



# Optische Strahlung

Sicherheitsbeurteilung von LEDs  
- sichtbare Strahlung



# Inhalt

<b>1 Zweck des Merkblatts</b>	<b>2</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>3 Lichttechnische Größen</b>	<b>7</b>
<b>4 Spektrale Verteilung von LEDs</b>	<b>12</b>
<b>5 Vereinfachte Bewertung</b>	<b>15</b>
<b>6 Beispiele</b>	<b>25</b>
<b>7 Anhang</b>	<b>30</b>

# 1 Zweck des Merkblatts

## Evaluieren von LEDs mit dem Merkblatt

Optische Strahlung kann für das Auge und die Haut schädlich sein. Dazu sind in der Verordnung Optische Strahlung (VOPST) eigene Grenzwerte für die Bestrahlung der Augen und der Haut vorgegeben.

***Im Rahmen der Evaluierung von Arbeitsplätzen muss daher auch jede optische Strahlung, die auf den Arbeitnehmer einwirken kann, bewertet werden.***

Wenn ein Hersteller bereits die Risikogruppe (s. Kapitel 5.1) einer LED oder eines LED-Produktes angibt, muss der Arbeitgeber ermitteln, ob die Grenzwerte eingehalten werden. Dabei sind vor allem die Anwendung und die Bestrahlungsdauer zu berücksichtigen.

Wenn keinerlei Information hinsichtlich Risikogruppe bzw. Klassifizierung der LED zur Verfügung steht, kann das vorliegende Merkblatt angewandt werden.

Bei Grenzfällen ist eine genaue Bewertung bzw. Messung in jedem Fall notwendig. Eine exakte sicherheitstechnische Beurteilung der Strahlung ist jedoch sehr aufwendig, da mehrere Messverfahren und Grenzwerte anzuwenden sind.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Merkblattes (2010) kann folgendes festgestellt werden:

- Das Licht der verfügbaren LEDs kann bei Kurzzeit-Exposition (kurzer Blick in die LED, keine gepulste Strahlung) die Grenzwerte nicht überschreiten.
- Bei Langzeit-Exposition (absichtlicher Blick in die Quelle) können blaue und weiße Hochleistungs-LEDs – v.a. LED-Arrays - die entsprechenden Grenzwerte überschreiten. Diese LEDs sind jedoch sehr hell und ein Blick in die LEDs wird normalerweise aufgrund von natürlichen Abwendreaktionen (z.B. Lidschlussreflex) zeitlich beschränkt bleiben.

- Eine Sicherheitsbeurteilung im Sinne der Verordnung für Optische Strahlung ist daher nur für blaue und weiße Einzel-LEDs bzw. LED-Arrays notwendig, wenn diese relativ hell sind und damit zu rechnen ist, dass man für eine längere Dauer aus kurzer Entfernung in die LED blickt.

Das vorliegende Merkblatt soll für LED-Quellen, wo dies notwendig erscheint, eine einfache Sicherheitsbeurteilung ermöglichen. Diese Bewertung klärt auf Basis von Herstellerinformationen die Frage, ob eine LED (bzw. LED-Array) sicher ist, d.h. ob die Grenzwerte für die Bestrahlung des Auges - je nach Bestrahlungsdauer - eingehalten werden.

## **Blendung**

An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich die bisher angesprochenen und in weiterer Folge verwendeten Grenzwerte auf eine mögliche Schädigung beziehen.

Andere Effekte, wie z.B. Blendung, haben deutlich geringere Grenzwerte. Für die Arbeitssicherheit ist natürlich auch die Blendung wichtig, sie wird aber im Rahmen dieses Merkblatts nicht behandelt. Blendung kann indirekt, z. B. bei der Lenkung eines Fahrzeuges oder der Bedienung einer Maschine, gefährlich sein.

***Die Blendung oder das Licht von LEDs, die der „Freien Gruppe“ zugeordnet sind, bewirken keine Schädigung!***

## 2 Einleitung

**Unter optischer Strahlung werden die drei Spektralbereiche Ultraviolett-Strahlung (UV), sichtbares Licht (VIS) als auch die Infrarot-Strahlung (IR) zusammengefasst. Leuchtdioden (LEDs) können in Abhängigkeit von ihrer Bauart in allen drei Bereichen strahlen.**

Das vorliegende Merkblatt beschränkt sich auf die vereinfachte Beurteilung von LEDs, die Licht aussenden. Unter dem Begriff Licht wird sichtbare optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm<sup>1)</sup> verstanden. Für die Beurteilung von LEDs, die UV- oder IR-Strahlung abgeben, ist das AUVA-Merkblatt M 084 der Reihe Optische Strahlung verfügbar.

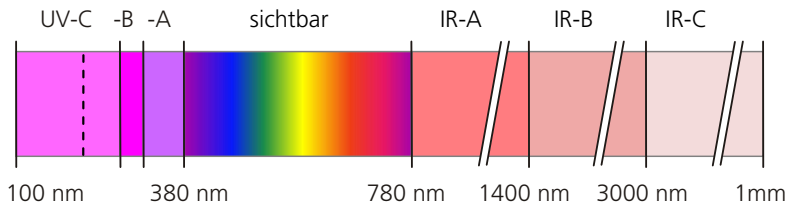


Abb. 1: Spektrum des optischen Bereiches.

Der Begriff LED ist eine Abkürzung der englischen Bezeichnung Light Emitting Diode, übersetzt: Licht abgebende Diode. Solche Leuchtdioden (auch Lumineszenz-Dioden) sind optoelektronische Halbleiter-Bauelemente, die elektrischen Strom in optische Strahlung umwandeln.

Obwohl heutzutage LEDs verfügbar sind, die im UV- oder IR-Bereich Strahlung emittieren, wurde der Name „lichtemittierende Diode“ aus historischen Gründen beibehalten.<sup>2)</sup>

Die Vielzahl der möglichen Wellenlängen und optischer Leistungen führte in den letzten Jahrzehnten zu einer stetigen Erweiterung der LED-Einsatzbereiche. Waren die ersten Anwendungen von LEDs aufgrund der geringen

1) Die Wellenlänge wird in Nanometer (nm) gemessen; 1 nm = 0,000000001 m

2) Der Begriff „Licht“ ist in der Physik auf den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums beschränkt. Allerdings werden manchmal IR LEDs bereits auch IREDS genannt.

optischen Leistung auf Statusanzeigen von Geräten oder auf Punktmatrixanzeigen beschränkt, setzt sich zur Zeit ein Trend zum Einsatz super- oder ultraheller LEDs für die Bereiche Sicherheitsbeleuchtung, Design- und allgemeine Beleuchtungstechnik durch.

Motor dieser Entwicklung ist vor allem der geringe Leistungsbedarf zur Lichterzeugung und die hohe Lebensdauer von LEDs.

## 2.1 Einsatzbereiche von LEDs

Durch die technische Verbesserung der Herstellungsverfahren ist es heutzutage möglich, viele verschiedene Lichtquellen zu fertigen und damit die Vorteile der LED-Technologie zu nutzen.

Einsatzbereiche von VIS-LEDs für Anzeigen und Beleuchtungszwecke sind z.B.:

- Statusanzeige
- Computerm Maus
- Bildschirmhinterleuchtung
- Verkehrsampel
- Autoscheinwerfer
- Raumbelichtung
- OP-Leuchten
- Straßenbeleuchtung

## 2.2 Gefährdungen durch Licht

Die Lichtwirkung hängt unter anderem von den optischen und thermischen Eigenschaften des bestrahlten Gewebes ab. Sie bestimmen, wie viel der eingebrachten Energie absorbiert und in welcher Art diese Energie umgesetzt wird. Licht kann die Augen auf zwei verschiedene Arten schädigen: thermisch oder photochemisch.

### 2.2.1 Thermische Schädigung der Netzhaut

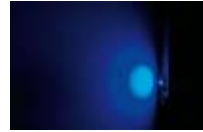
Die thermische Schädigung beruht auf der Überhitzung der Netzhaut durch Absorption der auftreffenden Lichtleistung. Welche Auswirkung die Temperaturerhöhung auf das Gewebe hat, hängt von der erreichten Temperatur ab. Voraussetzung für eine irreversible Schädigung (z.B. Gerinnung von Eiweiß) ist das Überschreiten einer kritischen Temperatur. Die Schädigung erfolgt in der Regel unmittelbar, d.h. die dafür notwendigen Einwirkzeiten sind sehr kurz. Thermische Schädigungen der Netzhaut sind hauptsächlich durch Laser

bekannt, bei LEDs sind derzeit (2010) die Leistungen nicht ausreichend, um thermische Netzhautschäden hervorrufen zu können.

## 2.2.2 Photochemische Schädigung

Die photochemische Schädigung der Netzhaut ist im Gegensatz zur thermischen Schädigung das Resultat einer spezifischen Absorption durch Moleküle von hochenergetischem Licht. Im sichtbaren Bereich ist das der Blauanteil der Strahlung. Die photochemische Gefährdung der Netzhaut wird daher auch Blaulichtgefahr (engl. Blue-Light-Hazard) genannt<sup>3)</sup>.

Blaue LED



Damit diese Gefährdungsart dominant wird, bedarf es gegenüber dem thermischen Wirkmechanismus jedoch einer längeren Einwirkdauer (länger als 10 Sekunden).

Photochemische Schädigungen können zum Beispiel als Folge nach zu langem Starren in die Sonne oder nach Beobachten eines Schweißplasmas mit dem freien Auge eintreten.

In der Norm ÖVE/ÖNORM EN 62471<sup>4)</sup> sind die möglichen Augengefährdungen spektral noch feiner unterteilt. Da sich das vorliegende Merkblatt aber auf die sichtbare Strahlung beschränkt, sind nur die zwei folgenden Gefährdungen relevant<sup>5)</sup>:

**Tabelle 1:** Augengefährdung und Wellenlängenbereich.:

Gefährdung	Wellenlängenbereich
Blaulicht	300 - 700 nm
Netzhaut thermisch	380 – 1400 nm

3) Daher müssen auch weiße LEDs aufgrund ihres hohen Blauanteils hinsichtlich photochemischer Schädigung beurteilt werden.

4) Als Europannorm EN im Jahr 2008, als ÖNORM im Jahr 2009 veröffentlicht.

