

Prof. Dr. Jürgen Nolting
Prof. Dr.-Ing. Günter Dittmar

BGI 5006 – eine neue Richtlinie für die Bewertung künstlicher optischer Strahlung

Zum Schutz vor Laserstrahlung gibt es seit vielen Jahren in ständig aktualisierter Form nationale und internationale Richtlinien und Normen. Für den Geltungsbereich der Bundesrepublik Deutschland sind hier die Lasersicherheitsnorm DIN EN 60825-1 [1] und die BG-Information 832 [2] zu nennen. Diese Normen und Richtlinien beziehen sich aber nicht auf den Schutz von inkohärenter optischer Strahlung, wie sie z.B. von Heizstrahlern, UV-Speziellampen, Sonnenbänken, Beleuchtungseinrichtungen und Infrarot-Überwachungsscheinwerfern emittiert wird.

Derzeit ist keine anzuwendende Norm bekannt, die explizit vorgibt, wie Scheinwerfer und andere Quellen inkohärenter optischer Strahlung ausgelegt sein müssen, um Augenschädigungen zu vermeiden. Zwar kann man versuchen, hilfsweise zur Bewertung einer Expositionssituation die Lasersicherheitsnormen heranzuziehen, die internationalen Normungsgremien sind aber offensichtlich übereinstimmend der Ansicht, dass diese Normen das Gefährdungspotential durch inkohärente optische Strahlung (insbesondere bei ausgedehnten Strahlerflächen) nur unzureichend und u.U. zu konservativ bewerten [4]. Hier bestand offensichtlich Normungsbedarf. Dies haben auch die Berufsgenossenschaften der Bundesrepublik Deutschland erkannt. Unter Mitarbeit der Autoren wurde in den vergangenen Jahren die BG-Information 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ [3] erarbeitet.

■ 1 Richtlinie für inkohärente optische Strahlung

Mit dem Vorliegen der BG-Information 5006 hat Deutschland eine Vorreiterrolle in der EU eingenommen. Die hier veröffentlichten Grenzwerte und Vorschriften müssen nun als Stand der Technik bei der Bewertung von Expositionssituationen im beruflichen Umfeld herangezogen werden. Die lange Zeit hinderliche Normungslücke ist damit behoben.

Das Schädigungspotential optischer Strahlung ist stark von der Wellenlänge abhängig. Eine erste grobe Einteilung ergibt sich durch die spektral unterschiedlichen Absorptionsgrade der

einzelnen Teile des Auges. So kann aus Abb. 1 entnommen werden, dass eine direkte Schädigung der Netzhaut im gesamten Bereich des sichtbaren Lichts ($0,38 \mu\text{m}$ bis $0,78 \mu\text{m}$) und im nahen Infrarot bis zu einer Wellenlänge von $1,4 \mu\text{m}$ möglich ist.

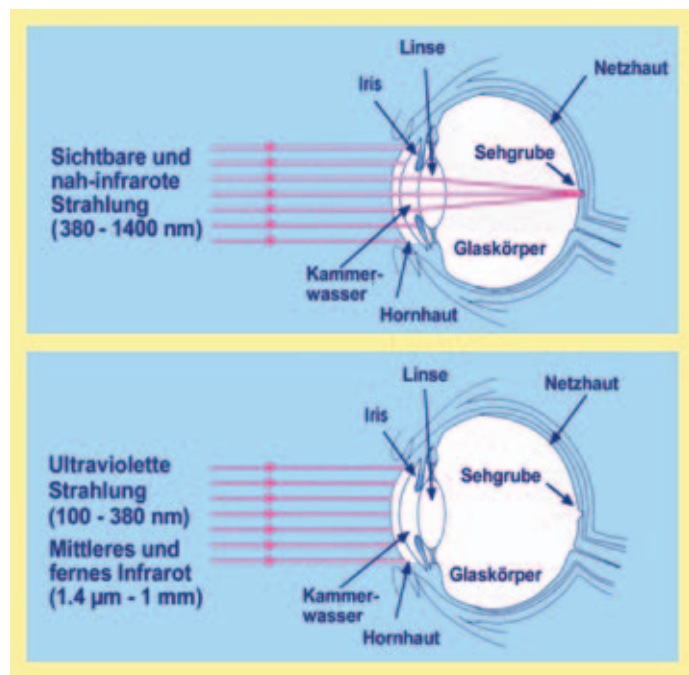


Abb. 1: Einwirkung optischer Strahlung verschiedener Wellenlängen auf das menschliche Auge

