lichtstärkeverteilungen sind meist rotationssymmetrisch, bei Wandflutern asymmetrisch.

Farbwiedergabe

Wirkung einer Lichtquelle auf den Farbeindruck eines Objektes, das mit dieser Lichtquelle beleuchtet wird, im bewussten oder unbewussten Vergleich zum Farbeindruck dieses mit einer Referenzlichtquelle beleuchteten Objektes. Die Farbwiedergabeeigenschaften von Lampen und somit der Grad der Farbverfälschung gegenüber der Referenzlichtquelle werden durch den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a gekennzeichnet.

- $100 \geq R_a \geq 90$ sehr gute Farbwiedergabe
- $90 > R_a \geq 80$ gute Farbwiedergabe

Die empfundene Farbe eines Objektes ergibt sich durch das Zusammenwirken der spektralen Zusammensetzung des beleuchtenden Lichtes, des spektralen Reflexionsverhaltens des beleuchteten Objektes und des beobachtenden Sehorgans. Hieraus erklärt sich u. a. die unterschiedliche Farbe eines Objektes bei Beleuchtung mit verschiedenen Lichtquellen.

Flimmern

Wahrnehmung einer raschen zeitlichen, meist periodischen Schwankung der Helligkeit.

Glanzgrad

Bezeichnung für die subjektive Glanzempfindung von Oberflächen.

Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke

Siehe Beleuchtungsstärke.

Grenzabstand

Entfernung zwischen Bildschirmoberfläche und Leuchte, oberhalb der bei gegebenem Deckenabstand zur Bildschirmoberkante eine Spiegelung der Leuchte auf dem Bildschirm erstmals möglich ist. Sind die Raumabmessungen kleiner, so sind keine besonderen Maßnahmen zum Blendschutz notwendig.

Grenzausstrahlungswinkel

Ausstrahlungswinkel einer Leuchte, oberhalb dessen eine vorgegebene Leuchtdichte (1000-1500-3000 cd/m²) nicht mehr auftritt.

Güteklasse der Entspiegelung

Einteilung der Bildschirme in Güteklassen in Abhängigkeit von der visuellen Störwirkung durch

- Spiegelung heller Flächen,
- Minderung der Sichtbarkeit der Information auf der Bildschirmoberfläche. In den internationalen und nationalen Normen werden die „Güteklassen der Entspiegelung“ als „Bildschirmklassen“ bezeichnet.

Lampe (Leuchtmittel)

Ist eine künstliche Lichtquelle. Lampen dienen der Umwandlung von elektrischer Energie in sichtbare Strahlung.

Leuchte

Gerät zur Verteilung des Lichts von Lampen einschließlich der zur Befestigung, zum Schutz und zur Energieversorgung der Lampen notwendigen Bestandteile.

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist die für den Helligkeitseindruck einer Fläche maßgebende lichttechnische Größe.

Formelzeichen L

Einheit cd/m² bzw. cd/cm²

Die Leuchtdichte L einer beleuchteten, in alle Richtungen gleichmäßig (diffus) reflektierenden Fläche, wie sie meist in Innenräumen vorkommt, ergibt sich aus der Beleuchtungsstärke E auf dieser Fläche und dem Reflexionsgrad ρ dieser Fläche

nach folgender Gleichung: $L = E \times \frac{\rho}{\pi}$ in cd/m²

Leuchtenbetriebswirkungsgrad

Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad ist ein für Leuchten spezifischer Wert. Er wird aus dem Verhältnis des unter Betriebsbedingungen aus einer Leuchte austretenden Lichtstroms (Φ_{Le}) zum Lichtstrom (Φ_{La}) des verwendeten Leuchtmittels ermittelt. Der Leuchtenbetriebswirkungsgrad η_{LB} ist in den technischen Datenblätter der Leuchtenhersteller aufgeführt.

Lichtausbeute

Die Lichtausbeute ist der Quotient aus dem von einer Lampe abgegebenen Lichtstrom Φ in Lumen und der von der Lampe aufgenommenen Leistung P in Watt ohne Berücksichtigung eines eventuell notwendigen Betriebsgeräts (z. B. Treiber).

Lichtfarbe

Farbeindruck einer Lichtquelle (z. B. Lampe, Tageslicht). Die Lichtfarbe von Tageslicht und Lampen wird durch die ähnlichste Farbtemperatur in Kelvin (K) gekennzeichnet.

Lichtmanagement

Steuerung bzw. Regelung der künstlichen Beleuchtung, ggf. in Verbindung mit der Steuerung/Regelung von Sonnenschutzvorrichtungen, zur Anpassung der Beleuchtung an unterschiedliche Tageslichtverhältnisse sowie unterschiedliche Arbeitssituationen und Tätigkeiten.

