

Berufsgenossenschaftliche
Informationen für Sicherheit und
Gesundheit bei der Arbeit

BGI 5006

BG-Information

Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung

vom Oktober 2004

BGI 5006

Vorbemerkung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Begriffsbestimmungen	5
3 Expositionsgrenzwerte	5
3.1 Anwendung der Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung	5
3.2 Bezeichnungen der Basis-Berechnungsformeln	6
3.3 Basis-Berechnungsformeln	8
3.4 Winkelausdehnung der Quelle	9
3.5 Expositionsgrenzwerte für ultraviolette Strahlung (100 nm bis 400 nm)	10
3.6 Expositionsgrenzwerte für sichtbare und infrarote Strahlung (380 nm bis 1 mm)	16
3.7 Spektrale Wichtungsfaktoren für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautgefährdung	20
3.8 Übersicht über die wichtigsten Expositionsgrenzwerte in Tabellenform	22
Anhang 1: Bestimmung des Expositionsbereiches am Beispiel eines Strahlerprüfraums bei Bestrahlung und UV-Dosisgrenzwert	25
Anhang 2: Biologische Wirkungen optischer Strahlung	27
Anhang 3: Beispiel für die Kennzeichnung eines Bereiches, in dem der Grenzwert für UV-Strahlung nach 10 Minuten über- schritten wird	30
Anhang 4: Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen und die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten	31
Anhang 5: Vereinfachte Gefährdungsermittlung für LED, die nicht klassifiziert sind	41
Anhang 6: Muster einer Betriebsanweisung	45
Anhang 7: Zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung	46
Anhang 8: Empfehlung zur Auswahl von Schutzbrillen bei Einwirkung sichtbarer Strahlung	57
Anhang 9: Vorschriften und Regeln	58

BGI 5006

Berufsgenossenschaftliche Informationen (BG-Informationen) enthalten Hinweise und Empfehlungen, die die praktische Anwendung von Regelungen zu einem bestimmten Sachgebiet oder Sachverhalt erleichtern sollen.

Diese BG-Information wurde von der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik auf Grundlage des Abgestimmten Fachausschussentwurfs der Unfallverhütungsvorschrift „Künstliche optische Strahlung“ (BGV B9) erstellt.

Vorbemerkung

Die in dieser BG-Information enthaltenen Expositionsgrenzwerte entsprechen den Werten des derzeit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit zugeleiteten Abgestimmten Fachausschussentwurfs der Unfallverhütungsvorschrift „Künstliche optische Strahlung“ (BGV B9) und zugehöriger BG-Regel.

Die Expositionsgrenzwerte entsprechen weitgehend den internationalen Empfehlungen der WHO, ICNIRP.

Diese BG-Information soll eine Gefährdungsermittlung bei Einwirkung von künstlicher inkohärenter optischer Strahlung ermöglichen; wenn diese durchgeführt werden muss. Bei Schweißarbeitsplätzen z.B. muss diese Gefährdungsermittlung nicht durchgeführt werden, da in der Regel eine Gefährdung besteht und Schutzmaßnahmen entsprechend des Kapitels 2.26 „Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren“ der BG-Regel „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (BGR 500) zu treffen sind.

Ferner sollten diese Grenzwerte nur bis zur Inkraftsetzung einer entsprechenden Arbeitsschutzvorschrift (Verordnung, Unfallverhütungsvorschrift) Anwendung finden.

In diese BG-Information wurde zusätzlich ein Anhang 8 „Empfehlung zur Auswahl von Schutzbrillen bei Einwirkung sichtbarer Strahlung“ aufgenommen.

1 Anwendungsbereich

- 1.1 Diese BG-Information findet Anwendung auf die Gefährdungsermittlung künstlicher inkohärenter optischer Strahlung (100 nm bis 1 mm).

Behandelt werden in dieser BG-Information die unmittelbaren Gefährdungen.

- 1.2 Diese BG-Information findet keine Anwendung auf Laserstrahlung.

