

Anwendung von Grenzwerten für Expositionen durch inkohärente optische Strahlung

Ausgabe September 2008

Übersicht

Die im Folgenden beschriebenen Empfehlungen gelten für optische Strahlenexpositionen durch künstliche Strahlenquellen, nicht für Expositionen durch die Sonne. Für die Beurteilung von beruflichen Strahlenexpositionen durch inkohärente ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung werden vom BGIA die in der BG-Information BGI 5006 „Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung“ [1] genannten Grenzwerte zugrunde gelegt. Sie basieren auf den Empfehlungen der Internationalen Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) für UV-Strahlung [2] und für sichtbare und infrarote Strahlung [3, 4], gehen aber in einigen Fällen darüber hinaus.

Zur Bewertung von sichtbaren Strahlenexpositionen, die zu fotochemischen Netzhautschädigungen (der sog. Blaulichtgefährdung) führen können, wird die ICNIRP-Empfehlung für sichtbare und infrarote Strahlung [3] herangezogen. Sie ist in diesem Fall besser geeignet als die Festlegung in der BGI 5006.

Für die Bewertung von sichtbaren und infraroten Strahlungsexpositionen der Haut berücksichtigt das BGIA in Abweichung von der BGI 5006 und von der ICNIRP-Empfehlung von 1997 nur den Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 µm. Dieser Bereich ist für die üblichen Temperaturstrahler ausreichend. In vielen Fällen reicht sogar eine Berücksichtigung des Wellenlängenbereichs von 380 bis 3.000 nm.

Zur Bewertung von IR-Strahlenexpositionen der Haut, die länger als 10 s dauern, gibt es keine Grenzwerte in der BGI 5006 und der ICNIRP-Empfehlung für sichtbare und infrarote Strahlung [3]. Um in diesem Fall eine Bewertung durchführen zu können, wird die DIN 33403-3 [6] herangezogen. In ihr ist eine Grafik enthalten, die den Zusammenhang zwischen Wärmestrahlungsexpositionen und dem Auftreten von Schmerzempfindungen zeigt.

Wenn die EU-Richtlinie „Künstliche optische Strahlung“ [2006/25/EG] [6] durch eine Verordnung in deutsches Recht umgesetzt wird, werden die darin festgelegten Grenzwerte rechtsverbindlich. Nach dem jetzigen Stand wird es aber auch darin Lücken geben, so dass auch weiterhin zusätzliche Quellen herangezogen werden müssen. Diese BGIA-Empfehlung wird entsprechend angepasst.

1 Ultraviolette Strahlung

- a) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz vor akuten Schäden der Augen und der Haut durch die mit der spektralen Wirksamkeit $S(\lambda)$ bewertete UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm (UV-A/B/C) während einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden ein Grenzwert für die effektive Bestrahlung von

$$H_{\text{eff}}(\text{GW}) = 30 \text{ J/m}^2 \quad (\text{Tagesexpositions-grenzwert}).$$

- b) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz vor akuten Schäden der Augen durch die unbewertete UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm (UV-A) während einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden zusätzlich ein Grenzwert für die Bestrahlung von

$$H(\text{GW}) = 10.000 \text{ J/m}^2 \quad (\text{Tagesexpositions-grenzwert}).$$

Die Tagesexpositions-grenzwerte a) und b) zum Schutz der Augen und der Haut gelten:

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann ist die Gesamtdosis zu bestimmen und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8-h-Tagesexpositions-grenzwerte nicht überschritten werden.
2. zum Schutz vor akuten Schädigungen (z. B. Fotokeratitis) des Auges (Grenzwerte a) und b)) und der Haut (z. B. UV-Erythem, Grenzwert a)).