Lichtpunkthöhe

Abstand zwischen der Nutzebene und der lichtabstrahlenden Fläche einer Leuchte (Lichtaustrittsfläche).

Lichtstärke

Die Lichtstärke ist der Quotient aus dem durch einen Raumwinkel ausgestrahlten Lichtstrom Φ und der Größe dieses Raumwinkels. Die Lichtstärke wird zur Kennzeichnung der räumlichen Lichtstromverteilung von Lampen bzw. Leuchten verwendet.

Lichtstärkeverteilungskurve (LVK)

Die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) gibt die Lichtstärken – in einer durch die Lichtquelle gelegten Ebene – in Abhängigkeit vom Ausstrahlungswinkel γ an. Die LVK für Reflektorlampen wird im Allgemeinen in cd, die LVK für Leuchten in cd/klm (1 klm = 1000 lm) angegeben. Bei Leuchten für die Innenraumbelichtung wird die LVK in Polarkoordinaten dargestellt. Bei rotationssymmetrischen Lichtverteilungen wird nur eine LVK, bei anderen Lichtverteilungen werden zwei LVK, meist in den Ebenen quer und parallel zur Lampenlängsachse, angegeben.

Lichtstrom

Der Lichtstrom ist die von einer Strahlungsquelle, z. B. von einer Lampe, ausgestrahlte – vom Auge entsprechend der Hellempfindlichkeit $V(\lambda)$ bewertete – Strahlungsleistung.

Formelzeichen Φ

Einheit Lumen (lm)

Die Lichtströme von Lampen sind in den Dokumentationsunterlagen der Lampenhersteller angegeben.

Lichtstromverteilung

Die Lichtstromverteilung einer Leuchte wird durch die Anteile des Lichtstroms gekennzeichnet, z. B.: 70/30:

- 70 % des Lichtstroms der Leuchte werden Richtung Nutzebene abgegeben,
- 30 % des Lichtstroms der Leuchte werden Richtung Decke abgegeben.

Nutzebene

Siehe Bezugsebene für den Wartungswert

Reflexionsgrad

Quotient des von einer Fläche reflektierten Lichtstroms zu dem auf die Fläche auftreffenden Lichtstrom. Der Reflexionsgrad kann näherungsweise mit Reflexionsgradtafeln ermittelt werden.

Reflektometerwert

Messwert für die Glanzeigenschaften einer Oberfläche, der mit einem Reflektometer unter vereinbarten Messbedingungen bestimmt wird.

Sicherheitsregeln

Technische Ausführungsregeln zu Rechtsverordnungen (z. B. Regeln der DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung).

Systemlichtausbeute

Die Systemlichtausbeute ist bei klassischen Leuchten (nicht LED-Leuchten) der Quotient aus dem von einer Lampe abgegebenen Lichtstrom Φ in Lumen und der von der Lampe aufgenommenen Leistung P in Watt unter Berücksichtigung eines eventuell notwendigen Vorschaltgeräts. Die Systemlichtausbeute bestimmt neben dem Leuchtenbetriebswirkungsgrad wesentlich die Wirtschaftlichkeit von Leuchten.

Unfallverhütungsvorschriften (UVV)

Sicherheitsverordnung der Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (DGUV, Unfallkassen) mit Rechtsverbindlichkeit. Die UVV werden vom gemeinsamen Spitzenverband „Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung“ (DGUV) in Berlin herausgegeben und für den öffentlichen Bereich von den Unfallkassen der Länder eingeführt.

Umgebungsbereich

Räumlicher Bereich, der sich direkt an einen oder mehrere Arbeitsbereiche anschließt und bis an die Raumwände reicht.

UGR-Verfahren (Unified Glare Rating)

Vereinheitlichtes Blendungsbewertungsverfahren. Verfahren zur Bewertung der Begrenzung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. Literatur LiTG-Publikation Nr. 20: Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen.

Wartungswert der Beleuchtungsstärke

Wert, unter den die mittlere Beleuchtungsstärke auf einer bestimmten Fläche nicht sinken darf. Zum Zeitpunkt der Unterschreitung ist eine Wartung durchzuführen.

Zulässige Leuchtdichte

Maximale Leuchtdichte einer Leuchte, die sich im Bildschirm spiegelt, ohne störende Reflexe zu verursachen.