2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser BG-Information werden folgende Begriffe bestimmt:

1. **Optische Strahlung** ist die elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm. Zur optischen Strahlung zählen ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung.
2. **Sichtbare Strahlung (VIS-Strahlung)** ist die optische Strahlung, die unmittelbar einen visuellen Eindruck hervorrufen kann. Dies ist Strahlung im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm.
3. **Ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung)** ist die optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm.
4. **Infrarote Strahlung (IR-Strahlung)** ist die optische Strahlung im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm.
5. **Künstliche optische Strahlung** ist die optische Strahlung von künstlichen Quellen.
6. **Expositionsgrenzwert** ist der maximal zulässige Wert für die Einwirkung optischer Strahlung auf die Augen oder die Haut.

3 Expositionsgrenzwerte

3.1 Anwendung der Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung

Es ist zu prüfen, ob eine Einwirkung auf die Augen oder die Haut vorliegt. Liegt eine Einwirkung nur auf die Haut vor (Augen sind geschützt), so sind nur diese Expositionsgrenzwerte zu berücksichtigen.

BGI 5006

In der Regel müssen alle Expositionsgrenzwerte (bzw. abgeleiteten Größen) der Abschnitte 3.5 bis 3.8 auf ihre Einhaltung überprüft werden.

Bei der Beurteilung der künstlichen optischen Strahlung hinsichtlich der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte muss geprüft werden, ob die Einwirkung der optischen Strahlung dauernd (wiederkehrend über das Jahr) vorliegt oder nicht. Liegt eine wiederkehrende Strahlung über das Jahr vor, so müssen im Wellenlängenbereich (180 nm bis 400 nm) zusätzlich die Jahresgrenzwerte berücksichtigt werden.

Bei gepulster Strahlung liegen zurzeit keine ausreichenden Kenntnisse international vor. Zur Berechnung der Expositionsgrenzwerte ist Anhang 7 dieser BG-Information zu beachten. Bei LEDs, die gepulst sind, sollte die Bestimmung des Expositionsgrenzwertes nach der BG-Information „Betrieb von Lasereinrichtungen“ (BGI 832) erfolgen.

3.2 Bezeichnungen der Basis-Berechnungsformeln

Bezeichnungen:

Zeichen	Bedeutung	Einheit
$B(\lambda)$	relative spektrale Wirksamkeit für Blaulicht-gefährdung	–
C_5	Impulsreduktionsfaktor	–
C_α	Korrekturfaktor	rad
E	Bestrahlungsstärke	$W \cdot m^{-2}$
E_B	Effektive Blaulicht-Bestrahlungsstärke	$W \cdot m^{-2}$
E_m	mittlere Bestrahlungsstärke	$W \cdot m^{-2}$
E_{eff}	Effektive Bestrahlungsstärke	$W \cdot m^{-2}$
E_{IR}	Bestrahlungsstärke für infrarote Strahlung	$W \cdot m^{-2}$
$E_{IR(GW)}$	Expositionsgrenzwert der Bestrahlungsstärke für infrarote Strahlung	$W \cdot m^{-2}$
$E_\lambda(\lambda)$	spektrale Bestrahlungsstärke	$W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$
H	Bestrahlung	$J \cdot m^{-2}$

Zeichen	Bedeutung	Einheit
H_{eff}	Effektive Bestrahlung	$J \cdot m^{-2}$
$H_{\text{eff(GW)}}$	Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung	$J \cdot m^{-2}$
$H_{\text{eff(JGW)}}$	Jahresexpositionsgrenzwert der Bestrahlung	$J \cdot m^{-2}$
H_{EI}	Bestrahlung eines Einzelimpulses	$J \cdot m^{-2}$
$H_{\text{(GW)}}$	Tagesexpositionsgrenzwert der Bestrahlung	$J \cdot m^{-2}$
$H_{\text{IR(GW)}}$	Expositionsgrenzwert der Bestrahlung für infrarote Strahlung	$J \cdot m^{-2}$
L	Strahldichte	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
L_B	Effektive Strahldichte für Blaulichtgefährdung	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
L_{EI}	Strahldichte eines Einzelimpulses	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
L_{eff}	Effektive Strahldichte	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
L_m	mittlere Strahldichte	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
L_R	Effektive Strahldichte für die thermische Netzhautgefährdung	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
$L_{B(GW)}$	Expositionsgrenzwert für die effektive Strahldichte für die Blaulichtgefährdung	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
$L_{R(GW)}$	Expositionsgrenzwert für die effektive Strahldichte zum Schutz der Augen vor der thermischen Netzhautgefährdung	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
$L_\lambda(\lambda)$	spektrale Strahldichte	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$
N	Zahl der Impulse	-
$R(\lambda)$	relative spektrale Wirksamkeit für die thermische Netzhautgefährdung	-
$S(\lambda)$	relative spektrale Wirksamkeit	-
T	Einwirkungsdauer	s
T_{EI}	Einzelimpulsdauer	s
T_{IF}	Dauer der Impulsfolge	s
$X_{\text{(GW)}}$	Index für den jeweiligen Expositionsgrenzwert, d. h. mit dem Index „GW“ werden die jeweiligen Grenzwerte gekennzeichnet	-
α	Winkelausdehnung der Quelle	rad
α_{min}	Kleinster Grenzwinkel	rad
α_{max}	größter Grenzwinkel	rad
λ	Wellenlänge	nm