Da die Lasernormen normalerweise auf Strahlung einer einzelnen Wellenlänge angewendet werden, sind in ihnen die Grenzwerte in Abhängigkeit von der Wellenlänge definiert. Die BGI 5006 geht einen anderen Weg, der für die Bewertung spektral breitbandiger Scheinwerfer praktikabler ist: Es werden Grenzwerte definiert, die in weiten Bereichen spektral unabhängig sind. Dafür werden aber bei der messtechnischen Ermittlung der Bestrahlungsstärke und Strahldichte spektrale Gewichtungsfunktionen einbezogen, die z.B. durch geeignete Filterkombinationen vor einem Radiometer mit vertretbarem Aufwand realisiert werden können. Diese spektralen Gewichtungsfunktionen entstehen aus der Wellenlängenabhängigkeit der biologischen Wirkung der optischen Strahlung.

Durch Strahlung im sichtbaren und nah-infraroten Spektralbereich kann das Auge auf verschiedene Weise gefährdet werden:

- Zu hohe Bestrahlungsstärke: Schädigung der vorderen Augenpartien (Hornhaut und Linse)
- Zu hohe Strahldichte der Quelle: Lokale thermische Überlastung der Netzhaut
- Zu hohe Strahldichte im blauen Spektralbereich: Photochemische Schädigung der Netzhaut (Blaulichtschädigung).

Die Schädigungen durch diese Mechanismen werden in BGI 5006 separat bewertet und mit Grenzwerten belegt. Hierbei wird berücksichtigt, dass die Wahrscheinlichkeit einer Netzhautschädigung eine starke Wellenlängenabhängigkeit aufweist. Die Strahldichte für diese beiden Schädigungsarten muss daher mit der sog. thermischen Gefährdungsfunktion $R(\lambda)$ und der Blaulichtgefährdungsfunktion $B(\lambda)$ gewichtet werden. Die Abb. 2 zeigt den spektralen Verlauf von $R(\lambda)$ und $B(\lambda)$ [4].

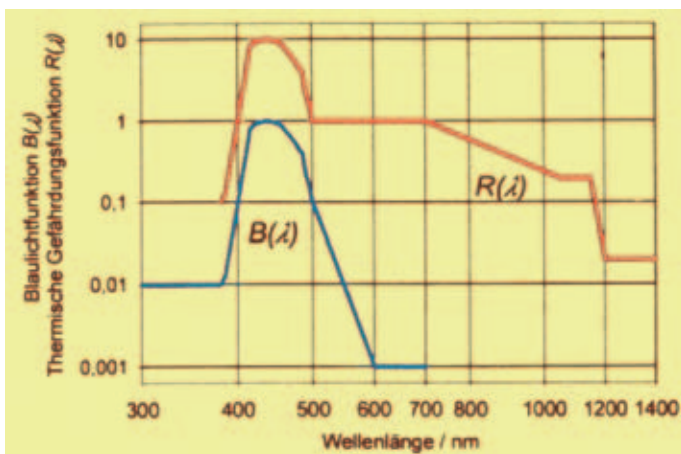


Abb. 2: Spektraler Verlauf der Gefährdungsfunktionen $R(\lambda)$ und $B(\lambda)$ [nach 4]