5) Bei blauen LEDs kann ein Teil der Strahlung im Ultraviolett-Bereich liegen. Bei Einhaltung der Blaulicht-Grenzwerte ist dieser Anteil jedoch auch unter den Grenzwerten für UV-Strahlung.



## 2.3 Richtlinie, Norm, Gesetz

Zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer wurde im April 2006 eine Europäische Richtlinie (Richtlinie 2006/25/EG) verabschiedet, die Mindestvorschriften bezüglich der physikalischen Einwirkungen künstlicher optischer Strahlung zum Inhalt hat.

Diese Richtlinie war bis April 2010 von allen Staaten der EU in nationales Recht umzuwandeln und ist in Österreich unter dem Arbeitnehmerschutzgesetz (ASchG) in Form der Verordnung „Optische Strahlung“ (VOPST) umgesetzt.

In der Richtlinie, wie auch in der Verordnung, sind neben den allgemeinen Bestimmungen und Anforderungen die Grenzwerte angeführt, die nicht überschritten werden dürfen.

Auf welche Weise die zu beurteilende Strahlung gemessen und bewertet werden kann, ist in international gültigen Normen beschrieben. So stellt die „Lampensicherheitsnorm“ ÖVE/ÖNORM EN 62471 (2009)<sup>6)</sup> eine Anleitung zur Verfügung, mit deren Hilfe die photobiologische Sicherheit unter anderem von LEDs untersucht werden kann.

# 3 Lichttechnische Größen

In diesem Kapitel werden lichttechnische Größen, wie sie auch für LEDs verwendet werden, besprochen. Ein genaues Verständnis der lichttechnischen Größen ist jedoch für die Anwendung des vereinfachten Schemas (Kapitel 5) nicht notwendig.

## 3.1 Definition der photometrischen Größen

Die photometrischen Größen dienen zur Beschreibung der „Stärke“ einer Lichtquelle, wobei die Empfindlichkeit des menschlichen Auges mitberücksichtigt wird. Diese Augenempfindlichkeit ist durch die sogenannte  $V(\lambda)$ -Funktion genormt und ist im Anhang näher beschrieben.

<sup>6)</sup> Als Vorläufer zu dieser Norm wurde die CIE S009 verwendet.

## Lichtstärke $I_v$

Die Basisgröße der photometrischen Maße ist die Lichtstärke  $I_v$ . Die zugehörige Einheit ist **Candela (cd)**. Die Lichtstärke gibt an, wie viel „Lichtleistung“ in einen Raumwinkel<sup>7)</sup> abgegeben wird.

*„Eine Candela ist die Lichtstärke in eine gegebene Richtung, die einfarbiges Licht der Wellenlänge 555 nm, mit einer Leistung von 1/683 Watt in diese Richtung pro Steradian (sr) aussendet.“*

Aufgrund dieser Definition ist der Maximalwert des sogenannten „photometrischen Strahlungsäquivalents“  $K_m$ <sup>8)</sup> für das Tagsehen festgelegt mit  $K_m = 683 \text{ lm/W}$ .

### Beispiele:

100 W Glühlampe	1,1 cd
weiße LED (30 mA)	5 cd
Signal-LED (10 mA)	0,001- 0,3 cd

Da die Lichtstärke vom Abstrahlwinkel abhängt, hat ein LED-Chip mit einem 30°-Reflektor eine höhere Lichtstärke als derselbe LED-Chip mit einem 60°-Reflektor (der Lichtstrom  $\Phi_v$  ist in beiden Fällen jedoch gleich groß).

## Lichtstrom $\Phi_v$

Das **Lumen (lm)** ist die Einheit mit der man den Lichtstrom  $\Phi_v$  einer Lichtquelle misst. Das ist die gesamte „Lichtleistung“, die von einer Lichtquelle (in alle Richtungen) ausgesandt wird.

$$\Phi_v = I_v \cdot \Omega \quad (\text{Einheiten: } 1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr})$$

Ein Lumen entspricht daher der Strahlungsleistung von 1,5 mW (1/683 Watt) eines einfarbigen Lichts mit 555 nm.

### Beispiel:

Strahlt eine Lichtquelle mit 1 cd gleichmäßig in jede Richtung des Raumes, also 1 lm pro sr, dann ergibt sich der Lichtstrom durch das Aufsummieren der Lichtstärke über den gesamten Raum zu:  $\Phi_v = 1 [\text{cd}] \cdot 4\pi [\text{sr}] \approx 12,6 \text{ lm}$ .

7) Die Einheit des Raumwinkels  $\Omega$  ist Steradian (sr) (s. Anhang).

8)  $K_m$  ermöglicht die Umwandlung von photometrischen in radiometrische Größen.

## Beleuchtungsstärke $E_v$

Die Beleuchtungsstärke  $E_v$  ist das Verhältnis von auftreffendem Lichtstrom zur bestrahlten Fläche. Wenn 1 lm gleichmäßig auf eine 1 m<sup>2</sup> große Fläche trifft, dann ist die Beleuchtungsstärke 1 Lux (lx).

### Beispiele:

Sonnenschein (mittags)	bis 100.000 lx
Büroarbeitsplatz	500-1.000 lx
klare Vollmondnacht	0,2 lx

## Leuchtdichte $L_v$

Die **Leuchtdichte**  $L_v$  ist das Maß für die „Helligkeit“ einer Lichtquelle, also für die Lichtstärke pro leuchtende Fläche<sup>9)</sup> (Das menschliche Auge empfindet Leuchtdichteunterschiede als Helligkeitsunterschiede). Die Leuchtdichte ist eine von der Entfernung unabhängige Strahlergröße mit der Einheit cd/m<sup>2</sup>. Eine Lichtquelle mit einer vorgegebenen Lichtstärke  $I_v$  (in Einheiten cd) erscheint umso heller, je kleiner ihre Fläche ist<sup>10)</sup>.

### Beispiel:

Sonne	ca. 10 <sup>9</sup> cd/m <sup>2</sup>
weiße LED	ca. 10 <sup>6</sup> cd/m <sup>2</sup>
100 W Glühbirne (matt)	ca. 10 <sup>6</sup> cd/m <sup>2</sup>
Leuchtstofflampe	ca. 10 <sup>4</sup> cd/m <sup>2</sup>

Eine Zusammenfassung der photometrischen Größen ist im Anhang, Tabelle 8 zu finden. Ihr sind in Tabelle 9 die radiometrischen Maße gegenübergestellt. Die radiometrischen Größen charakterisieren Strahlung auf rein physikalischer Basis, d.h. ohne Berücksichtigung der Augenempfindlichkeit.

9) Das von der Fläche ausgehende Licht kann durch Reflexion, Transmission und/oder Emission stammen.

10) Beispiel: eine 100 W Glühbirne mit matter Oberfläche wirkt weniger hell als eine 100 W Glühbirne mit klarer Oberfläche, obwohl der Lichtstrom (bzw. die Lichtleistung) gleich groß ist.

## 3.2 Zusammenhang lichttechnischer Größen

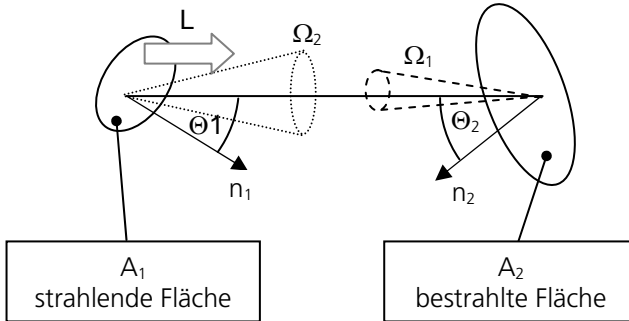


Abb. 2: Radiometrisches Grundgesetz

Das radiometrische Grundgesetz fasst alle Beziehungen zwischen den lichttechnischen Größen  $\Phi$ ,  $I$ ,  $L$  und  $E$  zusammen, sodass sich jede gewünschte Beziehung zwischen den vier Größen aus diesem Grundgesetz ableiten lässt.

Folgende vier Beziehungen sind für die meisten Berechnungen besonders hilfreich:

$$\begin{aligned} \text{a) } & I = L \cdot A_1 \\ \text{c) } & \underbrace{\Phi_{12}} = I \cdot \Omega_2 \end{aligned}$$

aus der Sicht  
des Strahlers

$$\begin{aligned} \text{b) } & \Phi_{12} = E \cdot A_2 \\ \text{d) } & \underbrace{E} = L \cdot \Omega_1 \end{aligned}$$

aus der Sicht  
des Empfängers

Der Raumwinkel  $\Omega_1$  bezieht sich auf die Fläche  $A_1$  gesehen von  $A_2$  aus, und  $\Omega_2$  bedeutet den Raumwinkel von  $A_2$  gesehen von  $A_1$  aus. ( $n_1$  und  $n_2$  sind Vektoren, die senkrecht auf die Flächen  $A_1$  und  $A_2$  stehen).

## 3.3 Umwandlung von photometrischen in radiometrische Größen

Mit Hilfe der  $V(\lambda)$ -Funktion (s. Anhang) und des photometrischen Strahlungsäquivalents  $K_m$  ist es möglich, photometrische in radiometrische

Größen umzuwandeln. Um zum Beispiel den Lichtstrom einer LED mit Sicherheitsgrenzwerten, die in Watt angegeben sind, vergleichen zu können, muss die photometrische Größe (z.B. Lichtstrom) durch die entsprechende radiometrische Größe ersetzt werden (Leistung). Die photometrische Größe Lichtstrom  $\Phi_v$  ist für einfarbige Quellen mit der radiometrischen Größe Strahlungsleistung  $\Phi_e$  über folgende Gleichung verknüpft:

$$\Phi_v = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e$$

wobei  $K_m = 683 \text{ lm/W}$  als Fixwert das maximale photometrische Strahlungsäquivalent oder auch die maximale „Lichtausbeute“ darstellt.

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) = \Phi_v / \Phi_e^{11)}$$

## a) Farbige LEDs

Der Lichtstrom einer farbigen LED ist das Produkt aus seiner theoretisch maximal möglichen Lichtausbeute multipliziert mit dem für die jeweilige Wellenlänge zugehörigen spektralen Hellempfindlichkeitsgrad  $V(\lambda)$  und der Strahlungsleistung  $\Phi_e$ .