14 Quellen

- [1] Richtlinie 90/270/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Fünfte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG); Amtsblatt Nr. L 156 vom 21/06/1990 S. 0014 – 0018
- [2] Richtlinie 92/58/EWG des Rates über Mindestvorschriften für die Sicherheits- und/oder Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz (Neunte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) vom 24. Juni 1992 (ABl. EU Nr. L 245 S. 23), zuletzt geändert durch Richtlinie 2014/27/EG vom 26. Februar 2014 (ABl. Nr. L 65, S. 1), in Kraft getreten am 25. März 2014
- [3] Richtlinie 2002/91/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 1 vom 4.1.2003 S. 65 – 71
- [4] Richtlinie 2006/95/EG (Niederspannungsrichtlinie) des europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 374 vom 27.12.2006 S. 10-19 (ersetzt durch [5])
- [5] Richtlinie 2014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie) des europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt; Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 96 vom 29.03.2014 S. 357 – 373

Hinweis:

Die neue 2014/35/EU ist zwingend ab 20. April 2016 anzuwenden, es empfiehlt sich aber, ab sofort in allen neuen Verfahren diese neue Richtlinie zu berücksichtigen. Die 2014/35/EU ist Nachfolger der 2006/95/EG.

- [6] Richtlinie 2009/125/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung); Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 285 vom 31.10.2009 S. 10 – 35
- [7] Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Energiebetriebene-Produkte-Gesetz - EBPG) vom 27. Februar 2008 (BGBl. I S. 258). Geändert durch Gesetz zur Änderung des Energiebetriebene-Produkte-Gesetzes vom 16. November 2011. Es hat damit den neuen Titel „Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz – EVPG)“.
- [8] Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz - EVPG) vom 16. November 2011 (BGBl. I S. 2224).
- [9] 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; Amtsblatt der Europäischen Union L 76 vom 24.3.2009 S. 3 16. Geändert durch Verordnung (EG) Nr. 859/2009 vom 18. September 2009. Berichtigung durch ABl. L 288 vom 4. November 2009, S. 40 (244/2009)

- [10] Verordnung (EG) Nr. 245/2009 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 Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates; Amtsblatt der Europäischen Union L 76 vom 24.3.2009 S. 17 – 44
- [11] Verordnung (EG) Nr. 859/2009 der Kommission vom 18. September 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 244/2009 [9] hinsichtlich der Anforderungen an die Ultraviolettstrahlung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht; Amtsblatt der Europäischen Union L 247 vom 19.9.2009 S. 3 – 5
- [12] Verordnung (EU) Nr. 347/2010 der Kommission vom 21. April 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 245/2009 [10] der Kommission in Bezug auf die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb; Amtsblatt der Europäischen Union L 104 vom 24.4.2010 S. 20 – 28
- [13] Verordnung (EU) Nr. 1194/2012 der Kommission vom 12. Dezember 2012 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG [6] 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; Amtsblatt der Europäischen Union L 342/1 – L 342/22 vom 14. Dezember 2012
- [14] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 874/2012 der Kommission vom 12. Juli 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU [15] des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten; Amtsblatt der Europäischen Union L 258/1 – L 258/20 vom 26. September 2012
- [15] Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen; Amtsblatt der Europäischen Union L 153/1 – L 153/12 vom 18. Juni 2010
- [16] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG) vom 07. August 1996 (BGBl. I S. 1246) zuletzt geändert am 19. Oktober 2013 (BGBl. I S.3836)
- [17] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltfreundliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz-ElektroG) vom 16. März 2005 (BGBl. I S. 762) zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 20. September 2013 (BGBl. I S. 3642)
- [18] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179) zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960)
- [19] Verordnung zur Umsetzung von EG-Einzelrichtlinien zur EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz vom 4. Dezember 1996 (BGBl. I S. 1841) Artikel 3 - Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirm-

marbeitsverordnung - BildscharbV) zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 18. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2768)