- c) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz vor langfristigen Schäden der **Augen** und der **Haut** durch die mit der spektralen Wirksamkeit $S(\lambda)$ bewertete UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm (UV-A/B/C) während aller Arbeitstage eines Jahres ein Grenzwert für die effektive Bestrahlung von

$$H_{\text{eff}}(\text{GW}) = 4.000 \text{ J/m}^2 \quad (\text{Jahresexpositions-grenzwert}).$$

Der Jahresexpositions-grenzwert c) gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
2. für UV-Einwirkungen an allen Arbeitstagen im Zeitraum eines Jahres (nicht auf ein Kalenderjahr bezogen)
3. zur Begrenzung des Risikos von langfristigen Schädigungen der Haut (z. B. Hautalterung, Hautkrebs) und der Augen (z. B. Katarakt).

Anmerkung: Da eine langjährige UV-Strahlenexposition Hautkrebs hervorrufen kann, wird empfohlen, nicht nur den Jahresgrenzwert einzuhalten, sondern darüber hinaus die UV-Strahlenexposition so niedrig wie möglich zu halten (Dosisminimierung).

2 Sichtbare Strahlung

- a) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz der **Augen** vor einer **thermischen Netzhautgefährdung** ein Grenzwert für die mit der spektralen Wirksamkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$ bewertete Strahldichte im Wellenlängenbereich 380 bis 1.400 nm bei Expositionsdauern länger als 10 s für die effektive Strahldichte L_R von

$$L_R(\text{GW}) = (28.000/C_\alpha) \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr}) \quad \text{für } t_{\text{exp}} > 10 \text{ s}$$

Dabei ist C_α ein Korrekturfaktor, der die Bildgröße α der Quelle auf der Netzhaut berücksichtigt. Dabei gilt:

$$\begin{aligned} C_\alpha &= 0,0015 && \text{für: } \alpha \leq 0,0015 \text{ rad} \\ C_\alpha &= \alpha \text{ (Zahlenwert des in rad angegebenen } \alpha) && \text{für: } 0,0015 \text{ rad} < \alpha \leq 0,1 \text{ rad} \\ C_\alpha &= 0,1 && \text{für: } \alpha > 0,1 \text{ rad} \end{aligned}$$

Für Expositionsdauern zwischen 18 μs und 10 s gilt als Grenzwert für die mit der spektralen Wirksamkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$ bewertete Strahldichte L_R im Wellenlängenbereich 380 bis 1.400 nm

$$L_R(\text{GW}) = (50.000/(C_\alpha \cdot t_{\text{exp}}^{0,25})) \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr}) \quad \text{für } 18 \mu\text{s} < t_{\text{exp}} \leq 10 \text{ s}$$

Für Expositionsdauern von kleiner als 18 μs gilt als Grenzwert für die mit der spektralen Wirksamkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$ bewertete Strahldichte L_R im Wellenlängenbereich 380 nm bis 1.400 nm

$$L_R(\text{GW}) = (41,2/(C_\alpha \cdot t_{\text{exp}}^{0,9})) \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr}) \quad \text{für } t_{\text{exp}} \leq 18 \mu\text{s}$$

- b) Nach den Grenzwertempfehlungen der ICNIRP [3] ist zur Beurteilung einer **fotochemischen Netzhautgefährdung** (Blaulichtgefährdung) der **Augen** die wirksame Strahldichte L_B für die Gefährdung durch Blaulicht zu ermitteln. Sie ist die mit der spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 700 nm bewertete Strahldichte L . Liegt die Expositionsdauer während einer Arbeitsschicht bei 10.000 s oder darüber, so ist der Grenzwert der wirksamen Strahldichte L_B für die Gefährdung durch Blaulicht

$$L_B(\text{GW}) = 100 \text{ W}/(\text{m}^2\text{sr}) \quad \text{für } t_{\text{exp}} \geq 10.000 \text{ s}$$

Liegt die über eine Arbeitsschicht addierte Expositionszeit unter 10.000 s, dann ist die für die Gefährdung durch Blaulicht wirksame Strahldichtedosis $G_B = L_B \cdot t_{\text{exp}}$ zu ermitteln. Sie ist das Produkt aus der mit der spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ bewerteten Strahldichte L im Wellenlängenbereich 300 bis 700 nm und der Expositionsdauer t_{exp} . Für verschiedene Tätigkeiten sind alle während einer Arbeitsschicht für die Gefährdung durch Blaulicht ermittelten wirksamen Strahldichtedosen G_B zu addieren. Der Grenzwert beträgt

$$\sum L_B \cdot t_{\text{exp}} (\text{GW}) = 1.000.000 \text{ J}/(\text{m}^2\text{sr}) \quad \text{für } \sum t_{\text{exp}} < 10.000 \text{ s}$$