### Beispiel für zwei farbige 1 Watt LEDs:

Grüne LED:  $V(555 \text{ nm}) = 1$ , Rote LED:  $V(670 \text{ nm}) = 0,1$

$$\text{Formel: } \Phi_v = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e$$

Grüne LED (555 nm):  $\Phi_v = 683 \text{ lm/W} \cdot 1 \cdot 1 \text{ W} = 683 \text{ lm}$

Rote LED (670 nm):  $\Phi_v = 683 \text{ lm/W} \cdot 0,1 \cdot 1 \text{ W} = 68,3 \text{ lm}$

## b) Weiße LEDs

Weißes Licht kann man sich als Mischung von Licht vieler einfarbiger Lichtquellen vorstellen. Bei weißen LEDs werden daher die Lichtströme der einzelnen Lichtquellen addiert.

$$\Phi_v = K_m \cdot \sum_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \Phi_e(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

11) Somit kann das photometrische Strahlungsäquivalent  $K(\lambda)$  als Verhältnis der physiologischen Größe Lichtstrom zum physikalischen Strahlungsfluss aufgefasst werden.

## 4 Spektrale Verteilung von LEDs

### 4.1 Einfarbige LEDs

#### 4.1.1 Spektrale Verteilung

Anders als Glühlampen sind farbige Leuchtdioden keine Temperaturstrahler. Sie emittieren Licht in einem begrenzten Spektralbereich, das Licht ist nahezu einfarbig.

Der spektrale Verlauf zeigt ein einziges Maximum und fällt zu beiden Seiten des Maximums steil ab. Neben der spektralen Darstellung lassen sich farbige LEDs durch Angabe der Farbkoordinaten (gemäß Normfarbtafel (x, y) nach CIE) oder (meistens) der **Peak-Wellenlänge**  $\lambda_p$  beschreiben. Anstatt der Peak-Wellenlänge wird oft die **dominante Wellenlänge**  $\lambda_{dom}$  angegeben - siehe Abb. 3.

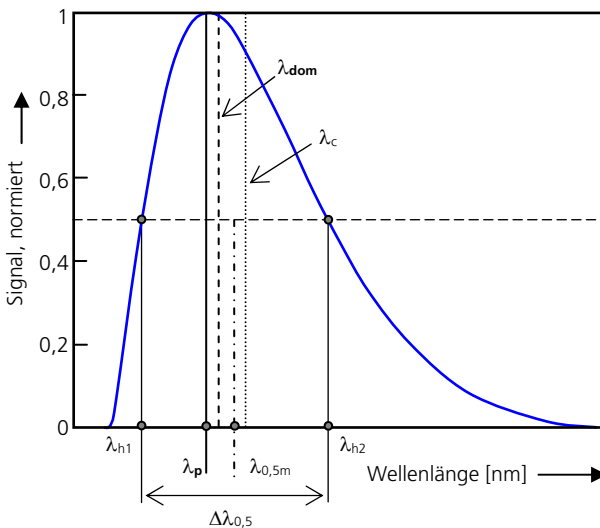









Abb. 3: Darstellung der verschiedenen Wellenlängendefinitionen an Hand einer einfarbigen LED. Eine genauere Erläuterung dazu befindet sich im Anhang.

### 4.1.2 Farbzuordnung und Wellenlängenbereich

Für theoretische Abschätzungen muss der betrachteten LED eine Farbe zugewiesen werden, um in weiterer Folge den entsprechenden Gewichtungsfaktor  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  pro Farbe zu ermitteln.

Sofern die Peak-Wellenlänge bekannt ist, kann der entsprechende  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$ -Wert einfach der Tabelle 2 entnommen werden. Wenn die Wellenlänge nicht angegeben ist, dann muss mit dem freien Auge die Farbe abgeschätzt und einer der sieben verschiedenen LED-Farben gemäß Tabelle 2 zugeordnet werden (Weiß ist die achte „Farbe“).

**Tabelle 2:** LED-Farbzuordnung<sup>12)</sup>.

Farbe	Wellenlänge [nm]	$K(\lambda)_{\text{Farb-LED}} \left[ \frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$
 Tief-Rot	$681 < \lambda \leq 780$	0,01
 Rot	$626 < \lambda \leq 680$	8,6
 Orange	$600 < \lambda \leq 625$	154
 Gelb	$571 < \lambda \leq 600$	315
 Grün <sup>*)</sup>	$501 < \lambda \leq 570$	280
 Blau	$451 < \lambda \leq 500$	27
 Violett	$380 < \lambda \leq 450$	0,8
<input type="checkbox"/> Weiß (s. Kapitel 4.2)	$380 < \lambda \leq 780$	228

<sup>\*)</sup> Manche Hersteller bieten „Cyan“-farbige LEDs an. Diese liegen mit der Peak-Wellenlänge meistens im Bereich, der hier als „Grün“ gekennzeichnet ist.

## 4.2 Weiße LEDs

Um weißes Licht zu erzeugen, kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz.

1) Es werden drei (bzw. zwei) Leuchtdioden mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) zusammengeschaltet. In der Praxis werden dafür folgende Anordnungen verwendet:

- a) drei einzelne LEDs
- b) drei LED-Chips in einem Gehäuse
- c) zwei LEDs mit Komplementärfarben

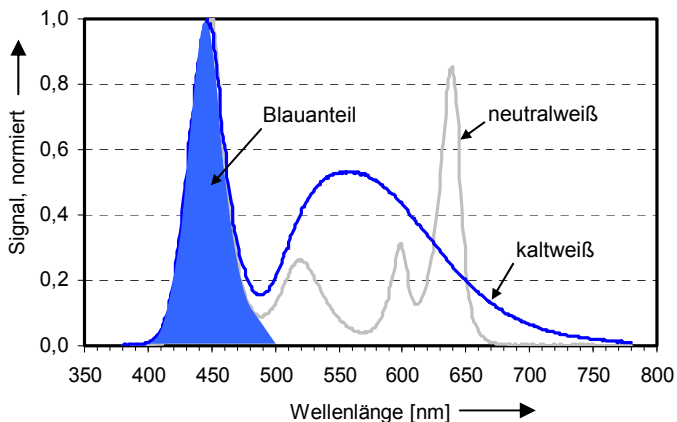
<sup>12)</sup> Wenn man die Farbe nicht eindeutig zuordnen kann, soll man die Farbe mit dem geringeren  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  nehmen.

2) Oder es werden Fluoreszenzfarbstoffe verwendet. Dabei wird - ähnlich wie bei Leuchtstoffröhren - hochenergetisches Licht (UV-Strahlung, blaues Licht) in sichtbares Licht umgewandelt. Auch hierfür gibt es mehrere Methoden:

- UV-LED + Anregung dreier Farbstoffe.
- Blaue LED + Anregung von zwei Farbstoffen.
- Blaue LED + Anregung einer einzigen Substanz.

Da die Verwendung mehrerer Farbstoffe einerseits teuer ist, andererseits diese Methode eine geringe Lichtausbeute liefert, wird meist eine blaue Leuchtdiode in Kombination mit einer darüberliegenden gelblich fluoreszierenden Schicht verwendet. Deshalb erscheinen diese LED zumeist bläulich („kaltweiß“, hohe Farbtemperatur<sup>13)</sup>). Zudem haben blaue LEDs einen mehr als doppelt so hohen Wirkungsgrad als UV-LEDs. Für „neutralweiße“ oder „warmweiße“ LEDs sind hingegen mehrfarbige Ausführungen notwendig.

Abb. 4: Typische Spektren weißer LEDs



Für weiße LEDs kann ein  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  von 228 angenommen werden.

13) Eine Farbtemperatur unter 3.300 K wird nach DIN 5033 als „warmweiß“ bezeichnet. Eine Farbtemperatur von 3.300 - 5.000 K entspricht dem „neutralweiß“. Über 5.000 K wird werden die Begriffe „tageslichtweiß“ oder „kaltweiß“ verwendet.



## 5 Vereinfachte Bewertung

**Dieses Kapitel behandelt das Kernthema des Merkblatts – die Ermittlung der Lichtleistung von LEDs und den Vergleich mit den Grenzwerten der Risikogruppen.**

### 5.1 Risikogruppen

In der Norm EN 62471 sind verschiedene Risikogruppen (RG) für die Beurteilung des Schädigungspotentials von Lampen gegenüber den Augen definiert. Neben der sogenannten „Freien Gruppe“ (RG 0) werden drei weitere Risikogruppen angeführt, die sich durch verschiedene Zeitdauern („Zeitbasis“ - 0,25 s bis 30000 s) unterscheiden, innerhalb derer eine Bestrahlung als sicher angesehen wird – s. Tabelle 3.

- RG 0 Freie Gruppe
- RG 1 Risikogruppe 1 (Gruppe mit geringem Risiko)
- RG 2 Risikogruppe 2 (Gruppe mit mittlerem Risiko)
- RG 3 Risikogruppe 3 (Gruppe mit hohem Risiko)<sup>14)</sup>

Bei einem Produkt der RG 0 (freie Gruppe) kann man davon ausgehen, dass die Grenzwerte gemäß der VOPST in Abständen von 20 cm und darüber sogar für Langzeitbestrahlung eingehalten werden. Je höher die Risikogruppe ist, desto kürzer ist die erlaubte Bestrahlungsdauer bevor es zu einer Überschreitung der Grenzwerte für das Auge kommt (jeweils im Referenzabstand von 20 cm). RG 2 ist für Kurzzeitbestrahlung sicher, bei RG 3 führt auch schon Kurzzeitbestrahlung (bei entsprechend geringen Abständen zur LED) zur Grenzwertüberschreitung.

Drei Ausgangssituationen können unterschieden werden:

- a) **Die Risikogruppe ist bereits angegeben:** in diesem Fall muss festgestellt werden, ob die Grenzwerte eingehalten werden. Dazu ist die Art

<sup>14)</sup> Für RG 3 sind keine Grenzwerte definiert. Alle LEDs, deren Strahlung die Grenzwerte für RG 2 übertrifft, fallen automatisch in RG 3.

der Exposition zu bewerten, d.h. es sind die mögliche Bestrahlungsdauer und der Abstand zur LED oder LED-Array zu ermitteln und zu bewerten. Dies gilt für alle Risikogruppen außer für die Freie Gruppe (RG 0).