Die biologischen Wirkungen ultravioletter Strahlung sind vielfältig und oftmals schädigend [4]. Langwellige UV-Strahlung (UV-A: 315-380 nm) bewirkt eine Sofortpigmentierung der Haut ohne vorherige Erythembildung (Sonnenbrand) sowie als Langzeitschaden eine Kataraktbildung in der Augenlinse (grauer Star, Linsentrübung). Beim grauen Star akkumuliert sich die Strahlungswirkung über Jahrzehnte. In Tierversuchen wurde auch gezeigt, dass UV-A-Strahlung Melanome erzeugen kann. Zudem kann UV-A-Strahlung die Bildung der sog. Lichtschwielen der Haut (vermehrte Hornhautbildung) auslösen, die zu vorzeitiger Hautalterung führt. Im UV-B-Bereich (280-315 nm) bewirkt die Strahlungsexposition die Entstehung eines Erythems (Sonnenbrand), Fotokeratitis (Hornhautentzündung), Katarakt (grauer Star) und Hautkrebs. Im UV-C-Bereich (100-280 nm) wird die Strahlung zumeist in einer dünnen Oberflächenschicht in biologischem Gewebe absorbiert – es kommt zu Fotokeratitis und Fotokonjunktivitis (Bindehautentzündung). Bei 193 nm wurden Chromosomenschädigungen beobachtet, sodass auch eine karzinogene Wirkung nicht ausgeschlossen werden kann.

Im UV sind zwei Grenzwerte einzuhalten: Für den UV-A-Bereich wird eine maximale Bestrahlung angegeben, die nicht mit einer Wirkfunktion gewichtet wird. Der Wellenlängenab-

hängigkeit der einzelnen biologischen Wirkfunktionen wird durch einen zweiten Grenzwert Rechnung getragen, der für den gesamten UV-Bereich einzuhalten ist. Dieser Wert definiert eine maximale effektive Bestrahlung, bei deren Bestimmung die spektrale Wirkfunktion $S(\lambda)$, die in Abbildung 3 dargestellt ist, zur Anwendung gelangt.

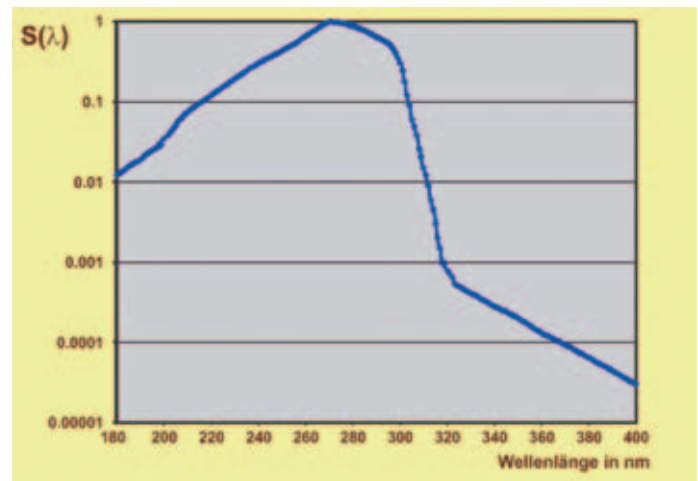


Abb. 3: Spektraler Verlauf der Gefährdungsfunktion $S(\lambda)$ [3]

Unentbehrlich!

Heinz Diepes

Brillenzentrierung

Inform Nr. 9
Eine Beratungsfibel
für den Augenoptiker
56 Seiten

14,90 €
inkl. ges. MwSt., zzgl.
Porto und Verpackung
ISBN 3-922269-23-0

DOZ
VERLAG

DOZ-Verlag
Postfach 120201, 69065 Heidelberg
Tel. (0 62 21) 90 51 70, Fax 90 51 71