- [20] Erste Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über das Inverkehrbringen elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen - 1. GPSGV) vom 11. Juni 1979 (BGBl. I S. 629), zuletzt geändert durch Artikel 15 der Verordnung vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178)
- [21] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. November 2013 (BGBl. L 3951)
- [22] Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung – LV 40 – vom 12.08.2004 in der Fassung vom März 2009, Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI)
- [23] ASR A1.3 Ausgabe Februar 2013 (GMBI 2013, S. 334) Technische Regeln für Arbeitsstätten; Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung
- [24] ASR A2.3 Ausgabe August 2007 zuletzt geändert GMBI 2014, S. 286 Technische Regeln für Arbeitsstätten; Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan
- [25] ASR A3.4 Ausgabe April 2011 zuletzt geändert GMBI 2014 Nr. 13 vom 10. April 2014, S. 287 Technische Regeln für Arbeitsstätten; Beleuchtung
- [26] ASR A3.4/3 Ausgabe Juni 2009 zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287 Technische Regeln für Arbeitsstätten; Sicherheitsbeleuchtung, optische Sicherheitssysteme
- [27] BGR 131-2 Natürliche und künstliche Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Leitfaden zur Planung und zum Betrieb der Beleuchtung, Ausgabe Januar 2010, Verwaltungsberufsgenossenschaft Hamburg Zurückgezogen, nur zur Information. (Die wesentlichen Inhalte sind in die neue Regel für Arbeitsstätten ASR A 3.4 übernommen worden).
- [28] DGUV Information 215-442 (bisher BGI 856) Beleuchtung im Büro - Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen, Ausgabe 2009, Schriftenreihe Prävention, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung Berlin
- [29] DGUV Information 215-410 (bisher BGI 650) Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung, Version 2.0 / 2012-08 ersetzt Ausgabe 2007, VBG-Fachinformation, Verwaltungsberufsgenossenschaft Hamburg
- [30] DGUV Information 215-444 (bisher BGI 827 (SP 2.5)) Sonnenschutz im Büro – Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen, Ausgabe Februar 2005, Schriftenreihe Prävention, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung Berlin
- [31] DGUV-Vorschrift 3 Elektrische Anlagen und Betriebsmittel, Unfallverhütungsvorschrift vom Dezember 1978 in der Fassung vom Januar 1997 mit Durchführungsanweisung vom Oktober 1999 in der Fassung vom Januar 2005, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung Berlin
- [32] DIN 31051:2012-09 Grundlagen der Instandhaltung
- [33] DIN EN 1838, Ausgabe:2013-10
Angewandte Lichttechnik - Notbeleuchtung; Deutsche Fassung EN 1838: 2013

- [34] DIN EN 12193, Ausgabe: 2008-04
Licht und Beleuchtung - Sportstättenbeleuchtung; Deutsche Fassung EN 12193: 2007
- [35] DIN EN 12464-1, Ausgabe: 2011-08

Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1: 2011
- [36] DIN EN 12464-2, Ausgabe: 2014-05
Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien; Deutsche Fassung EN 12464-2: 2014
- [37] DIN EN 12665, Ausgabe: 2011-09
Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2011
- [38] DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1), Ausgabe: 2014-02
Betrieb von elektrischen Anlagen; Deutsche Fassung EN 50110-1: 2013
- [39] DIN EN 50172 (VDE 0108 Teil 100), Ausgabe:2005-01
Sicherheitsbeleuchtungsanlagen; Deutsche Fassung EN 50172: 2004
- [40] DIN EN 50272-2 (VDE 0510-2), Ausgabe: 2001-12
Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen; Deutsche Fassung EN 50272-2:2001
- [41] DIN EN 60598-1 (VDE 0711-1), Ausgabe: 2009-09
Leuchten - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen (IEC 60598-1:2008
- [42] DIN EN 60598-2-22 (VDE 0711-2-22), Ausgabe: 2015-06
Leuchten - Teil 2-22: Besondere Anforderungen – Leuchten für Notbeleuchtung; Deutsche Fassung EN 60598-2-22: 2014
- [43] DIN EN 62034 (VDE 0711-400), Ausgabe: 2013-02
Automatische Prüfsysteme für batteriebetriebene Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege, Deutsche Fassung EN 62034: 2012
- [44] DIN 5035-3, Ausgabe: 2006-07
Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen
- [45] DIN 5035-6, Ausgabe: 2006-11
Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 6: Messung und Bewertung
- [46] DIN 5035-7, Ausgabe: 2004-08
Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 7: Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen
- [47] DIN 5035-8, Ausgabe: 2007-07
Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 8: Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen
- [48] DIN 5040-1, Ausgabe 1976-02
Leuchten für Beleuchtungszwecke; Lichttechnische Merkmale und Einteilung
- [49] DIN 6280-13, Ausgabe: 1994-12,
Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren - Teil 13: Für Sicherheitsstromversorgung in Krankenhäusern und in baulichen Anlagen für Menschenansammlungen

- [50] DIN 18032-3, Ausgabe: 1997-04
Sporthallen - Hallen für Turnen und Spielen und Mehrzwecknutzung - Teil 3: Prüfung der Ballwurfsicherheit