**Anmerkung:** ein LED-Array kann in eine höhere Risikogruppe fallen, obwohl die Einzel-LED der RG 0 entspricht.

- b) **Die Risikogruppe ist nicht angegeben:** Anwendung der vorliegenden vereinfachten Bewertung – s. Kapitel 5.3.
- c) **Grenzfälle:** wenn die Risikogruppe nicht eindeutig festgelegt werden kann, die einfache Bewertung unsicher ist oder die Risikogruppe 3 ergibt, ist eine genaue Analyse bzw. Messung in jeden Fall notwendig.

## 5.2 Grenzwerte

Die Grenzwerte für die potentielle Schädigung der Netzhaut sind in der Norm EN 62471 als Strahldichte  $L_e$  – eine Quelleneigenschaft – angeführt<sup>15)</sup>. Die Grenzwerte für die einzelnen Risikogruppen sind identisch mit den Grenzwerten der Verordnung Optische Strahlung (VOPST) für die entsprechenden Bestrahlungsdauern.

**Tabelle 3:** Norm-Grenzwerte, angegeben als Strahldichte.

Blaulicht	RG 0	RG 1	RG 2
Grenzwert $L_B$ [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ]	100	10.000	4.000.000
erlaubte Bestrahlungsdauer [s]	> 10.000	mind. 100	mind. 0,25
Netzhaut thermisch			
Grenzwert $L_R^*$ [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ]	28 000 / $\alpha$	28 000 / $\alpha$	71 000 / $\alpha$
erlaubte Bestrahlungsdauer [s]	> 10	> 10	mind. 0,25

\*)  $\alpha$  hat die Bedeutung der Quellgröße, die als Winkelgröße mit der Einheit „rad“ angegeben wird.

Da die Strahldichte von LEDs selten verfügbar ist, und noch dazu speziell bewertet werden müsste, um mit den Grenzwert verglichen werden zu können, wurden die Grenzwerte für die vereinfachte Bewertungsmethode unter „worst-case“ Annahmen in Einheiten von „Watt“ umgerechnet. Sie sind in den Tabellen 5 und 6 angeführt.

15) Der Index „e“ wird ab hier nicht weiter angeführt. Aus der Einheit kann aber geschlossen werden, dass es sich um eine radiometrische Größe handelt.

## 5.3 Methode der vereinfachten Bewertung

Die vereinfachte Bewertung soll es ermöglichen, mit Hilfe der Werte aus einem LED-Datenblatt abschätzen zu können, ob eine LED die Grenzwerte - je nach Bestrahlungsdauer – in einem Abstand von 20 cm überschreitet oder nicht. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die LED kontinuierlich Licht abgibt, d.h. nicht gepulst betrieben wird<sup>16)</sup>.

Die vereinfachte Bewertung ist in zwei Schritten durchführbar:

**Schritt 1:** Berechnung der Leistung

**Schritt 2:** Vergleich mit den Grenzwerten

Die Berechnung der Leistung, Schritt 1, erfolgt auf Basis der Daten aus dem Datenblatt der LED. Die in einem Datenblatt häufig angeführten Parameter sind in Tabelle 4 aufgelistet. Oft werden für manche Größen ein minimaler, ein typischer und ein maximaler Wert angegeben. Im Sinne einer worst-case Abschätzung ist der Maximalwert zu verwenden<sup>17)</sup>.

**Tabelle 4:** Parameter aus einem LED-Datenblatt.

(eine genauere Erklärung der Parameter – inklusive engl. Begriffe - ist im Anhang zu finden).

Parameter	Zeichen	Einheit	Bemerkung
Wellenlänge	$\lambda_p$	nm	Peak-Wellenlänge
Vorwärts-Spannung	$U_F$	V	max. Flussspannung
Vorwärts-Strom	$I_F$	A	max. Strom in Durchlassrichtung
opt. Leistung	$\Phi_e$	W	radiom. Größe
Lichtstrom	$\Phi_v$	lm	photom. Größe
opt. Wirkungsgrad	$\eta_{opt}$	lm/W	photom. Größe
Abstrahlwinkel	$\Theta_{1/2}$	°	60° für Lambert
maximale Helligkeit	$I_v$	cd	photom. Größe

16) Im gepulsten Betrieb sind Pulsdauern von weniger als 1 ms üblich – also deutlich kürzer als die Zeitbasis von 0,25 s. Für derart kurze Pulsdauern sind auch höhere Vorwärtsströme zugelassen, die zu einem höheren Lichtstrom führen.

17) Achtung: manchmal gelten die Maximalwerte nur für eine eingeschränkte Betriebsdauer. In diesem Fall sollte der typische Wert verwendet werden.

### 5.3.1 Schritt 1 - Ermittlung der Leistung

Je nach Verfügbarkeit der Daten bestehen verschiedene Möglichkeiten, jene Leistung zu berechnen, die man durch die genormte Messblende ( $\varnothing = 7 \text{ mm}$ ) messen würde. Diese berechnete Leistung ist dann im **Schritt 2** mit dem entsprechenden Grenzwert zu vergleichen. Ausgangspunkt ist die maximale Lichtleistung  $P$ .

#### a) Leistung $P$

Im einfachsten Fall ist die optische Leistung  $\Phi_e$  bereits direkt in Watt angegeben. Dann gilt

$$P_{a1} = \Phi_e$$

Falls nicht, ergibt sich die maximale Lichtleistung aus der elektrischen Spannung  $U_F$  und dem Strom  $I_F$  (entspricht 100% Wirkungsgrad):

$$P_{a2} = U_F \cdot I_F \quad (= P_{\max})$$

(Anmerkung: wenn  $U_F$  in [V] und  $I_F$  in [A] eingesetzt werden, erhält man die Leistung  $P$  in Watt).

In manchen Fällen ist die optische Leistung auch in Form des Lichtstroms  $\Phi_v$  in Lumen (lm) angegeben. Da der Lichtstrom eine photometrische Größe ist, muss zunächst die Lichtfarbe festgestellt werden. Hierfür ist die Peak-Wellenlänge zu verwenden. Ist die Wellenlänge nicht bekannt, dann ist die Farbe mit dem freien Auge einer der sieben Farben und dann einem der acht  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  aus Tabelle 2 zuzuordnen. Die radiometrische Strahlungsleistung  $P$  ist dann über den Faktor  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  berechenbar:

$$P_{a3} = \Phi_v \cdot \frac{1}{K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}}$$

(Anmerkung:  $\Phi_v$  ist in [lm] einzusetzen).

Falls die Lichtausbeute  $\eta_v$  bekannt ist, kann man damit die abgegebene optische Leistung berechnen. Da der optische Wirkungsgrad eine photometrische Größe beinhaltet, ist wiederum die Lichtfarbe festzustellen (Peak-Wellenlänge) und der entsprechende Faktor  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  aus Tabelle 2 zu verwenden.

Zunächst muss aber die gesamte optische Strahlungsleistung  $\Phi_v$  ermittelt werden. Sie ergibt sich aus

$$\Phi_v = P_{\max} \cdot \eta_v = U_F \cdot I_F \cdot \eta_v$$

Die radiometrische Strahlungsleistung  $P_{a4}$  ist nun wieder über den Faktor  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  berechenbar:

$$P_{a2} = U_F \cdot I_F \cdot \eta_v \cdot \frac{1}{K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}}$$

(Anmerkung:  $U_F$  ist in [V],  $I_F$  in [A] und  $\eta_v$  in [lm/W] einzusetzen).

Ist eine der ermittelten Leistungen  $P_{ax}$  kleiner als der entsprechende Grenzwert in Tabelle 5, kann die Beurteilung bereits hier abgebrochen werden. In den meisten Fällen wird jedoch eine Fortsetzung der Berechnung notwendig sein. Je nach Verfügbarkeit von Daten bestehen dafür zwei Möglichkeiten, die Leistung genauer zu berechnen:

- Berücksichtigung der Lichtverteilung ( $\Theta_{\frac{1}{2}}$ )
- Umwandlung der Lichtstärke  $I_v$  (cd) in Leistung

## b) Lichtverteilung ( $\Theta_{\frac{1}{2}}$ )

Da die 7 mm-Messblende im Abstand von 20 cm zur LED immer nur einen Teil der Gesamtstrahlung erfasst, wird auch nur ein Bruchteil der Gesamtleistung gemessen. Dies kann durch die Lichtverteilung im Raum (Strahlkeule) berücksichtigt werden, die mit Hilfe des Halbwertswinkels  $\Theta_{\frac{1}{2}}$  beschrieben wird. Dabei wird angenommen, dass die gesamte Leistung innerhalb dieses Abstrahlwinkels homogen verteilt ist.

Die Leistung  $P_b$  ergibt sich aus den zuvor ermittelten Leistungen  $P_{a1}$  bis  $P_{a4}$  gewichtet mit dem Verhältnis aus der genormten Detektorfläche  $A_D \approx 39 \text{ mm}^2$  ( $\varnothing = 7 \text{ mm}$ ) zur bestrahlten Kugelfläche  $A_0$ . Die bestrahlte Kugelfläche  $A_0$  in der genormten Messentfernung (20 cm) folgt in erster Näherung direkt aus dem Halbwertswinkel  $\Theta_{\frac{1}{2}}$  (siehe Raumwinkel im Anhang s.32):

$$A_0 \approx 2\pi \cdot 0,2^2 \cdot (1 - \cos \Theta_{\frac{1}{2}}) \approx \frac{1}{4} \cdot (1 - \cos \Theta_{\frac{1}{2}})$$

Die Leistung  $P_{b1}$ , die durch eine 7 mm-Blende tritt, ist daher mit folgender Formel berechenbar<sup>18)</sup>:

$$P_{b1} = P_{a1} \cdot \frac{0,007^2 \cdot \pi}{1 - \cos \Theta_{\frac{1}{2}}} = P_{a1} \cdot \frac{154 \cdot 10^{-6}}{1 - \cos \Theta_{\frac{1}{2}}}$$

Anstelle von  $P_{a1}$  können nun der Reihe nach (je nach Verfügbarkeit) die anderen Leistungen  $P_{a2}$ ,  $P_{a3}$  oder  $P_{a4}$  eingesetzt werden.