SUN-CLICK

Die Innovation von OPTIC-FIX. Mit dem micromagnetischen Glas-to-Glas SUN-CLICK-System von OPTIC-FIX bieten Sie Ihren Kunden die individuelle Korrektionsbrille und Sonnenbrille in einem. Unterstreichen Sie Ihr fachliches Know-how und handwerkliches Können – mit dem SUN-CLICK-System wird jede Brille zum Unikat. Spezial-Micromagnete von OPTIC-FIX mit extrem hoher Haftkraft machen es möglich: mit einem „Click“ sitzt das Sonnenglas perfekt auf dem Korrektionsglas!

www.optic-fix.de
Tel: 069.90025833
Fax: 069.791225663



PK-Anzeige

2 Bewertungsgrößen

Die restriktivste der für eine Strahlungsexposition zutreffenden Bewertungen bestimmt die Gefährdung durch die Strahlungsquelle.

Die Grenzwerte für das Auge hängen teilweise von der Expositionsdauer ab. Bei der Bewertung der thermischen Netzhautgefährdung geht auch noch die Winkelausdehnung der Quelle in den Grenzwert ein: Hier ist in die Beziehungen zur Berechnung des Grenzwertes der Strahldichte L_R ein Korrekturterm C_α eingefügt, der den Grenzwert abhängig von der Winkelgröße α der Quelle verändert, da die Temperaturerhöhung auf der Netzhaut von der Winkelgröße der Quelle abhängt. Der kleinste bei der Berechnung anwendbare Winkel ist der minimale Grenzwinkel α_{\min} . Sein Wert beträgt 1.5 mrad. Der größte wird als Grenzwinkel α_{\max} bezeichnet. Sein Wert beträgt 100 mrad = 0.1 rad. Die Abhängigkeit des Expositionsgrenzwertes von der Winkelausdehnung der Quelle wird durch den Korrekturfaktor C_α beschrieben, der wie folgt bestimmt wird:

$$\begin{aligned} C_\alpha &= \alpha_{\min} && \text{für } \alpha \leq \alpha_{\min} \\ C_\alpha &= \alpha && \text{für } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} \\ C_\alpha &= \alpha_{\max} && \text{für } \alpha > \alpha_{\max} \end{aligned}$$

Die BGI 5006 für inkohärente Strahlung sieht vor, dass für Gefährdung durch Infrarotstrahlung die Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich von 0,78 μm bis 3,0 μm summarisch bewertet werden muss:

$$E_{IR} = \int_{780\text{nm}}^{3000\text{nm}} E_\lambda(\lambda) d\lambda$$

λ : Wellenlänge

E_{IR} : gesamte, ungewichtete Bestrahlungsstärke von 0,78 bis 3,0 μm

$E_\lambda(\lambda)$: spektrale Bestrahlungsstärke

Für die Bewertung der thermischen Netzhautgefährdung geht die Strahldichte der Quelle im Wellenlängenbereich von 0,38 μm bis 1,4 μm gewichtet mit der Gefährdungsfunktionen $R(\lambda)$ in die Bewertung ein:

$$L_R = \int_{380\text{nm}}^{1400\text{nm}} L_\lambda(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

L_R : gesamte mit $R(\lambda)$ gewichtete Strahldichte von 0,38 bis 1,4 μm

$L_\lambda(\lambda)$: ungewichtete spektrale Strahldichte

Bei der Bewertung der photochemischen Netzhautgefährdung wird je nach Winkelausdehnung der Quelle entweder die Strahldichte (für Quellen mit Winkelgrößen α über 11 mrad) oder die Bestrahlungsstärke (für Quellen mit Winkelgrößen unter 11 mrad) im Wellenlängenbereich von 0,38 μm bis 0,6 μm gewichtet mit der Gefährdungsfunktionen $B(\lambda)$ bewertet:

$$\text{Für } \alpha \geq 11 \text{ mrad: } L_B = \int_{380\text{nm}}^{600\text{nm}} L_\lambda(\lambda) B(\lambda) d\lambda$$

$$\text{Für } \alpha < 11 \text{ mrad: } E_B = \int_{380\text{nm}}^{600\text{nm}} E_\lambda(\lambda) B(\lambda) d\lambda$$