- [51] DIN V 18599 Teile 1 bis 11, Ausgabe: 2011-12
Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- [52] DIN V 18599 Teil 4, Ausgabe: 2011-12
Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung
- [53] DIN VDE 0100-559; VDE 0100-559, Ausgabe: 2014-02
Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-559: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Andere elektrische Betriebsmittel - Leuchten und Beleuchtungsanlagen
- [54] DIN VDE 0100-718, Ausgabe: 2014-06
Errichten von Niederspannungsanlagen
Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Öffentliche Einrichtungen und Arbeitsstätten (IEC 60364-7-718:2011); Deutsche Übernahme HD 60364-7-718: 2013
- [55] DIN VDE 0710-13, Ausgabe: 1981-05
Leuchten mit Betriebsspannungen unter 1000 V; Ballwurfsichere Leuchten
- [56] VDI 3814Blatt 1 - 3 und 5 - 6
Gebäudeautomation (GA)
- [57] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise für Planung Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden (Gebäudeautomation 2005) und 1. Ergänzung 2013: GA-Planung und GA-Leistungsbild,
- [58] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV): Hinweise zur Ausführung von Ersatzstromversorgungsanlagen in öffentlichen Gebäuden (Ersatzstrom 2006)
- [59] Weiße Hochleistungs-LEDs - Licht 6/2012 Seite 64ff
- [60] ETAP Lighting, Dossier LED, Ausgabe 3, Oktober 2012
Beleuchtung mit einer neuen Lichtquelle
- [61] LED Guide 2016, Trilux, Arnsberg
- [62] DIN 5033-1, Ausgabe: 2009-05
Farbmessung – Teil 1: Grundbegriffe der Farbmeterik
- [63] ZVEI: Ausgabe 2014, Informationen zum Dimmen von LED-Lichtquellen
- [64] ZVEI: Planungssicherheit in der LED-Beleuchtung, November 2015
- [65] DIN EN 55015 VDE 0875-15-1 Ausgabe: 2014-03
Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von elektrischen Beleuchtungseinrichtungen und ähnlichen Elektrogeräten
- [66] DIN EN 50174-2:2015-02 (VDE 0800-174-2) Ausgabe 2015-02
Informationstechnik - Installation von Kommunikationsverkabelung - Teil 2: Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden
- [67] DIN EN ISO 11197, Ausgabe: 2009-09
Medizinische Versorgungseinheit (MVE)

- [68] DIN 4844-1, Ausgabe: 2012-06
Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 1: Erkennungsweiten und farb- und photometrische Anforderungen
- [69] DIN 4844-2, Ausgabe: 2012-06
Graphische Symbole - Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen - Teil 2: Registrierte Sicherheitszeichen
- [70] VDE / ZVEI Leitfaden LED-Lampen Alternative zu Leuchtstofflampen von Mai 2015

15 Anhang

15.1 Tabelle über Beleuchtungsanforderungen für Räume (Bereiche), Aufgaben und Tätigkeiten

Auszug aus DIN EN 12464-1: 2011-08

Ref. Nr.	Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Bemerkung
5.1	Verkehrszonen innerhalb von Gebäuden					
5.1.1	Verkehrsflächen und Flure	100	28	0,40	40	Beleuchtungsstärke auf dem Boden
5.1.1	Verkehrsflächen u. Flure, wenn Fahrzeuge die Verkehrsfläche benutzen	150	28	0,40	40	
5.1.2	Treppen, Rolltreppen, Fahrbänder	100	25	0,40	40	
5.2	Pausen-, Sanitär- und Erste-Hilfe-Räume					
5.2.1	Kantinen, Teeküchen	200	22	0,40	80	
5.2.2	Pausenräume	100	22	0,40	80	
5.2.4	Garderoben, Waschräume, Bäder, Toiletten	200	25	0,40	80	
5.2.5	Sanitätsräume	500	19	0,60	80	
5.3	Kontrollräume					
5.3.1	Räume für haustechnische Anlagen, Schaltgeräte Räume	200	25	0,40	60	
5.3.2	Telex- Posträume, Telefonvermittlungsplätze	500	19	0,60	80	
5.4	Lager- und Kühlräume					
5.4.1	Vorrats- und Lagerräume	100	25	0,40	60	200lx wenn dauernd besetzt.
5.4.2	Versand- und Verpackungsbereiche	300	25	0,60	60	
5.26	Büros					
5.26.1	Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen usw.	300	19	0,40	80	
5.26.2	Schreiben, Schreibmaschineschreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	19	0,60	80	Bildschirmarbeit; siehe Punkt 4.9 der EN 12464-1
5.26.3	Technisches Zeichnen	750	16	0,70	80	
5.26.4	CAD-Arbeitsplätze	500	19	0,60	80	Bildschirmarbeit; siehe Punkt 4.9 der EN 12464-1
5.26.5	Konferenz- und Besprechungsräume	500	19	0,60	80	Beleuchtung sollte regelbar sein
5.26.6	Empfangstheke	300	22	0,60	80	
5.26.7	Archive	200	25	0,40	80	
5.28	Öffentliche Bereiche Allgemeine Bereiche					
5.28.1	Eingangshallen	100	22	0,40	80	UGR nur wenn anwendbar
5.28.2	Garderoben	200	25	0,40	80	
5.28.3	Warteräume	200	22	0,40	80	
5.28.4	Kassen, Schalter	300	22	0,60	80	