<sup>18)</sup> In dieser und in den folgenden Formeln sind zwecks vereinfachter Darstellung die Einheiten der Zahlenfaktoren nicht dargestellt.

### c) Lichtstärke $I_v$ (cd)

Ein dritter Weg, die Leistung zu berechnen und mit den Grenzwerten zu vergleichen, folgt direkt aus der Angabe der Lichtstärke  $I_v$ . Wiederum handelt sich um eine photometrische Größe, die mit Hilfe von  $K_m$  und  $V(\lambda)$  bzw.  $K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}$  umzuwandeln ist. Die optische Leistung ist unmittelbar aus einem der Grundgesetze ableitbar (s. Kapitel 3.2):

$$\Phi_v = I_v \cdot \Omega_2$$

wobei  $\Omega_2$  den durch die Detektorfläche  $A_D$  im Messabstand  $r$  (20 cm) aufgespannten Raumwinkel darstellt.

$$\Omega_2 = A_D / r^2 = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ sr}$$

Die radiometrische Strahlungsleistung  $P_c$  ergibt sich damit zu

$$P_c = I_v \cdot \frac{9,6 \cdot 10^{-4}}{K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}}$$

### 5.3.2 Schritt 2 - Vergleich mit den Grenzwerten für Einzel-LEDs

Im zweiten Schritt wird die ermittelte Leistung mit den farbbezogenen Grenzwerten verglichen.

Da in den berechneten Leistungswerten (aus Schritt 1) bereits worst-case Annahmen integriert sind, kann die kleinste dieser ermittelten Leistungen verwendet werden (d.h. falls mehr als ein Verfahren aus Schritt 1 verwendet wurde). Der Grenzwert ist von der Farbe der LED abhängig und für einzel LEDs in Tabelle 5 angegeben (die Farbeinteilung ist nach der Peak-Wellenlänge vorzunehmen – s. Tabelle 2). Für die Grenzwerte von Tabelle 5 wurde eine minimale leuchtende Fläche angenommen; ist die Größe der leuchtenden Fläche bekannt, kann für die thermischen Grenzwerte Tabelle 7 in Kombination mit Tabelle 6 für die photochemischen Grenzwerte verwendet werden.

**Achtung:** die Grenzwerte sind in mW (Milliwatt) gegeben. Es muss sichergestellt sein, dass die berechnete Leistung aus Schritt 1 auch in mW vorliegt<sup>19)</sup>.

<sup>19)</sup> Da die Formeln in Schritt 1 die Leistung in Watt (W) ergibt, ist dieser Wert durch 1000 zu dividieren um Milliwatt (mW) zu erhalten.

**Tabelle 5:** Farbbezogene Grenzwerte für Einzel-LEDs (worst-case Annahme für leuchtende Chipgröße).

Farbe	Grenzwerte in mW <sup>*)</sup>	
	Langzeit-Exposition (RG 0)	Kurzzeit-Exposition <sup>**)</sup> (RG 2)
■ Tief-Rot	2,0	5,2
■ Rot	1,4	3,6
■ Orange	1,4	3,6
■ Gelb	1,4	3,6
■ Grün	0,18	1,58
■ Blau	0,04	0,38
■ Violett	0,09	0,90
□ Weiß	0,08	0,72

<sup>\*)</sup> Es wurde jeweils der kleinere Wert der ermittelten Blaulicht- (blaue Schrift) bzw. thermischen Grenzwerte (rote Schrift) genommen.

<sup>\*\*)</sup> Grenzwert für 0,25 s Bestrahlungsdauer; liegt die Leistung unter dem Grenzwert, ist die erlaubte Bestrahlungsdauer entsprechend länger.

## Worst-Case Annahmen

Es sei betont, dass dem vereinfachten Verfahren folgende „worst-case“ Annahmen zugrunde liegen, die sowohl die Leistungsberechnung wie auch die Grenzwerte betreffen:

- Betrachtungsabstand 20 cm
- Minimale Quellengröße mit 1,7 mrad (d.h. ohne Berücksichtigung der leuchtenden Chip-Fläche)
- Worst-case spektrale Referenzverteilung (Gauß- oder asymmetrische Verteilung)
- Worst-case Wellenlängen-Bandbreite

Überschreitet die nach dem vereinfachten Verfahren errechnete Leistung die Grenzwerte, kann eine genauere Analyse, z.B. die Berücksichtigung des realen Abstandes zur LED-Quelle oder die Größe der leuchtenden Fläche, ergeben, dass die Grenzwerte nicht überschritten sind.

### 5.3.3 Schritt 2 für LED-Arrays

#### LED - Array

Die bisherigen Formeln für die Berechnung der Leistung gelten für einzelne LEDs. In vielen Leuchten findet man jedoch mehrere LEDs nebeneinander. Für die vereinfachte Bewertung dieser LED-Arrays ist wie folgt vorzugehen:

Für die thermische Netzhautgefahr ist jede LED einzeln zu bewerten, da sich die Abbildungen auf der Netzhaut thermisch gegenseitig nicht beeinflussen. Es ist also ausreichend, die Leistung der stärksten LED mit dem entsprechenden thermischen Grenzwert zu vergleichen. Für rote, orange und gelbe LEDs ist dieser Vergleich mit dem thermischen Grenzwert ausreichend. Für grüne, blaue und weiße LEDs muss neben dem thermischen Grenzwert auch der Blaulicht-Grenzwert berücksichtigt werden.



**Tabelle 6:** Farbbezogene Grenzwerte für LED-Arrays (worst-case Annahme für leuchtende Chipgröße).

Farbe	Grenzwerte in mW			
	Langzeit-Exposition (RG 0)		Kurzzeit-Exposition *) (RG 2)	
	Blaulicht	Thermisch	Blaulicht	Thermisch
<span style="color: red;">■</span> Tief-Rot	---	<b>2,0</b>	---	<b>5,2</b>
<span style="color: red;">■</span> Rot	---	<b>1,4</b>	---	<b>3,6</b>
<span style="color: orange;">■</span> Orange	---	<b>1,4</b>	---	<b>3,6</b>
<span style="color: yellow;">■</span> Gelb	5,9	<b>1,4</b>	56,5	<b>3,6</b>
<span style="color: green;">■</span> Grün	<b>0,18</b>	0,63	1,68	<b>1,58</b>
<span style="color: blue;">■</span> Blau	<b>0,04</b>	0,16	<b>0,38</b>	0,39
<span style="color: purple;">■</span> Violett	<b>0,09</b>	0,36	<b>0,90</b>	0,90
<span style="color: white;">□</span> Weiß	<b>0,08</b>	0,29	0,75	<b>0,72</b>

\*) Grenzwert für 0,25 s Bestrahlungsdauer; liegt die Leistung unter dem Grenzwert, ist die erlaubte Bestrahlungsdauer entsprechend länger.

Die LEDs eines Arrays sind hinsichtlich Blaulicht-Gefährdung gemeinsam zu beurteilen. Zum Vergleich mit dem Blaulicht-Grenzwert für Langzeit-Exposition (RG 0) sind die Leistungen aller Einzel-LEDs, die innerhalb eines Umkreises mit 2,2 cm Durchmesser liegen, einfach zu addieren. Zum Vergleich mit dem Blaulicht-Grenzwert für Kurzzeit-Exposition (RG 2) sind hingegen die Leistungen der Einzel-LEDs, die innerhalb von 0,22 cm liegen, zu addieren – s. Beispiel C1 und C2.



Für rote und orange LEDs gibt es keinen „Blaulicht“-Grenzwert, sondern nur den „thermischen“ Grenzwert, der mit der Leistung aus Schritt 1 verglichen werden muss. Der jeweils niedrigere (und daher kritischere) Wert ist fett geschrieben.

### 5.3.4 Berücksichtigung der leuchtenden LED-Fläche

Die Grenzwerte in Tabelle 5 und Tabelle 6 für die Gefährdung „Netzhaut thermisch“ wurden unter der Annahme einer minimal großen Quelle berechnet<sup>20)</sup>. Ist jedoch die leuchtende Fläche der LED größer, dann kann dieser worst-case Grenzwert  $GW_{wc}$  (gilt nur für den „thermischen“ Grenzwert) angehoben werden. In Tabelle 7 sind die angehobenen Grenzwerte für verschiedene Flächen aufgelistet, wobei eine quadratisch leuchtende Fläche angenommen wurde (worst-case Annahme, kann daher auch für rechteckige leuchtende Flächen verwendet werden).

**Tabelle 7:** Farbbezogene „thermische“ Grenzwerte für RG0 für LEDs mit bekannter leuchtender Fläche.

Farbe	Grenzwerte in mW für Langzeit-Exposition (RG 0)							
	0,1 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup>	2 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	32 mm <sup>2</sup>	64 mm <sup>2</sup>	100 mm <sup>2</sup>
■ Tief-Rot	2,09	6,1	8,7	12,3	24,6	34,8	49,2	61,4
■ Rot	1,46	4,3	6,1	8,6	17,2	24,3	34,3	42,9
■ Orange	1,45	4,3	6,0	8,5	17,1	24,1	34,1	42,6
■ Gelb	1,45	4,3	6,0	8,5	17,1	24,1	34,1	42,6
■ Grün	0,63	1,9	2,6	3,7	7,4	10,5	14,8	18,5
■ Blau	0,16	0,47	0,67	0,94	1,88	2,66	3,76	4,70
■ Violett	0,36	1,06	1,50	2,12	4,23	5,99	8,47	10,6
□ Weiß	0,29	0,85	1,21	1,71	3,41	4,82	6,82	8,53

Liegt die LED-Fläche zwischen den angegebenen Werten, dann kann der Grenzwert durch Interpolation ermittelt werden.