L_B : gesamte mit $B(\lambda)$ gewichtete Strahldichte

E_B : gesamte mit $B(\lambda)$ gewichtete Bestrahlungsstärke

Bei der messtechnischen Bewertung muss somit zusätzlich zur absoluten Bestrahlungsstärke an der Hornhaut die mit $R(\lambda)$ und $B(\lambda)$ gewichtete Strahldichte und Bestrahlungsstärke gemessen werden. Dies erfordert speziell angepasste Filter vor dem Messkopf, die den Verlauf der beiden Gewichtungsfunktionen nachbilden. Die messtechnische Bestimmung der Grenzwerte für einen breitbandigen Strahler ist somit relativ einfach, da die Grenzwerte spektral unabhängig sind und die spektrale Bewertung über die Gewichtungsfunktionen des Filters während der Messung erfolgt.

BGI 5006 definiert zusätzlich eine maximale Bestrahlung durch Infrarotstrahlung:

$$H_{IR} = \int_{780\text{nm}}^{3000\text{nm}} H_\lambda(\lambda) d\lambda$$

H_{IR} : gesamte Bestrahlung von 780 bis 3000 nm

$H_\lambda(\lambda)$: spektrale Bestrahlung

Diese Größe wird zur Bewertung der Exposition während eines 8-stündigen Arbeitstages herangezogen, um die Gefahr einer strahlungsinduzierten Linsentrübung zu bewerten.

Die ungewichtete Bestrahlung H_{UV} im UV-A-Bereich ist definiert als

$$H_{UV} = \int_{315\text{nm}}^{400\text{nm}} H_\lambda(\lambda) d\lambda$$

Für die effektive Bestrahlung $H_{UV,eff}$ im UV-Bereich gilt die Bestimmungsgleichung

$$H_{UV,eff} = \int_{180\text{nm}}^{400\text{nm}} H_\lambda(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

3 Grenzwerte

Für alle vorstehend definierten Bewertungsgrößen sind in BGI 5006 Grenzwerte angegeben. Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Grenzwerte, die bei der Exposition des Auges eingehalten werden müssen.

In einem Anhang der BGI 5006 wird ausführlich beschrieben, wie die Grenzwerte für das Auge zu interpretieren sind, wenn die Strahlung gepulst oder zeitlich unterbrochen auftritt.

Tabelle 2 zeigt die Grenzwerte für die Exposition der Haut. Hier werden nur zwei Bewertungsgrößen angegeben: Die spektral ungewichtete Bestrahlung im UV (180 bis 400 nm) und die spektral ungewichtete Bestrahlung im sichtbaren und infraroten Bereich (380 nm bis 1 mm).

Expositionsgrenzwerte für das Auge

Einwirkungsdauer t in s						Jahres- expositions- grenzwert
	< 1,8 · 10 ⁴	1,8 · 10 ⁴ bis 10	10 bis 1000	1000 bis 10000	10000 bis 30000	
Größen und Wichtungs-Funktionen						
$H_{10} = \int_{380}^{1000} H_{\lambda}(t) S(\lambda) d\lambda$	$30 \frac{J}{m^2}$					4000 J/m ²
$H_{UV} = \int_{180}^{400} H_{\lambda}(t) d\lambda$	$10000 \frac{J}{m^2}$					—*)
$I_{0,1} = \int_{0,1}^{10} I_{\lambda}(t) R(\lambda) d\lambda$	$\frac{41,2}{C_{\lambda}} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$\frac{5 \cdot 10^4}{C_{\lambda}} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$	$\frac{2,8 \cdot 10^4}{C_{\lambda}} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$			—*)
Für $\sigma \geq 0,011$ rad: $I_{0,1} = \int_{0,1}^{10} I_{\lambda}(t) R(\lambda) d\lambda$	$\frac{1 \cdot 10^4}{I} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$			$100 \frac{W}{m^2 \cdot sr}$		—*)
Für $\sigma < 0,011$ rad: $I_{0,1} = \int_{0,1}^{10} I_{\lambda}(t) R(\lambda) d\lambda$	$\frac{100}{I} \frac{W}{m^2 \cdot sr}$			$0,01 \frac{W}{m^2 \cdot sr}$		—*)
$E_{0,1} = \int_{0,1}^{10} E_{\lambda}(t) d\lambda$	18000 r ¹⁰ $\frac{W}{m^2}$			—*)	—*)	—*)
$H_{0,1} = \int_{0,1}^{10} H_{\lambda}(t) d\lambda$	$3 \cdot 10^4 \frac{J}{m^2}$			—*)	—*)	—*)