Ref. Nr.	Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Bemerkung
5.29	Öffentliche Bereiche Restaurants und Hotels					
5.29.2	Küchen	500	22	0,60	80	
5.29.3	Restaurants, Speiseräume, Funktionsräume	-	-	-	80	Angemessene Atmosphäre schaffen
5.29.4	Selbstbedienungsrestaurants	200	22	0,40	80	
5.29.5	Buffet	300	22	0,60	80	
5.35	Ausbildungseinrichtungen Kindergärten, Spielschulen (Vorschulen)					
5.35.1	Spielzimmer, Krippenräume, Bastelräume	300	22	0,40	80	Hohe Leuchtdichten in Blickrichtungen von unten sollten durch den Einsatz diffuser Abdeckungen vermieden werden.
5.35.2	Krippenräume	300	22	0,40	80	Hohe Leuchtdichten in Blickrichtungen von unten sollten durch den Einsatz diffuser Abdeckungen vermieden werden.
5.35.3	Bastelräume (Handarbeitsräume)	300	19	0,60	80	
5.36	Ausbildungseinrichtungen Ausbildungsstätten					
5.36.1	Unterrichtsräume in Grund- und weiterführenden Schulen	300	19	0,60	80	Beleuchtung sollte steuerbar sein
5.36.2	Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500	19	0,60	80	Beleuchtung sollte steuerbar sein
5.36.3	Hörsäle	500	19	0,60	-	Beleuchtung sollte steuerbar sein, um unterschiedliche A/V Erfordernisse gerecht zu werden.
5.36.4	Schwarze, grüne Wandtafeln und White-Boards	500	19	0,70	80	1. Spiegelnde Reflexionen müssen vermieden werden. 2. Vortragende/Lehrer müssen mit einer angemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke beleuchtet werden.
5.36.5	Demonstrationstisch	500	19	0,70	80	In Hörsälen 750 lx
5.36.6	Zeichensäle	500	19	0,60	80	
5.36.7	Zeichensäle in Kunstschulen	750	19	0,70	90	5000 K < T_{cp} > 6500 K
5.36.9	Übungsräume und Laboratorien	500	19	0,60	80	
5.36.11	Lehrwerkstätten	500	19	0,60	80	
5.36.13	Computerübungsräume (menügesteuert)	300	19	0,60	80	Bildschirmarbeit; siehe Punkt 4.9 der EN 12464-1
5.36.15	Vorbereitungsräume, Werkstätten	500	22	0,60	80	
5.36.16	Eingangshallen	200	22	0,40	80	
5.36.17	Verkehrsflächen, Flure	100	25	0,40	80	
5.36.18	Treppen	150	25	0,40	80	

Ref. Nr.	Art des Raumes, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	UGR_L -	U_o -	R_a -	Bemerkung
5.36.19	Gemeinschaftsräume für Schüler/ Studenten und Versammlungsräume	200	25	0,40	80	
5.36.20	Lehrerzimmer	300	19	0,60	80	
5.36.21	Bibliothek: Bücherregale	200	19	0,60	80	
5.36.22	Bibliothek: Lesebereich	500	19	0,60	80	
5.36.23	Lehrmittelsammlung	100	25	0,40	80	
5.36.24	Sporthallen, Gymnastikräume, Schwimmbäder	300	22	0,60	80	Für Trainingsbedingungen siehe EN 12193.
5.36.25	Schulkantinen	200	22	0,40	80	
5.36.26	Küchen	500	22	0,60	80	
5.37	Gesundheitseinrichtungen Mehrzweckräume					
5.37.1	Warteräume	200	22	0,40	80	
5.37.2	Flure: während des Tages	100	22	0,40	80	Beleuchtungsstärke auf dem Boden
5.37.4	Flure: während der Nacht	50	22	0,40	80	Beleuchtungsstärke auf dem Boden
5.39	Gesundheitseinrichtungen Bettzimmer, Wöchnerinnenzimmer					
5.39.1	Allgemeinbeleuchtung	100	19	0,40	80	Beleuchtungsstärke auf dem Boden
5.39.2	Lesebeleuchtung	300	19	0,70	80	
5.39.3	Einfache Untersuchungen	300	19	0,60	80	
5.39.4	Untersuchung und Behandlung	1000	19	0,70	80	
5.39.5	Nachtbeleuchtung, Übersichts- beleuchtung	5	-	-	80	
5.40	Gesundheitseinrichtungen Untersuchungsräume (allgemein)					
5.40.1	Allgemeinbeleuchtung	500	19	0,60	80	$4000\text{ K} \leq T_{cp} \leq 5000\text{ K}$
5.40.2	Untersuchung und Behandlung	1000	19	0,70	90	
5.46	Gesundheitseinrichtungen Operationsbereich					
5.46.2	Operationsräume	1000	19	0,60	90	