Für den Fall einer starren Betrachtung kleiner Strahlenquellen mit einer Winkelausdehnung $\alpha < 11 \text{ mrad}$ kann anstelle der Blaulicht bewerteten Strahldichte L_B die Blaulicht bewertete Bestrahlungsstärke E_B zur Beurteilung verwendet werden.

Liegt die Expositionsdauer bei 10.000 s oder darüber, so gilt für E_B , d. h. für die mit der spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ bewertete Bestrahlungsstärke E , ein Grenzwert von

$$E_B \text{ (GW)} = 10 \text{ mW/m}^2 \quad \text{für } t_{\text{exp}} \geq 10.000 \text{ s}$$

Liegt die über eine Arbeitsschicht addierte Expositionsdauer unter 10.000 s, dann ist die für die Gefährdung durch Blaulicht wirksame Bestrahlung $H_B = E_B \cdot t_{\text{exp}}$ zu ermitteln. Sie ist das Produkt aus der mit der spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ bewerteten Bestrahlungsstärke E im Wellenlängenbereich 300 bis 700 nm und der Expositionsdauer t_{exp} . Für verschiedene Tätigkeiten sind alle während einer Arbeitsschicht für die Gefährdung durch Blaulicht ermittelten wirksamen Bestrahlungen E_B zu addieren. Der Grenzwert beträgt

$$\sum E_B \cdot t \text{ (GW)} = 100 \text{ J/m}^2 \quad \text{für } \sum t_{\text{exp}} < 10.000 \text{ s}$$

3 Infrarote Strahlung

- a) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz der Augen vor akuten thermischen Schäden durch IR-Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 bis 3.000 nm bei Expositionsdauern t_{exp} bis zu 1.000 s ein Grenzwert für die Bestrahlungsstärke E_{IR} von

$$E_{\text{IR}} \text{ (GW)} = 18.000 t_{\text{exp}}^{-0,75} \text{ W/m}^2 \quad \text{für } t_{\text{exp}} \leq 1.000 \text{ s}$$

Der Expositionsgrenzwert gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
 2. für IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsdauern bis 1.000 s, bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke
 3. für einmalige (bis zu 1.000 s) oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Bei wiederholten IR-Einwirkungen muss zwischen den Einzeleinwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlungspause soll mindestens 5 Minuten betragen, wenn die Bestrahlungsstärke 25 % des Grenzwertes übersteigt.
 4. für den Schutz vor akuten thermischen Schäden des Auges.
- b) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz der Augen vor langfristigen Schäden (Linsentrübungen) durch IR-Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 bis 3.000 nm während einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden ein Grenzwert für die Bestrahlung H von

$$H_{\text{IR}} \text{ (GW)} = 3 \cdot 10^6 \text{ J/m}^2$$

Der Expositionsgrenzwert gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
2. für einmalige oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann darf dennoch der festgelegte 8-Stunden-Expositionsgrenzwert nicht überschritten werden.

3. zum Schutz vor langfristigen Schädigungen der Augenlinse (Linsentrübungen, Katarakte aufgrund von Kumulationswirkungen mit Latenzzeiten von 10 bis 30 Jahren).
- c) Nach BGI 5006 gilt zum Schutz vor Verbrennungen der Haut durch sichtbare (VIS) und IR-Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 1 mm bei Expositionsdauern t_{exp} bis zu 10 s ein Grenzwert für die Bestrahlung H von
- $$H_{IR} \text{ (GW)} = 18.000 t_{exp}^{0,25} \text{ J/m}^2 \quad \text{für } t_{exp} \leq 10 \text{ s}$$

Der Expositionsgrenzwert gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche VIS/IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
2. für VIS/IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsdauern bis zu 10 s, bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke
3. für einmalige oder wiederholte VIS/IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Bei wiederholten VIS/IR-Einwirkungen muss zwischen den Einzeleinwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlungspause soll mindestens 5 Minuten betragen, wenn der Expositionswert 25% des Grenzwertes übersteigt.
4. zum Schutz vor akuten Verbrennungen der Haut.

