

Augensicherheit von Leuchtdioden (LEDs) – Anwendung der aktuellen Normen

Thomas Fischer,
Ingenieurbüro Goebel GmbH, Darmstadt

Leuchtmittel auf LED-Basis ersetzen herkömmliche Lichtquellen bei Beleuchtungsanwendungen, bei Scheinwerfern als auch in Spezialanwendungen. Geringe Quellenausdehnungen bei deutlich höherer Lebensdauer ermöglichen neue Konstruktionen und erschließen neue Anwendungen. Wie sieht es jedoch mit der Augensicherheit insbesondere der leistungsstarken Systeme aus? Welche Normen und Richtlinien sind zu beachten?

In den letzten Jahren sind die Spektren und Lichtausbeuten von Licht emittierenden Dioden (LEDs) in Bereiche vorgestoßen, die sie für viele Beleuchtungsanwendungen interessant machen (s. Beispiel **Bild 1**). Sie können dadurch aber potentiell für das menschliche Auge gefährlich sein. Dem Großteil der Hersteller und Integratoren von LEDs ist diese Tatsache bewusst, jedoch besteht eine erhebliche Unsicherheit darüber, welche Sicherheitsnormen anzuwenden sind, wie die Klassifizierung zu erfolgen hat und welche Sicherheitsvorkehrungen gegebenenfalls zu treffen sind.

1 LED gleich Laser?

Bereits in der seit 1994 gültigen Version der grundlegenden, harmonisierten Lasersicherheitsnorm EN 60825-1 wurden LEDs vom Standpunkt der Strahlungssicherheit explizit den Lasern gleichgestellt [1].

Da die Spektren und Abstrahlleistungen der LEDs lange Zeit nicht in einen gefährlichen Bereich vorgestoßen sind und die – für Laser gedachten – Mess- und Klassifizierungsvorschriften der EN 60825-1 für LEDs nur unzulänglich anwendbar waren, wurde der Tatsache der expliziten Gleichstellung mit Lasern nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Mit stärkeren Lichtausbeuten und höherenergetischen („blauerer“) Spektren der LEDs stoßen heute einige Systeme in Bereiche vor, die potentiell augengefährlich sein können. Erstmals die Version der



Bild 1: Audi A8 Scheinwerfermodul. Rechts Tagfahrlicht bestehend aus fünf Weißlicht-LEDs mit Reflektor. Links konventioneller Xe-Scheinwerfer. Auch LED-Scheinwerfer befinden sich derzeit bereits in der Erprobung (Bild: Hella KGaA Hueck & Co., Lippstadt)

EN 60825-1 von 2001 [2] trägt dem durch Einführung neuer Laser/LED-Schutzklassen und angepassten Messvorschriften Rechnung. Danach sind Laser- und LED-Produkte nach den sieben, teilweise überarbeiteten bzw. neu hinzugekommenen Laserschutzklassen 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4 zu klassifizieren.

Uneingeschränkt als sicher zu betrachten sind ausschließlich Produkte, die in Laserschutzklasse 1 einzustufen sind. Bereits bei Klasse 1M (M steht hier für Magnification = Vergrößerung) können die Leistungsdichten im Auge gefährliche Werte annehmen, wenn die Lichtquelle mit optischen Hilfsmitteln wie Ferngläser oder Lupen betrachtet werden. Die nächsthöheren Klassen 2 und 2M sind nur im sichtbaren Spektralbereich definiert und die Grenz-

werte unterscheiden sich nur für Bestrahlungsdauern über 0,25 s von den Klassen 1/1M, da hier die Vermutung zugrunde gelegt wird, dass das Auge geblendet wird und sich durch Lidschluss- und Abwendreaktionen selbst schützen kann¹.

Die darüber liegenden Klassen 3R, 3B und 4 sind für aktuelle LED-Anwendungen nicht relevant. Ob sie es je sein werden oder können, ist umstritten [4,5,6].