BGI 5006

3.3 Basis-Berechnungsformeln

Im Folgenden werden die Basis-Berechnungsformeln angegeben:

Die effektive Bestrahlungsstärke E_{eff} ergibt sich im Wellenlängenbereich von λ_1 bis λ_2 aus den spektralen Bestrahlungsstärken $E_\lambda(\lambda)$ und der relativen spektralen Wirksamkeiten $S(\lambda)$ durch:

$$(1) E_{\text{eff}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$$

Die Bestrahlung H ergibt sich aus der Bestrahlungsstärke E und der Einwirkungsdauer t zu:

$$(2) H = \int_t E(t) dt$$

Die effektive Bestrahlung H_{eff} ergibt sich aus der effektiven Bestrahlungsstärke E_{eff} und der Einwirkungsdauer t zu:

$$(3) H_{\text{eff}} = \int_t E_{\text{eff}} dt$$

Die effektive Bestrahlung H_{eff} kann auch aus der spektralen Bestrahlung $H_\lambda(\lambda)$ bestimmt werden:

$$(4) H_{\text{eff}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_\lambda(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda$$

Die Bestrahlung H lässt sich aus der spektralen Bestrahlung $H_\lambda(\lambda)$ berechnen:

$$(5) H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_\lambda(\lambda) d\lambda$$

Die effektive Strahldichte L_R für die thermische Netzhautgefährdung berechnet sich aus der spektralen Strahldichte $L_\lambda(\lambda)$ und der relativen spektralen Wirksamkeit für thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$ zu:

$$(6) L_R = \int_{380 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_\lambda(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda$$

Die effektive Strahldichte für Blaulichtgefährdung L_B berechnet sich aus der spektralen Strahldichte $L_\lambda(\lambda)$ und der relativen spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ zu:

$$(7) L_B = \int_{380\text{nm}}^{600\text{nm}} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

Die effektive Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B ergibt sich im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 600 nm aus den spektralen Bestrahlungsstärken $E_\lambda(\lambda)$ und der relativen spektralen Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung $B(\lambda)$ durch:

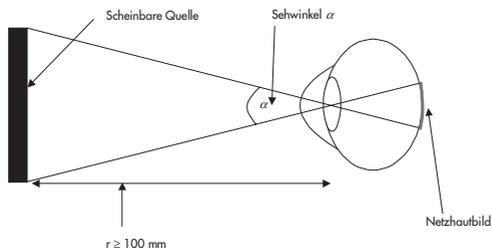
$$(8) E_B = \int_{380\text{nm}}^{600\text{nm}} E_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

Die Bestrahlungsstärke für infrarote Strahlung E_{IR} ergibt sich im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm durch:

$$(9) E_{IR} = \int_{780\text{nm}}^{3000\text{nm}} E_\lambda(\lambda) d\lambda$$

3.4 Winkelausdehnung der Quelle

Im Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 1 400 nm kann die Strahlung auf die Netzhaut fokussiert werden. Die zulässige Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut hängt von der Größe des erzeugten Netzhautbildes ab. Die Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle ist der Winkel, unter dem eine optische Quelle gesehen wird. Bei der Verwendung von Linsen oder Spiegeln ist die durch die optische Abbildung bedingte Winkelausdehnungsveränderung zu beachten und bei der Bestimmung der Grenzwerte zu verwenden (scheinbare Quellengröße).