### 5.3.5 Vergleich „aufwendige“ mit „vereinfachter“ Bewertung

Bedingt durch die vorgenommenen Vereinfachungen haben die Risikogruppen RG 0 und RG 1 die gleichen Grenzwerte. Somit gibt es in den Tabellen

<sup>20)</sup> Die minimale Quellgröße nach Norm beträgt 1,7 mrad. Dies entspricht einer Fläche von etwa 0,091 mm<sup>2</sup> (rund 0,1 mm<sup>2</sup>) in 20 cm Entfernung.

der vereinfachten Bewertung keine Gruppe mit „Geringem Risiko“ (RG 1). Aus zwei Gründen werden die LEDs gemäß vereinfachter Bewertung tendenziell in eine höhere Risikogruppe eingestuft:

1. Aufgrund der getroffenen worst-case-Annahmen.
2. Während bei der „aufwendigen“ Bewertung die Datenbasis durch Messung selbst erhoben wird, ist man bei der „vereinfachten“ Bewertung auf die Angaben im LED-Datenblatt angewiesen. Es werden nur wenige worst-case Daten zur Verfügung gestellt, z.B. nur Vorwärtsspannung und –strom.

## 5.4 Zusammenfassung

Es wird der Leistungswert auf Basis von Hersteller-Daten ermittelt und mit farbbezogenen Grenzwerten verglichen.

Durch den Vergleich kann die LED der Risikogruppe Freie Gruppe (RG 0) oder der Gruppe mit mittlerem Risiko (RG 2) zugeordnet werden.

Die beschriebene Methode beruht jedoch auf „Worst-Case“ Annahmen und kann zu einer Überbewertung des Risikos führen.

Das Licht der verfügbaren LEDs zur Zeit der Merkblätterstellung (2010) kann bei Kurzzeit-Exposition (kurzer Blick in die LED, keine gepulste Strahlung) die Grenzwerte für Kurzzeit-Exposition nicht überschreiten. Das bedeutet im Sinne der EN 62471, dass es derzeit keine LED gibt, die RG 3 erreichen könnte. Grüne, gelbe, orange und rote LEDs sind in den derzeitigen Ausführungen sogar bei Langzeitbestrahlung sicher, d.h. sie sind der „Freien Gruppe“ (RG 0) zuzuordnen. Bei Langzeitexposition (absichtlicher Blick in die Quelle) können blaue oder weiße Hochleistungs-LEDs die entsprechenden Grenzwerte überschreiten und der Risikogruppe RG 2 angehören. Diese LEDs sind aber sehr hell und der Blick in die LEDs wird normalerweise aufgrund von natürlichen Abwendreaktionen zeitlich beschränkt bleiben.

***Eine Sicherheits-Beurteilung im Sinne der Verordnung für Optische Strahlung ist daher nur für blaue und weiße LEDs notwendig, und auch nur dann, wenn diese sehr hell sind und damit zu rechnen ist, dass man längere Zeit aus kurzer Entfernung (ca. 20 cm) in die LED blickt***

## 6 Beispiele

### Beispiel A: Rote LED für Signalgebung

Wellenlänge $\lambda$ :	630 nm
Spannung $U_F$ :	2,3 V (typ.), 2,6 V (max.)
Strom $I_F$ :	50 mA (typ.), 60 mA (max.)
Abstrahlwinkel $\Theta_{1/2}$ :	15°
Optischer Wirkungsgrad $\eta_{opt}$ :	nicht angegeben
maximale Helligkeit $I_v$ :	5500 mcd (typ.), 9300 mcd (max.)
Chip-Fläche:	nicht angegeben



#### Schritt 1 - Leistungsberechnung

a) Da die optische Leistung nicht angegeben ist – weder radiometrisch noch photometrisch, ergibt sich die maximale Leistung  $P_a$  aus Vorwärtsstrom und Vorwärtsspannung der LED:

$$P_a = U_F \cdot I_F = 115 \text{ mW (typ.) bzw. } 156 \text{ mW (= } P_{max})$$

(Hinweis:  $I_F$  ist meistens in mA angegeben. In die Formel muss aber die Stromstärke in der Grundeinheit A eingesetzt werden; in diesem Fall der Wert 0,05 A).

Wirkungsgrad  $\eta_{opt}$ : ebenfalls keine Angabe, daher nicht auswertbar.

#### Schritt 2 – Vergleich mit den Grenzwerten (aus Tabelle 5)

Weil die LED im roten Bereich emittiert, ist der Grenzwert (GW):

$$GW = 1,4 \text{ mW}$$

Da die Leistung (156 mW) oberhalb des Grenzwertes liegt, muss die Rechnung – und damit Schritt 1 - fortgesetzt werden. Entweder man bezieht die räumliche Lichtverteilung mit in die Rechnung ein (Punkt b) und/oder man geht direkt von der angegebenen Lichtstärke aus (Punkt c).

b) Mit einem Halbwertswinkel  $\Theta_{1/2}$  ergibt sich:

$$P_b = P_a \cdot \frac{154 \cdot 10^{-6}}{1 - \cos \Theta_{1/2}} = 156 \text{ mW} \cdot 0,0045 = 0,71 \text{ mW}$$

Schritt 2 – Vergleich mit dem Grenzwert:  $P < GW$  für Langzeitbestrahlung. Die Rechnung könnte hier abgebrochen werden. Zwecks Vollständigkeit ist noch die letzte Möglichkeit Punkt c) angeführt.

c) Die gemessene Leistung folgt aus dem Zusammenhang zwischen Leistung  $P_c$  und der Strahlstärke  $I_e$  bzw.  $I_v$ :

$$P_c = I_v \cdot \frac{9,6 \cdot 10^{-4}}{K(\lambda)_{\text{Farb-LED}}} = 9,3 \cdot \frac{9,6 \cdot 10^{-4}}{8,6} = 1,04 \text{ mW}$$

(Hinweis:  $I_v$  ist meistens in mcd angegeben. In die Formel muss aber die Lichtstärke in der Grundeinheit cd eingesetzt werden; in diesem Fall der Wert 9,3 cd).

Kleinster errechneter Wert	Grenzwert RG 0
0,71 mW	1,4 mW

Demnach gilt  $P < GW$  für RG 0.

**Schlussfolgerung:** die rote LED kann der „Freien Gruppe“ (RG 0) zugeordnet und überschreitet somit die Grenzwerte der Verordnung Optische Strahlung auch für Langzeitbestrahlung aus 20 cm Entfernung nicht.

## Beispiel B: Weiße LED

Anwendung: Blitzlicht • Hinterleuchtung • Leseleuchten • Fassaden Beleuchtung • Display Hinterleuchtung • Dekorative Beleuchtung • Signal- und Symbolleuchten zur Orientierung • Straßenbeleuchtung • Tunnelbeleuchtung • Deckenleuchten, etc.

Wellenlänge  $\lambda$ : weiß  
 Spannung  $U_F$ : 3,7 V (max.)  
 Strom  $I_F$ : 1.000 mA (max.)  
 Lichtstrom  $\Phi_v$ : 112 lm  
 Abstrahlwinkel  $\Theta_{1/2}$ : 60°  
 Lichtausbeute  $\eta_v$ : nicht angegeben  
 maximale Helligkeit  $I_v$ : 24.000 mcd  
 Chip-Fläche: nicht angegeben



## Schritt 1 – Leistungsberechnung

$$a) P_{a1} = U_F \cdot I_F = 3,70 \text{ W}$$

$$\Phi_{v,1} = 112 \text{ lm (direkte Angabe)}$$

$$P_{a2} = \Phi_v / K(\lambda)_{\text{Farb-LED}} = 112 / 228 = 0,49 \text{ W}$$

$$b) P_{b1} = P_{a1} \cdot 154 \cdot 10^{-6} / (1 - \cos \Theta_{1/2}) = 1,13 \text{ mW}$$

$$P_{b2} = P_{a2} \cdot 154 \cdot 10^{-6} / (1 - \cos \Theta_{1/2}) = 0,15 \text{ mW}$$

$$c) P_c = 24 \cdot 9,6 \cdot 10^{-4} / 228 = 0,10 \text{ mW}$$

Der kleinste Leistungswert von 0,10 mW wird für den Vergleich mit den Grenzwerten verwendet.

## Schritt 2 – Vergleich mit den Grenzwerten (aus Tabelle 5)

Farbe	Langzeit-Exposition (RG 0)	Kurze Exposition (RG 2)	Berechneter Wert in [mW]
<input type="checkbox"/> Weiß	0,08	0,72	0,10

**Schlussfolgerung:** Nach der Methode der vereinfachten Bewertung ist die weiße LED als RG 2 zu klassifizieren. Eine absichtliches Starren in die LED aus einer Entfernung von 20 cm könnte zur Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für die Blaulichtgefahr gemäß der Verordnung Optische Strahlung führen. Die Grenzwerte für Kurzzeitbestrahlung (0,25 s) werden nicht überschritten. Die LED ist für allgemeine Zwecke, für die kein absichtliches Starren zu erwarten ist, sicher.

## Beispiel C1: Grüne Einzel-LED

Wellenlänge $\lambda$ :	520 nm
Spannung $U_F$ :	3,5 V (typ.)
Strom $I_F$ :	2000 mA (max.)
Lichtstrom $\Phi_v$ :	192 lm
Lichtausbeute $\eta_v$ :	32 lm/W
Abstrahlwinkel $\Theta_{1/2}$ :	70°
maximale Helligkeit $I_v$ :	50.000 mcd
Chip-Fläche:	nicht angegeben

## Schritt 1 – Leistungsberechnung

$$a) P_{a1} = U_F \cdot I_F = 7 \text{ W}$$

$$\Phi_{v,1} = 258 \text{ lm (direkte Angabe)}$$

$$P_{a2} = \Phi_v / K(\lambda)_{\text{Farb-LED}} = 192/280 = 0,69 \text{ W}$$

$$\Phi_{v,2} = \eta_v \cdot U_F \cdot I_F = 32 \cdot 3,5 \cdot 2 = 224 \text{ lm}$$

$$P_{a3} = \Phi_v / K(\lambda)_{\text{Farb-LED}} = 224/280 = 0,80 \text{ W}^{21)}$$

$$b) P_{b1} = P_{a1} \cdot 154 \cdot 10^{-6} / (1 - \cos \Theta_{y/2}) = 1,6 \text{ mW}$$

$$P_{b2} = P_{a2} \cdot 154 \cdot 10^{-6} / (1 - \cos \Theta_{y/2}) = 0,16 \text{ mW}$$

$$P_{b3} = P_{a3} \cdot 154 \cdot 10^{-6} / (1 - \cos \Theta_{y/2}) = 0,19 \text{ mW}$$

$$c) P_c = I_v \cdot 9,6 \cdot 10^{-4} / K(\lambda)_{\text{Farb-LED}} = 50 \cdot 9,6 \cdot 10^{-4} / 280 = 0,17 \text{ mW}$$