2 Klassifizierung nach EN 60825-1

Die Klassifizierung nach EN 60825-1 erfolgt entsprechend dem Grad der möglichen Gefährdung und muss daher die möglichen Gefährdungs- und Schutzmechanismen des menschlichen Auges berücksichtigen. Daher sind die Grenzwerte zugänglicher

¹ Neuere Untersuchungen [3] zeigen, dass die Schutzfunktion des Lidschlussreflexes bisher weit überschätzt wurde und insbesondere bei Laserstrahlung nahezu wirkungslos ist. Diese neue Erkenntnis dürfte zukünftig Einfluss auf die Definition der Laserschutzklassen 2/2M haben.

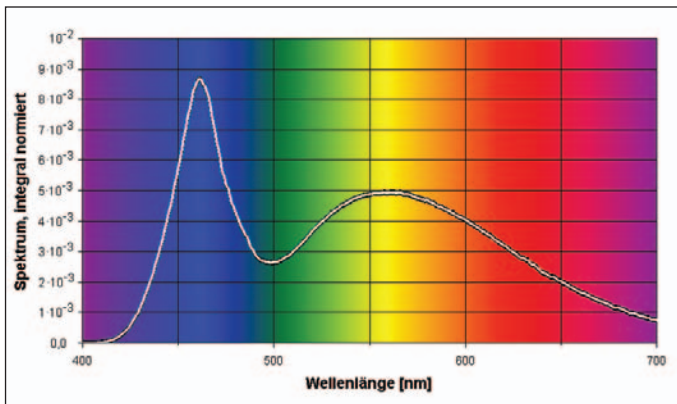


Bild 2: Typisches Spektrum einer Weißlicht-LED. Deutlich zu erkennen ist das Maximum der originären blauen LED. Der langwelligere Spektralanteil oberhalb 500 nm wird durch einen zusätzlichen Fluoreszenzfarbstoff erzeugt. Das Spektrum liegt vollständig im sichtbaren Wellenlängenbereich, der sich von ca. 400 nm bis 700 nm erstreckt.

Strahlung (GZS-Werte) sowie die Messvorschriften von einer Reihe von Einflussfaktoren wie Wellenlänge, Bestrahlungsdauer, Quellgröße und -abstand abhängig. Bei gepulster Strahlung kommen zusätzlich Pulsdauer und Gesamtpulszahl hinzu.

Die GZS-Werte sind für die einzelnen Laserschutzklassen, Zeitmaßstabs- und Wellenlängenbereiche als Bestrahlungsstärke (in W/m^2), Bestrahlung (J/m^2), Leistung (W) oder Energie (J) angegeben und müssen für die einzelne Quelle vorab errechnet werden.

Für kontinuierlich abstrahlende, sichtbare LEDs sind insgesamt sechs GZS-/Messwertpaare zu vergleichen². Für gepulste Quellen ist jedes Paar nach drei Kriterien³ zu bewerten, so dass sich die Anzahl der GZS-/Messwertpaare auf 18 erhöht.

2.1 Breitbandige Strahlungsquellen

Im Gegensatz zu den Lasern strahlen LEDs im allgemeinen ein breites Spektrum ab (**Bild 2**). Die Klassifizierungsregeln der EN 60825-1 sind jedoch für einzelne oder auch mehrere separierbare Laserlinien konzipiert, daher ist es erforderlich die Norm für die Anwendung auf LEDs sinngemäß auszulegen bzw. zu erweitern: Jeder Spektralanteil des ausgesendeten Lichts ist zu vermessen und mit dem

das Integral⁴ – über alle Verhältnisse darf für die Einstufung in die entsprechende Klasse nicht größer als Eins sein. Dies gilt für jedes einzelne o.g. GZS-/Messwertpaar. Solange das gesamte Emissionsspektrum in Spektralbereichen liegt, die in der EN 60825-1 hinsichtlich der Gefährdungsmechanismen zu einem Wellenlängenbereich zusammengefasst sind, kann derart verfahren werden.

Aufwendiger ist die Vorgehensweise, wenn das Emissionsspektrum auf der Grenze zwischen zwei Wellenlängenbereichen liegt. Dann ist es bezüglich der unterschiedlichen Gefährdungsmechanismen zu bewerten, für die meist auch unterschiedliche Messvorschriften gelten.