BGI 5006

Die Expositionsgrenzwerte für den thermischen Netzhautschaden hängen von der Bildgröße der Quelle auf der Netzhaut (Retina) und damit von der Winkelausdehnung ab. Der kleinste bei der Berechnung anwendbare Winkel ist der minimale Grenzwinkel. Er wird mit α_{\min} bezeichnet. Sein Wert beträgt 1,5 mrad. Der größte Winkel wird als maximaler 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:

$$(10) \quad C_\alpha = \alpha_{\min} \quad \text{für } \alpha \leq \alpha_{\min}$$

$$(11) \quad C_\alpha = \alpha \quad \text{für } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$$

$$(12) \quad C_\alpha = \alpha_{\max} \quad \text{für } \alpha > \alpha_{\max}$$

Hierbei sind die Werte von α in rad einzusetzen.

Die Winkelausdehnung von rechteckigen Quellen ist durch den arithmetischen Mittelwert der größten und der kleinsten Winkelausdehnung bestimmt. Winkelausdehnungen über α_{\max} oder unter α_{\min} sind vor der Berechnung auf 100 mrad bzw. 1,5 mrad zu begrenzen.

Die Winkelausdehnung einer Quelle ist für den Ort der auf Grund der zugänglichen Arbeitsbedingung zu erwartenden Einwirkung zu bestimmen. Der kleinste Abstand, bei dem das Auge den Strahl noch fokussieren kann, ist mit ≥ 100 mm (d.h. $r \geq 100$ mm) anzunehmen.

3.5 Expositionsgrenzwerte für ultraviolette Strahlung (100 nm bis 400 nm)

Der ultraviolette Bereich des elektromagnetischen Strahlungsspektrums umfasst den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm. Das obere Ende des Bereichs wird in verschiedenen Publikationen, Normen und Wirkungskurven zwischen 380 nm und 400 nm unterschiedlich angegeben. Die Festlegung von 400 nm in diesem Dokument erfolgt aus praktischen Gründen.

3.5.1 Tagesexpositionsgrenzwerte für Einwirkungen auf die Augen – Bedingungen zu den Abschnitten 3.5.2 und 3.5.3:

Die Tagesexpositionsgrenzwerte für Augeneinwirkungen gelten:

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann ist die Gesamt-Dosis zu bestimmen, und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8-h-Tagesexpositionsgrenzwerte nicht überschritten werden,
3. zum Schutz vor akuten Schädigungen des Auges (z.B. Fotokeratitis, Fotokonjunktivitis).

Für UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen gelten die folgenden Tagesexpositionsgrenzwerte der Abschnitte 3.5.2 und 3.5.3 gleichzeitig.

3.5.2 Tagesexpositionsgrenzwert der effektiven Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ im Bereich 180 nm bis 400 nm

Aus den Expositionswerten ist nach den Gleichungen (1) und (3) oder (4) die effektive Bestrahlung H_{eff} im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$ zu ermitteln. Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ der Tabelle 1 zu entnehmen. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ durch UV-Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm beträgt:

$$(13) H_{\text{eff(GW)}} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

BGI 5006

Tabelle 1:

Relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ für Einwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich zwischen 180 nm und 400 nm