15.2 Berechnungsverfahren

15.2.1 Wirkungsgradverfahren

Das Wirkungsgradverfahren ist ein verhältnismäßig einfaches Berechnungsverfahren. Es wird angewendet um bei der Planung von Beleuchtungsanlagen Anhaltspunkte zu erlangen wie viele Leuchten voraussichtlich eingesetzt werden müssen. Das Verfahren dient in erster Linie der Orientierung und der Kostenveranschlagung.

Zur Berechnung des Lichtstrombedarfs bzw. der Anzahl der Leuchten wird wie folgt vorgegangen:

Nach Vorgabe eines Wertes der Beleuchtungsstärke \bar{E}_m in Lux (lx) kann die Anzahl der erforderlichen Leuchten mit folgender Gleichung ermittelt werden:

$$n = \frac{E_N \times A}{WF \times \eta_B \times \eta_L \times \Phi_{Lp}}$$

n	=	Anzahl der Leuchten
WF	=	Wartungsfaktor (z. B. 0,8 bei sehr sauberen Büros)
\bar{E}_n	=	Wartungswert der Beleuchtungsstärke in Lux (lx)
A	=	Grundfläche des Raumes in m ²
η_B	=	Beleuchtungswirkungsgrad (s. Anhang 15.3)
η_L	=	Leuchtenwirkungsgrad
Φ_{Lp}	=	Nennlichtstrom der Leuchte in Lumen (lm)

Der Wartungsfaktor berücksichtigt den im Laufe der Zeit eintretenden Beleuchtungsstärkerückgang infolge von Alterung der LED, sowie der Verschmutzung der Lampen, Leuchten und Raumbooberflächen. Ihm liegt eine bedarfsgerechte Reinigung der Beleuchtungsanlage zugrunde (siehe Abschnitt 12.1). In Sonderfällen, z. B. bei Räumen mit hohem Staubanfall ist im Allgemeinen kein kleinerer Wartungsfaktor zu verwenden, sondern die Reinigungsperiode entsprechend zu verkürzen.

Der Beleuchtungswirkungsgrad η_B beinhaltet den Raumwirkungsgrad und den Leuchtenbetriebswirkungsgrad der bei LED-Leuchten jedoch immer 1 ist. Für charakteristische Leuchtenarten kann der Beleuchtungswirkungsgrad aus der Tabelle im Anhang 15.3 entnommen werden. Weiterhin muss der Raumindex „k“ errechnet werden.

Der Raumindex dient zur Kennzeichnung der Raumabmessungsverhältnisse und wird wie folgt berechnet:

$$k = \frac{a \times b}{h \times (a + b)}$$

k	=	Raumindex
a	=	Raubbreite (Fenster- oder Außenwand) in m
b	=	Raumtiefe in m
h	=	Höhe der Leuchten über der Nutzebene; Lichtpunkthöhe in m

Als Nutzebene gilt die tatsächliche Arbeitshöhe, in der Regel eine horizontale Arbeitsfläche in 0,75 m Höhe. Bei Verkehrsflächen und Sportstätten wird als Nutzebene der Fußboden angenommen.

Berechnungsbeispiel:

Raubbreite: $a = 3,60 \text{ m}$

Raubtiefe: $b = 4,80 \text{ m}$

Raubhöhe: $H = 2,75 \text{ m}$

Raubgrundfläche: $A = 17,30 \text{ m}^2$

Wartungswert der Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 300 \text{ Lux}$

Gewählte Leuchten (Deckenanbau, breitstrahlend):

LED-Leuchte mit 4.000 lm

LED-Leuchte mit 3.500 lm

Lichtpunkthöhe: $h = 2,70 \text{ m} - 0,75 \text{ m} = 1,95 \text{ m}$

$$\text{Raumindex } k = \frac{3,6\text{m} \times 4,8\text{m}}{1,95\text{m} \times (3,6\text{m} + 4,8\text{m})} = 1,05$$

Beleuchtungswirkungsgrad $\eta_B = 66 \%$ (lt. Anhang 15.3)

Leuchtenwirkungsgrad $\eta_L = 1$

Zunächst wird der erforderliche Lichtstrom berechnet.

$$\text{Erforderlicher Gesamtlichtstrom } \Phi = \frac{300 \times 17,28}{0,8 \times 0,66 \times 1} = 9.818 \text{ lm}$$

Aus dem ermittelten erforderlichen Gesamtlichtstrom wird hier exemplarisch die notwendige Lampenanzahl ermittelt.