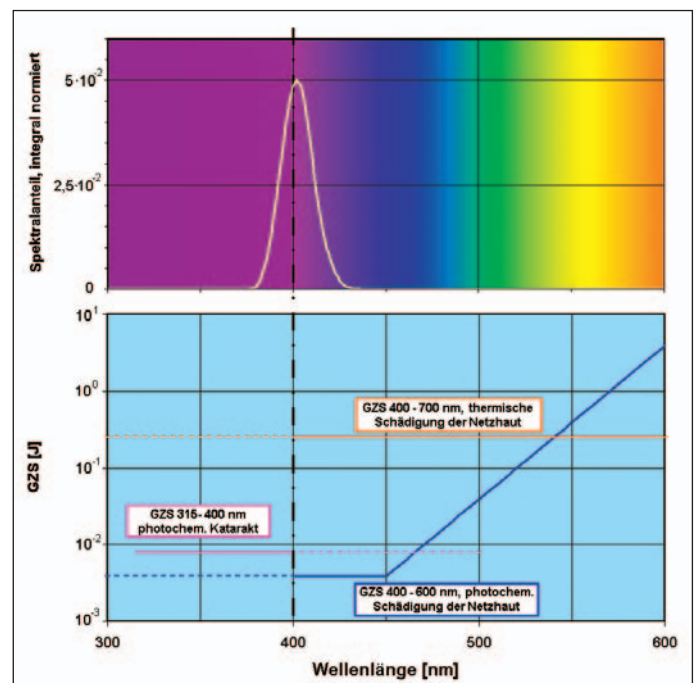
Bild 3: Beispiel einer LED (Mittenwellenlänge ca. 400 nm) auf der spektralen Grenze zwischen zwei Gefährdungsbereichen nach EN 60825-1. Darunter Verlauf der GZS-Werte der beiden Bereiche für eine vorgegebene Quellgröße und eine Bestrahlungszeit von 100 s. Die Textblöcke geben den jeweiligen Gültigkeitsbereich der GZS-Werte und die mögliche Schädigung im Auge an. Gestrichelt dargestellt sind die extrapolierten GZS-Werte. Wird

jeweiligen (im allgemeinen wellenlängenabhängigen) GZS-Wert ins Verhältnis zu setzen. Die Summe – bzw.

Da sich die Gefährdungen an den Wellenlängengrenzen nicht sprunghaft ändern, ist es bei nicht zu breiten Spektren sinnvoll, die GZS-Werte über die Grenze der Wellenlängenbereiche hinaus in den jeweils anderen Bereich zu extrapolieren und das gesamte emittierte Spektrum mit den jeweiligen Messvorschriften beider Bereiche zu bewerten (**Bild 3**). Welches der Ergebnisse dann zur Klassifizierung heranzuziehen ist, hängt vom Verhältnis der Spektralanteile beider Bereiche ab. Bei nahezu gleichen Anteilen, wie in Bild 3 gezeigt, ist die restriktivste Klassifizierung zu verwenden.

3 Klassifizierung nach CIE S 009

Neben der EN 60825-1 existiert seit 2002 die Norm der Internationalen Beleuchtungskommission CIE S009 [7], die sich mit der Strahlungssicherheit nichtkohärenter Quellen beschäftigt. Sie fasst die drei US-amerikanischen ANSI/IESNA-Normen RP-27.1 bis RP-27.3 teilweise zusammen [8].



die gesamte Lampe nach der Gefährdung bzgl. des photochemischen Katarakts (unter 400 nm) beurteilt, dann kann sie – je nach Höhe der gesamten Strahlungsemission – in Klasse 1 einzustufen sein. Da für beide Bereiche verschiedene Messbedingungen anzuwenden sind und der GZS-Wert für photochemischen Netzhautschädigung (oberhalb 400 nm) tiefer liegt, kann sie diesbezüglich in Klasse 1M oder sogar in Klasse 2 einzustufen sein. In einem solchen Fall ist die LED in die höhere (restriktivere) Klasse einzustufen.