## Schritt 2 – Vergleich mit den Grenzwerten (aus Tabelle 5)

Farbe	Langzeit-Exposition (RG 0)	Kurzzeit-Exposition (RG 2)	Berechneter Wert in [mW]
■ Grün	0,18	1,58	0,16

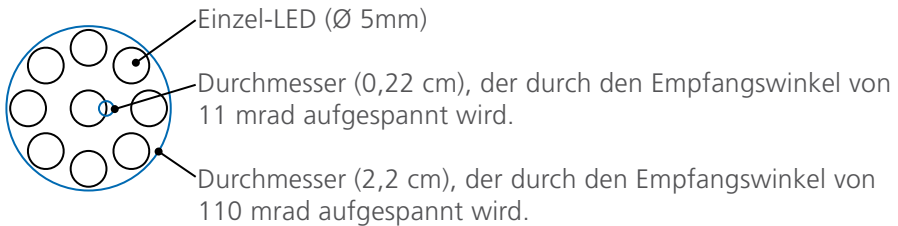
**Schlussfolgerung:** Die grüne Einzel-LED ist in der „freien Gruppe“, RG 0. Weder die Grenzwerte für Kurzzeitbestrahlung noch für Langzeit-Exposition werden überschritten. Die LED ist für allgemeine Zwecke auch beim Betrachten aus kurzer Entfernung (20 cm) sicher.

## Beispiel C2: Grün-farbiges LED-Array

Ein Array wird aus den grün-farbigen LEDs gebildet, die dieselben technischen Daten aufweisen wie im Beispiel zuvor. Es wird ein 5 mm Durchmesser pro LED angenommen.

Die thermische Gefährdung ist nur durch die Einzel-LED gegeben und bereits beurteilt worden. Hinsichtlich photochemischer Gefährdung muss für die Kurzzeitexposition ein Durchmesser von 0,22 cm und für die Langzeitexposition ein Durchmesser von 2,2 cm berücksichtigt werden.

21) Anmerkung: obwohl die theoretisch maximale Leistung eingesetzt wurde, ist der Lichtstrom  $\Phi_{v,2}$  kleiner als die Herstellerangabe  $\Phi_{v,1}$ , was auf eine ungenaue Angabe schließen lässt.



Bei dieser Anordnung muss nur eine Einzel-LED für die Kurzzeitexposition berücksichtigt werden, die bereits beurteilt worden ist. Es befinden sich aber 9 LEDs innerhalb des Empfangswinkels für Langzeitexposition (2,2 cm) – d.h. die berechneten Leistungen müssen mit den Faktor 9 multipliziert werden. Der kleinste Vergleichswert vom Beispiel zuvor beträgt 0,16 mW. Der neue Vergleichswert für das Array beträgt daher 1,44 mW.

## Schritt 2 – Vergleich mit den Grenzwerten (aus Tabelle 6)

Farbe	Langzeit-Exposition (RG 0)		Kurzzeit-Exposition (RG 2)		Berechneter Wert in [mW]
	Blaulicht	Thermisch	Blaulicht	Thermisch	
■ Grün	0,18	0,63	1,68	1,58	1,44

**Schlussfolgerung:** Im Gegensatz zur Einzel-LED Bewertung könnte beim LED-Array eine Langzeitexposition aus einer Entfernung von 20 cm zur Überschreitung der Expositionsgrenzwerte der Verordnung Optische Strahlung führen. Die Grenzwerte für Kurzzeitbestrahlung werden auch hier nicht überschritten. Das LED-Array kann für allgemeine Zwecke, für die keine Langzeitbestrahlung zu erwarten ist, als sicher eingestuft werden. Ist ein längerer Blick in das LED-Array zu erwarten, so ist eine genauere Analyse notwendig, um festzustellen, ob die Grenzwerte der VOPST überschritten werden.

## 7 Anhang

### Charakteristische Wellenlängen<sup>22)</sup>

#### Peak-Wellenlänge $\lambda_p$

Wellenlänge, bei der das spektrale radiometrische Maximum gemessen wird. Sie repräsentiert nicht das Maximum der empfundenen Farbwirkung. LEDs mit gleicher Peak-Wellenlänge können unterschiedliche Farbwirkungen haben.

#### Dominante Wellenlänge $\lambda_{\text{dom}}$

Die dominante Wellenlänge weicht von der Peak-Wellenlänge ab und ist maßgebend für den visuellen Farbeindruck von LEDs.

**Anmerkung:** Die Angabe der dominanten Wellenlänge ist nur für LEDs mit hoher Farbsättigung zweckmäßig. Weißen LEDs kann kein sinnvoller Wert für die dominante Wellenlänge zugeordnet werden.

#### Halbwertswellenlänge $\lambda_{h1}$ und $\lambda_{h2}$

Wellenlängen links und rechts der Peak-Wellenlänge, bei denen der spektrale Wert auf 50% vom Maximum abgesunken ist.

#### Halbwertsbreite $\Delta\lambda_{0,5}$

Kennzeichnet die Differenz der Halbwertswellenlängen. Typische Halbwertsbreiten sind 15 – 50 nm.

#### Zentrumswellenlänge $\lambda_{0,5m}$

Kennzeichnet den Mittelwert beider Halbwertswellenlängen.

#### Schwerpunktswellenlänge $\lambda_c$

Diese Wellenlänge teilt das Spektrum in zwei Bereiche mit gleicher Leistung. Die Schwerpunktswellenlänge ist in der Regel nicht identisch mit der Zentrumswellenlänge.

---

<sup>22)</sup> Vergleiche auch Abbildung 3



## Halbwertswinkel - Lichtstärkeverteilung

Ein wesentliches Merkmal einer LED ist deren Abstrahlcharakteristik. Sie wird durch die räumliche Verteilung der Lichtstärke beschrieben und meist in Form eines Diagramms im Datenblatt dargestellt.

Als ergänzendes Maß für die Lichtstärkeverteilung wird der Halbwertswinkel  $\Theta_{1/2}$  (auch Abstrahlwinkel oder Öffnungswinkel genannt) angegeben. Er ist definiert als Winkel zwischen optischer Strahlachse und jener Linie, die die LED-Spitze mit jenem Punkt verbindet, bei dem die Lichtstärke auf 50% der Maximallichtstärke abgefallen ist.

Abb. 5 zeigt dazu ein Beispiel einer LED mit keulenförmiger Lichtstärkeverteilung, die einen Halbwertswinkel von  $22^\circ$  hat. Zusätzlich ist zum Vergleich die Verteilung eines Lambert-Strahlers ( $\Theta_{1/2} = 60^\circ$ ) eingezeichnet.

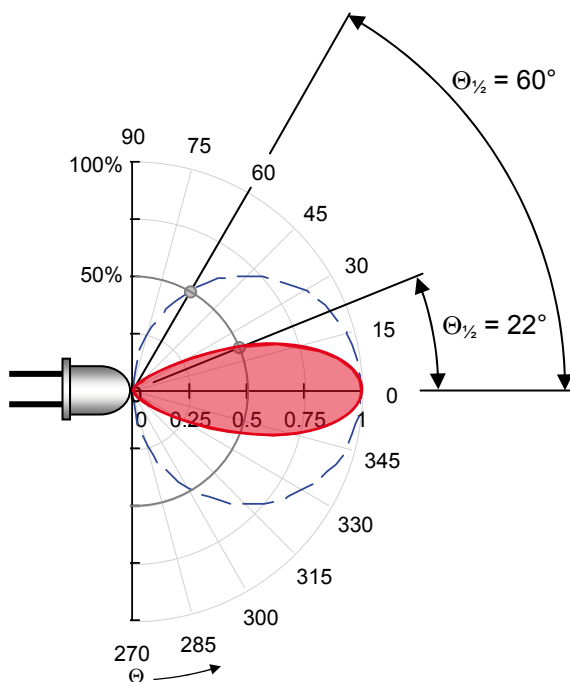


Abb. 5: Definition des Halbwertswinkels.

## Raumwinkel

Der Raumwinkel  $\Omega$  ist definiert als Verhältnis einer Fläche  $A$  auf einer Kugel zum Quadrat des Kugelradius  $r$ .

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

Die Einheit für den Raumwinkel  $\Omega$  wird Steradian genannt und mit sr abgekürzt.

Ein Raumwinkel von 1 sr umfasst auf der Oberfläche einer Kugel mit 1 m Radius eine Kugelfläche von 1 m<sup>2</sup>. Wird der Raumwinkel von einem rotationssymmetrischen Konus und einer Kalotte gebildet, dann lässt sich der Raumwinkel  $\Omega$  aus dem ebenen Winkel  $\delta$  des Konus ableiten.

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot (1 - \cos \delta)$$

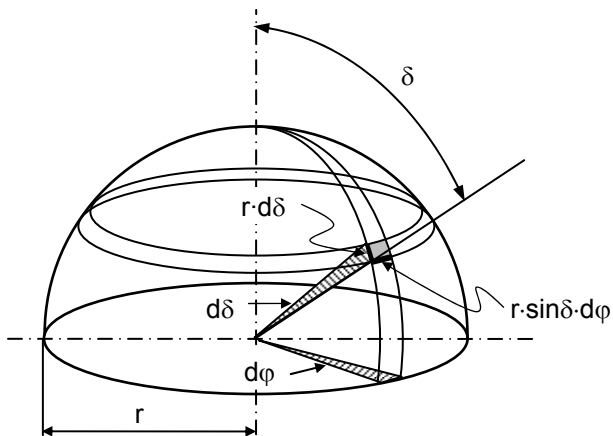


Abb. 6: Ableitung des Raumwinkels  $\Omega$  aus dem ebenen Winkel  $\delta$ .