Erforderliche Leuchtenanzahl: $n = 2,8$ (bei 3.500 lm je Leuchte)

$n = 2,4$ (bei 4.000 lm je Leuchte)

Gewählte Leuchtenanzahl $n = 3$ (bei 3.500 lm je Leuchte)

15.2.2 Punkt zu Punkt Methode

Für die Ausführungsplanung sollte die Beleuchtungsberechnung nach der „Punkt zu Punkt Methode“ erfolgen. Hierbei wird für festzulegende Rasterpunkte auf der x-, y- und z-Achse die dort zu erwartende Beleuchtungsstärke ermittelt. Die Mindestanzahl der Rasterpunkte für die x- und y-Achse ist in DIN 12464-1 festgelegt und darf nicht unterschritten werden (siehe Abschnitt 11). Es ist anzustreben, dass der Abstand der Berechnungspunkte in x- und y-Richtung möglichst gleich ist.

Bei der Berechnung werden folgende Parameter berücksichtigt:

- die Raumgeometrie
- die Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen
- die Leuchtenanordnung
- die Lichtverteilungskurven der Leuchten

Derartige Berechnungen sind wesentlich genauer als die der Wirkungsgradmethode. Neben der zu erwartenden mittleren Beleuchtungsstärke können auch die Extremwerte (max. und min. Beleuchtungsstärke) sowie die Gleichmäßigkeit (U_0) ermittelt werden. Verschiedene Berechnungsprogramme lassen darüber hinaus die Berechnung der Direkt- und Indirektblendung im Raum sowie der zylindrischen Beleuchtungsstärke (E_z) zu. Neben einer numerischen Ergebnisausgabe sind verschiedene graphische Darstellungen wie z. B. Graustufendarstellung oder Beleuchtungsgebirge Standard.

15.3 Tabelle Beleuchtungswirkungsgrade (η_B) in %

In der bisherigen Tabelle der Beleuchtungswirkungsgrade wurden auch die Leuchtenwirkungsgrade (η_L) der einzelnen Leuchtentypen berücksichtigt. Bei LED-Leuchten wird η_L in der Regel mit 100% angenommen. Werden seitens der Leuchtenhersteller abweichende Leuchtenwirkungsgrade angegeben, sind diese zu berücksichtigen. Es wurden für die wesentlichen Leuchtentypen neue Beleuchtungswirkungsgrade berechnet. Dabei ist immer ein 3,25 m hoher, quadratischer Raum angenommen worden, mit einer einzelnen Leuchte in der Raummitte und einer Lichtpunkthöhe von 2,50 m. Die Kantenlänge wurde anhand des jeweiligen k-Faktors berechnet. Die Anzahl der Berechnungspunkte wurde entsprechend DIN EN 12464-1 Pkt. 4.4 (siehe Abschnitt 11) oder größer gewählt.

- Es wurden, wie bei den Musterräumen (siehe Abschnitt 7), „helle“ Räume mit Reflexionsgraden von: $\rho_{\text{Decke}} = 0,8$; $\rho_{\text{Wand}} = 0,5$ (im Mittel) und $\rho_{\text{Boden}} = 0,3$ angenommen.

k-Faktor	Deckenanbau- leuchte, engstrahlend	Deckenanbau- leuchte, breitstrahlend	Einbaustrahler	Pendelleuchte Direktanteil 70 %
0,50	35	41	51	32
0.80	48	55	63	43
1,00	57	65	72	52
1,25	65	74	78	61
1,50	72	81	83	69
2,00	81	88	88	76
2,50	87	92	92	81
3,00	91	95	95	85
4,00	95	97	99	87
5,00	98	99	100	88

Mitarbeiter

Ralf Speier Obmann	Eigenbetrieb Immobilienmanagement Darmstadt Darmstadt
Reiner Dehne	Behörde für Umwelt und Energie Freie und Hansestadt Hamburg
Gabriel Handke	Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung, Niederlassung Mainz Mainz
Jürgen Kroll	Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen Düsseldorf
Dieter Lilienbeck	Landeswohlfahrtsverband Hessen, Baumanagement Kassel
Timo Lütke-Verspohl	Oberfinanzdirektion Nordrhein-Westfalen Münster
Wilfried Müller	Oberfinanzdirektion Niedersachsen Hannover
Pay Scharfenberg	Finanzministerium Schleswig-Holstein, Amt für Bundesbau Kiel