² Im sichtbaren Spektralbereich liegen Grenzwerte für die Gefährdungen durch photochemische Prozesse und durch thermische Prozesse vor. Die Messwerte sind mit drei verschiedene Abstands- und Messaperturkombinationen (Abstand: 2000 mm / Aperturdurchmesser: 50 mm; 14-100 mm / 7 mm und 100 mm / 7 mm) zu gewinnen. Für die photochemischen Prozesse ist das Gesichtsfeld zusätzlich durch eine Feldblende zu begrenzen.

³ Jeder Einzelpuls muss den GZS für die Pulsdauer einhalten, die zeitlich gemittelte Strahlung muss den GZS für gesamte Bestrahlungsdauer T einhalten und die Summe aller Pulse innerhalb T muss den GZS für die Impulsfolge einhalten.

⁴ Beim Übergang von einzelnen (Laser-) Linien zu breiten Spektren ist die Summe über die Messwert/GZS-Wert – Verhältnisse durch ein Integral zu ersetzen, das sich über das gesamte Spektrum erstreckt.

Ähnlich wie die EN60825-1 werden auch in der CIE S009 verschiedene Grenzwertfunktionen für verschiedene Wellenlängenbereiche und Schädigungsmechanismen definiert. Die Messvorschriften dieser Norm unterscheiden sich jedoch von denen der EN 60825-1. Insbesondere sind sog. Allgemeingebrauchslampen⁵ in einem Abstand zu vermessen, bei dem sich eine Beleuchtungsstärke von 500 lux einstellt. Durch diese variable Abstandsvorgabe ändern sich die Abbildungsverhältnisse der verwendeten Messsysteme, was zu komplexen Messaufbauten führt.

Die CIE S009 unterteilt Lampen in vier Risikogruppen: Freie Gruppe (kein photobiologische Gefahr) und Risikogruppe 1 bis 3, mit steigendem Gefährdungspotential. Im Gegensatz zu den Normen RP-27.1 bis .3 macht die CIE S009 leider keine Angaben über Sicherheitsmaßnahmen oder Beschilderung für die jeweiligen Klassen.

4 Internationale Sicherheitsnormen für LEDs

International sind nahezu alle Lasersicherheitsnormen direkte Übersetzungen der IEC 60825-1. Das gilt auch für die EN 60852-1.

In den USA existieren daneben weitere Normen und Richtlinien wie die ANSI Z136.1 [9] und die 21 CFR 1040 [10], die sich jedoch beide nicht mit LEDs beschäftigen.

Für LEDs sind somit auch international die IEC 60825-1 und ggf. die RP-27.1 bis .3 anzuwenden.

5 Welche Normen sind in Europa obligatorisch?

Normen sind technische Leitlinien und haben somit zunächst keine rechtlich bindenden Charakter. Erst der Verweis in Gesetzen oder Richtlinien verpflichtet zu deren Anwendung.

Für Geräte und Produkte, die in der Europäischen Gemeinschaft in Verkehr gebracht werden, gilt seit Mai 2004 das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG). Es verbietet das Inverkehrbringen von Produkten, die bei bestimmungsgemäßer Verwendung und bei vorhersehbarer Fehlanwendung gefährlich sein können (§4 Abs. 2 GPSG).

Im GPSG sind alle Sicherheitsrichtlinien genannt, die zu beachten sind. Hierzu gehört u.a. auch die Maschinenrichtlinie

98/37/EG und die Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG, für deren Anwendung die EN 60825-1 gelistet ist.

Da die LEDs in der EN 60825-1 explizit genannt sind, ist diese somit in Europa für LED-Produkte obligatorisch!

6 Folgerungen aus der Klassifizierung nach EN 60825-1

Sicher sind nach der EN 60825-1 ausschließlich Laser- und LED-Produkte, die in Klasse 1 fallen. Bereits bei Klasse 1M kann eine Gefährdung durch Verwendung optischer Hilfsmitteln nicht mehr ausgeschlossen werden.