## Photometrische und radiometrische Größen

**Tabelle 8:** Photometrische Größen

Größe	Zeichen	Einheit	Definition
Lichtstrom	$\Phi_v$	lm	$\Phi_v = K_m \cdot \int \Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda$ *)
Lichtstärke	$I_v$	cd	$I_v = \frac{d\Phi_{v,12}}{d\Omega_2}$
Beleuchtungsstärke	$E_v$	lx	$E_v = \frac{d\Phi_{v,12}}{dA_2}$
Leuchtdichte	$L_v$	cd/m <sup>2</sup>	$L_v = \frac{d^2\Phi_{v,12}}{dA_1 \cdot \cos \Theta_1 \cdot d\Omega_2}$

\*)  $\Phi_{e\lambda} = d\Phi_e/d\lambda$ ...spektrale Strahlungsleistung

**Tabelle 9:** Radiometrische Größen

Größe	Zeichen	Einheit	Definition
optische Strahlungsleistung	$\Phi_e$	W	$\Phi_e = \frac{dQ}{dt}$ (Q: Energie)
Strahlstärke	$I_e$	W/sr	$I_e = \frac{d\Phi_{e,12}}{d\Omega_2}$
Bestrahlungsstärke	$E_e$	W/m <sup>2</sup>	$E_e = \frac{d\Phi_{e,12}}{dA_2}$
Strahldichte	$L_e$	W/m <sup>2</sup> sr	$L_e = \frac{d^2\Phi_{e,12}}{dA_1 \cdot \cos \Theta_1 \cdot d\Omega_2}$

**Anmerkung:** Der Index „v“ kennzeichnet die photometrischen Größen, der Index „e“ wird für die radiometrischen Größen verwendet.

Weiters weist der Index 1 den Sender und Index 2 den Empfänger aus. Meist werden die Indizes aber nicht angeführt, da aus der Einheit hervorgeht, welche Art von Größe gemeint ist.

## Wirkungsgrad und Lichtausbeute

### Wirkungsgrad $\eta_{\text{opt}}$

Unter Wirkungsgrad versteht man das Verhältnis von abgestrahlter radio-metrischer Lichtleistung  $\Phi_e$  zur aufgenommenen elektrischen Leistung P. Der Wirkungsgrad wird mit  $\eta_{\text{opt}}$  oder  $\eta_e$  gekennzeichnet (wird oft auch als „wall-plug“ Effizienz  $\eta_{\text{wp}}$  bezeichnet).

$$\eta_e = \Phi_e / P$$

Während eine normale Glühlampe einen Wirkungsgrad von 3-4% oder eine Halogenlampe von 7% haben, wird bei LEDs ein Wirkungsgrad von ca. 25% erreicht.

### Lichtausbeute $\eta_v$

Die photometrische Lichtausbeute  $\eta_v$  ist ein Maß für die Umwandlung der elektrischer Leistung P in die Lichtleistung  $\Phi_v$  und wird in lm/W angegeben. Die physikalische Grenze der Lichtausbeute liegt bei 683 lm/W für die Wellenlänge 555 nm. Für weißes (tageslichtähnliches) Licht sind hingegen nur 225 lm/W möglich.

$$\eta_v = \Phi_v / P$$

### Beispiele:

Glühlampe	ca. 15 lm/W
Halogenlampe	ca. 35 lm/W
Leuchtstoffröhre	ca. 60 lm/W
weiße LED	ca. 100 lm/W

## Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$

Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad ist ein Maß für die Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Diese physiologisch bedingte Empfindlichkeitskurve wurde experimentell gefunden und als  $V(\lambda)$ -Kurve von der CIE<sup>23)</sup> genormt.

Die  $V(\lambda)$ -Kurve ist eine Mittelwertsfunktion und im Wellenlängenbereich

23) Commission Internationale de l'Éclairage – die internationale Beleuchtungskommission

380 – 780 nm definiert. Das Maximum liegt bei 555 nm, links und rechts des Maximums fällt die Kurve bei 400 nm bzw. bei etwa 750 nm nahezu auf den Wert Null ab.

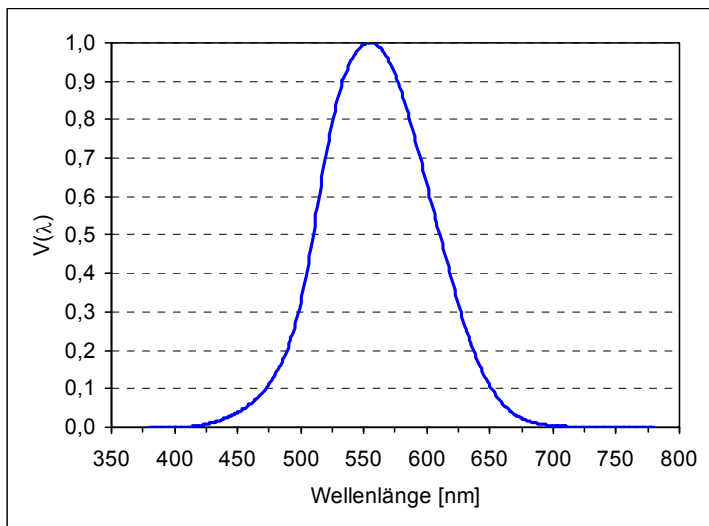


Abb. 7:  $V(\lambda)$ -Funktion (für das Tag-Sehen).

## Gewichtungsfunktionen $B(\lambda)$ -und $R(\lambda)$

Die spektralen Gewichtungsfunktionen  $B(\lambda)$  und  $R(\lambda)$  müssen aufgrund der Wellenlängenabhängigkeit der biologischen Wirkung optischer Strahlung eingeführt werden. Damit wird rechnerisch berücksichtigt, dass das Schädigungspotential stark von der Wellenlänge abhängt. Bei genauen Sicherheitsanalysen, wird die spektrale Strahldichte daher für beide Netzhaut-Schädigungsarten mit der entsprechenden Gewichtungsfunktion multipliziert, und der gewichtete Wert mit den Grenzwerten verglichen. Für eine möglichst einfache Bewertung wurde in diesem Merkblatt der Grenzwert je nach Farbe der LED (d.h. Spektrum) bereits so bewertet, dass man die (unbewertet) Leistung direkt mit den gewichteten Grenzwerten vergleichen kann.

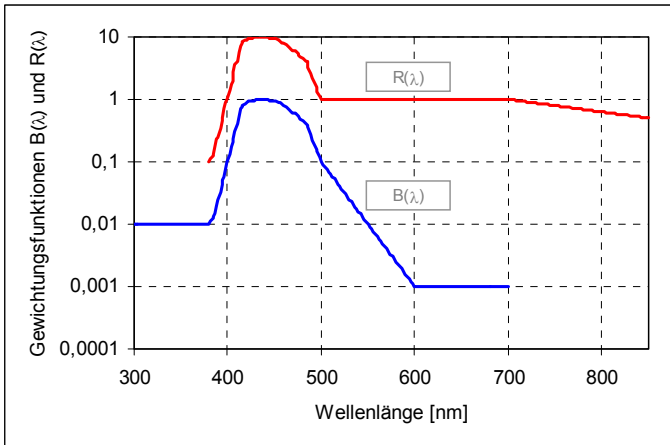


Abb. 8: Die Gewichtungsfunktionen  $B(\lambda)$ -und  $R(\lambda)$  gemäß ÖVE/ÖNORM EN 62471:2009 und VOPST.

### Englische Begriffe wichtiger Parameter

Parameter	Englischer Begriff
Wellenlänge	wavelength
Wellenlängenmaximum	peak-wavelength
Abstrahlwinkel	viewing angle
Vorwärts-Spannung	forward voltage
Vorwärts-Strom	forward current
opt. Wirkungsgrad	luminous efficiency
Farbtemperatur	color temperature
Lichtstrom	luminous flux
Lichtstärke	luminous intensity
Beleuchtungsstärke	illuminance
Leuchtdichte Helligkeit	luminance
Strahlungsleistung	radiant power
Strahlungsfluss	radiant flux
Strahlstärke	radiant intensity
Bestrahlungsstärke	irradiance
Strahldichte	radiance

# Autoren und Ansprechpartner

## Autor

Dr. Georg Vees  
Prüfstelle für Laser, LED & Lampen  
Seibersdorf Labor GmbH  
georg.vees@seibersdorf-laboratories.at

## Ansprechpartner

Dr. Karl Schulmeister  
Prüfstelle für Laser, LED & Lampen  
Seibersdorf Labor GmbH  
karl.schulmeister@seibersdorf-laboratories.at

DI Dr. Emmerich Kitz  
Abteilung für Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung  
AUVA  
emmerich.kitz@auva.at

DI Helmut Brusl  
Abteilung für Unfallverhütung und Berufskrankheitenbekämpfung  
AUVA  
helmut.brusl@auva.at

dieses Merkblatt entstand in Zusammenarbeit von



und



Bitte wenden Sie sich in Fragen des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit bei der Arbeit an den Unfallverhütungsdienst der für Sie zuständigen Landesstelle

### **Wien, Niederösterreich und Burgenland**

UVD der Landesstelle Wien  
Webergasse 4, 1203 Wien  
Telefon +43 1 331 33-0

UVD der Außenstelle St. Pölten  
Kremser Landstraße 8  
3100 St. Pölten  
Telefon +43 2742 25 89 50-0

UVD der Außenstelle Oberwart  
Hauptplatz 11, 7400 Oberwart  
Telefon +43 3352 353 56-0

### **Salzburg, Tirol und Vorarlberg**

UVD der Landesstelle Salzburg  
Dr.-Franz-Rehrl-Platz 5  
5010 Salzburg  
Telefon +43 662 21 20-0

UVD der Außenstelle Innsbruck  
Ing.-Ettel-Straße 17  
6020 Innsbruck  
Telefon +43 512 520 56-0

UVD der Außenstelle Dornbirn  
Eisengasse 12, 6850 Dornbirn  
Telefon +43 5572 269 42-0

### **Steiermark und Kärnten**

UVD der Landesstelle Graz  
Göstinger Straße 26  
8021 Graz  
Telefon +43 316 505-0

UVD der Außenstelle  
Klagenfurt  
Waidmannsdorfer Straße 35  
9021 Klagenfurt am Wörthersee  
Telefon +43 463 58 90-0

### **Oberösterreich**

UVD der Landesstelle Linz  
Garnisonstraße 5, 4017 Linz  
Telefon +43 732 23 33-0

# Optische Strahlung

## Sicherheits- beurteilung von LEDs – sichtbare Strahlung