Abweichend von der BGI 5006 wird zur Beurteilung des Verbrennungsrisikos der Haut vom BGIA nur der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 μm berücksichtigt. Dies ist ausreichend, da bei üblichen thermischen Strahlenquellen im Wellenlängenbereich zwischen 20 μm und 1 mm keine wesentliche Emission auftritt. Zeigt das gemessene Strahlungsspektrum, dass der Anteil von IR-Strahlung mit Wellenlängen über 3 μm an der Gesamt-Strahlungsemission gering ist, dann wird nur der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 μm berücksichtigt.

- d) Zum Schutz der Haut vor Verbrennungen durch VIS/IR-Expositionen, die länger als 10 s dauern, gibt es weder in der BGI 5006 noch in den ICNIRP-Empfehlungen von 1997 [3] einen Grenzwert. Zur Beurteilung solcher Expositionen zieht das BGIA die DIN 33403-3 [4] heran. Das Bild 5 der Norm zeigt eine Grafik, in der die Schmerzgrenze der unbedeckten Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke E und der Expositionszeit t_{exp} bis zu 1.000 Sekunden dargestellt ist. Die Grafik ist im Folgenden abgebildet.



Abb.: Schmerzgrenze der unbedeckten Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke E und der Expositionszeit t_{exp} . Entnommen der DIN 33403-3, Bild 5

Man kann davon ausgehen, dass im Allgemeinen die Verbrennung der Haut mit einer Schmerzempfindung verbunden ist. Liegt die ermittelte Bestrahlungsstärke E im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 μm bei der zugehörigen Expositionszeit t_{exp} unterhalb der in der Grafik dargestellten Schmerzkurve, ist nicht mit einer Verbrennung der Haut zu rechnen. Liegt sie im schraffierten Bereich oder darüber, dann muss mit einer Verbrennung gerechnet werden.

Die Beurteilung gilt

1. für Einwirkungen durch künstliche VIS/IR-Strahlungsquellen am Arbeitsplatz
2. für VIS/IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsdauern länger als 10 s, bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke
3. für einmalige oder wiederholte VIS/IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Bei wiederholten VIS/IR-Einwirkungen muss zwischen den Einzeleinwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlungspause soll mindestens 5 Minuten betragen, wenn der Expositionswert 25 % des Grenzwertes übersteigt.
4. zum Schutz vor akuten Verbrennungen der Haut.

Auch bei der Anwendung der DIN 33403-3 wird vom BGIA nur der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20 μm berücksichtigt. Zeigt das gemessene Strahlungsspektrum, dass der Anteil von IR-Strahlung mit Wellenlängen über 3 μm an der Gesamt-Strahlungsemission gering ist, dann wird nur der Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 μm berücksichtigt.

Quellenverzeichnis

- [1] BG BG-Informationen BGI 5006: Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung (BGI 5006). Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, Oktober 2004
- [2] ICNIRP: Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), Health Physics Vol. 87 (2004), No. 2, pp. 171-186, 2004
- [3] Guidelines on limits of exposure to broadband incoherent optical radiation (0,38 to 3 μm); International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics Vol. 73 (1997), No. 3, pp. 539-554, September 1997
- [4] ICNIRP: Statement on Far Infrared Radiation Exposure; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics Vol. 91, No. 6, pp. 630-645, Dezember 2006
- [5] E DIN 33403-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung – Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße, Entwurf (E März 2003.06). Beuth, Berlin 2006
- [6] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG),). Amtsblatt der Europäischen Union, L114/38 vom 27.4.2006

Autor: Dr. Harald Siekmann
BGIA – Institut für Arbeitsschutz, Sankt Augustin