Produkte, die in Klasse 2 oder höher fallen, sind daher durch einen Warneufkleber (gelbes „Laserwarndreieck“) und eine Klassenbezeichnung zu kennzeichnen⁶. Bei Klasse 1 und 1M reichen nach EN 60825-1 die Angabe der Klasse und die zugehörigen Warnhinweise in der Produktdokumentation.

Beleuchtungsprodukte mit anderen Lichtquellen aber ansonsten vergleichbaren lichttechnischen Daten und damit auch vergleichbaren Gefährdungspotentialen sind nicht nach EN 60825-1 zu klassifizieren. Dies führt bei strenger Auslegung des GPSG in Verbindung mit der EN 60825-1 zu einer „Diskriminierung“ von LED-Produkten. Die vordringliche Aufgabe der Normungsgremien ist es daher zu klären, ob LEDs möglicherweise zu restriktiv beurteilt werden oder das Risiko bei Standardquellen bisher unterschätzt wurde.

7 Ausblick

Aktuell sind mehrere Gremien und Kommissionen damit beschäftigt Normen, Richtlinien und Vorschriften zu erarbeiten, um die Sicherheit im Umgang mit optischer Strahlung zu gewährleisten. Insbesondere soll die explizite Nennung der LEDs in der EN 60825-1 wieder rückgängig gemacht werden. Es ist also zu erwarten, dass die LEDs ggf. gemeinsam mit den sonstigen Quellen nichtkohärenter Strahlung zukünftig durch eine eigene Sicherheitsnorm abgedeckt werden.

Bis diese Neuregelungen greifen, werden – bei der rasanten Entwicklung des LED-Marktes – wohl noch eine ganze Reihe von Produkten nach den aktuellen Regelungen zu klassifizieren sein.

Literaturhinweise:

[1] DIN EN 60825-1:1994 „Sicherheit von Laser-Einrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“

[2] DIN EN 60825-1:2001 = DIN EN 60825-1:1994+A11:1996+A2:2001

[3] H.D. Reidenbach, K. Dollinger, J. Hofmann, „Field trials with low power lasers concerning the blink reflex“, Biomed Tech (Berlin) 2002; 47 Suppl. 1 Pt 2:600-1

[4] International Commission On Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) „Statement on Light-Emitting Diodes (LEDs) and Laser Diodes: Implications for Hazard Assessment“; Health Physics; June 2000, Vol. 78, No. 6

[5] D.H. Sliney, B.E. Stuck, „The Potential Ocular Hazards of LED Emitters“, 2nd CIE Expert Symposium on LED Measurement, Gaithersburg, Maryland, USA, 2001

[6] Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) „LED in der Allgemeinbeleuchtung. Optische Strahlungssicherheit, dargestellt am Beispiel Leuchten“, 2002

[7] CIE S009/G:2002 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“

[8] ANSI/IESNA RP27.1 bis .3 „Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems“

[9] ANSI Z136.1:2000 „American National Standard for Safe Use of Lasers“

[10] 21 CFR 1040 „Performance Standards for Light-Emitting Products“

Ansprechpartner:

Dr. Thomas Fischer
Ingenieurbüro
Goebel GmbH
De-La-Fosse-Weg 26
64289 Darmstadt
Tel. 06151/73470-17
Fax 06151/73470-20

eMail: tfischer@goebel-laser.de
Internet: www.goebel-laser.de



Kurzportrait:

Dr. Thomas Fischer promovierte 1992 an der TH Darmstadt (heute TU) über räumliche Instabilitäten in Excimerlaserplasmen. Nach verschiedenen Stationen – u.a. als Interims-Geschäftsführer eines THD-Spin-Offs – kam er 1998 als freier Mitarbeiter zum Ingenieurbüro Goebel, einem Entwicklungs- und Sachverständigenbüro für Lasertechnik. Er beschäftigt sich dort mit allen Aspekten der Lasersicherheit und ist u.a. Ansprechpartner für die Klassifizierung von LEDs. Seit 2003 ist er zusätzlich Lehrbeauftragter für Laser- und Messtechnik an der FH Darmstadt.