*) ist nicht erforderlich

Tab. 1: Die wichtigsten Expositionsgrenzwerte für das Auge

Expositionsgrenzwerte für die Haut

Einwirkungsdauer t in s			Jahres- expositions- grenzwert
	< 10	10 bis 30000	
Größen und Wichtungs-Funktionen			
$H_{0,1} = \int_{0,1}^{10} H_{\lambda}(t) d\lambda$	$30 \frac{J}{m^2}$		4000 J/m ²
$H_{UV} = \int_{180}^{400} H_{\lambda}(t) d\lambda$	18000 r ¹⁰ $\frac{J}{m^2}$	—*)	—*)

*) ist nicht erforderlich

Tab. 2: Expositionsgrenzwerte für die Haut

4 Fazit

Mit dem Vorliegen der neuen BG-Information 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ stehen alle Informationen zur Verfügung, die erforderlich sind, eine Expositionssituation durch optische Strahlung inkohärenter Quellen sicherheitstechnisch zu bewerten. Die BGI 5006 ist anwendbar bei sichtbaren und unsichtbaren Lampen, Scheinwerfern, Beleuchtungseinrichtungen in der Augenoptik, für die industrielle Bildverarbeitung und den Überwachungsbereich, LED-Strahlern sowie UV-Strahlern.

Ohne eine konkrete Messung der einzelnen Bewertungsgrößen, die in BGI 5006 vorgegeben sind, kann keine sicherheitstechnische Bewertung erfolgen. Modellrechnungen auf der Basis vereinfachender Annahmen sind üblicherweise nicht ausreichend. So ergeben sich in der Praxis zumeist kompliziertere geometrische Verteilungen der Strahldichte, die rechnerisch nur näherungsweise durch entsprechend geformte Ersatzflächen berücksichtigt werden können.



Abb. 4: Warnsymbol W 32 „Warnung vor infraroter oder ultravioletter Strahlung“

Mit der neuen BG-Information 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ wird die Bewertung inkohärenter optischer Quellen auf eine solide Basis gestellt. Das neue Kennzeichen W 32 „Warnung vor infraroter oder ultravioletter Strahlung“ (Abb. 4) wird uns im Berufsalltag vielleicht in Zukunft häufiger begegnen.

Anschrift der Autoren:

**Prof. Dr. Jürgen Nolting,
Prof. Dr.-Ing. Günter Dittmar,
FH Aalen – Studiengang Augenoptik,
Gartenstraße 135, 73430 Aalen**

Literatur

- [1] DIN: „DIN EN 60825-1: Sicherheit von Lasereinrichtungen, Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“, Deutsches Institut für Normung und Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2003
- [2] BGI 832: Betrieb von Lasereinrichtungen, Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2) auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach DIN EN 60825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11, Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln (April 2003)
- [3] BGI 5006: Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung: Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln (Oktober 2004), Quelle: http://www.bgfe.de/bilder/pdf/bgi_5006_a01-2005.pdf
- [4] Sutter, E.W.: Schutz vor optischer Strahlung. VDI-Schriftenreihe 104, VDE Verlag GmbH Berlin 2002, 2. Auflage

Head-Light-Set 3000

Band-Messbrillen

+ ohne lästige Druckstellen
+ universell einstellbar

www.sehen-mosch.de