λ in nm	$S(\lambda)$								
180	0,0120	228	0,1740	276	0,9440	324	0,000520	372	0,0000866
181	0,0127	229	0,1820	277	0,9280	325	0,000500	373	0,0000834
182	0,0134	230	0,1900	278	0,9120	326	0,000480	374	0,0000802
183	0,0141	231	0,2000	279	0,8960	327	0,000460	375	0,0000770
184	0,0148	232	0,2100	280	0,8800	328	0,000440	376	0,0000744
185	0,0155	233	0,2200	281	0,8580	329	0,000425	377	0,0000718
186	0,0162	234	0,2300	282	0,8360	330	0,000410	378	0,0000692
187	0,0169	235	0,2400	283	0,8140	331	0,000397	379	0,0000666
188	0,0176	236	0,2520	284	0,7920	332	0,000383	380	0,0000640
189	0,0183	237	0,2640	285	0,7700	333	0,000370	381	0,0000618
190	0,0190	238	0,2760	286	0,7440	334	0,000355	382	0,0000596
191	0,0201	239	0,2880	287	0,7180	335	0,000340	383	0,0000574
192	0,0212	240	0,3000	288	0,6920	336	0,000328	384	0,0000552
193	0,0223	241	0,3120	289	0,6660	337	0,000316	385	0,0000530
194	0,0234	242	0,3240	290	0,6400	338	0,000304	386	0,0000512
195	0,0245	243	0,3360	291	0,6200	339	0,000292	387	0,0000494
196	0,0256	244	0,3480	292	0,6000	340	0,000280	388	0,0000476
197	0,0267	245	0,3600	293	0,5800	341	0,000272	389	0,0000458
198	0,0278	246	0,3740	294	0,5600	342	0,000264	390	0,0000440
199	0,0289	247	0,3880	295	0,5400	343	0,000256	391	0,0000424
200	0,0300	248	0,4020	296	0,5000	344	0,000248	392	0,0000408
201	0,0342	249	0,4160	297	0,4600	345	0,000240	393	0,0000392
202	0,0384	250	0,4300	298	0,4067	346	0,000232	394	0,0000376
203	0,0426	251	0,4475	299	0,3533	347	0,000224	395	0,0000360
204	0,0468	252	0,4650	300	0,3000	348	0,000216	396	0,0000348
205	0,0510	253	0,4825	301	0,2400	349	0,000208	397	0,0000336
206	0,0558	254	0,5000	302	0,1800	350	0,000200	398	0,0000324
207	0,0606	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000192	399	0,0000312
208	0,0654	256	0,5460	304	0,0900	352	0,000184	400	0,0000300
209	0,0702	257	0,5720	305	0,0600	353	0,000176		
210	0,0750	258	0,5980	306	0,0487	354	0,000168		
211	0,0790	259	0,6240	307	0,0373	355	0,000160		

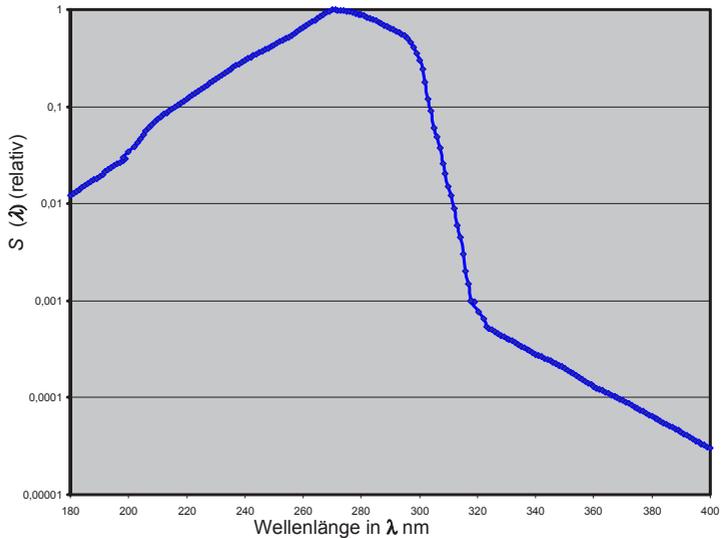
λ in nm	$S(\lambda)$								
212	0,0830	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000154		
213	0,0870	261	0,6820	309	0,0205	357	0,000148		
214	0,0910	262	0,7140	310	0,0150	358	0,000142		
215	0,0950	263	0,7460	311	0,0120	359	0,000136		
216	0,1000	264	0,7780	312	0,0090	360	0,000130		
217	0,1050	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1100	266	0,8480	314	0,0045	362	0,000122		
219	0,1150	267	0,8860	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9240	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1260	269	0,9620	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1320	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000107		
223	0,1380	271	0,9920	319	0,00120	367	0,000103		
224	0,1440	272	0,9840	320	0,00100	368	0,000100		
225	0,1500	273	0,9760	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1580	274	0,9680	322	0,000670	370	0,0000930		
227	0,1660	275	0,9600	323	0,000540	371	0,0000898		

Erläuterungen zur Tabelle 1:

Für UV-Strahlung, deren Wellenlänge nicht in Tabelle 1 angegeben ist, kann der Wert der relativen spektralen Wirksamkeit durch Interpolation (aus den Werten für die nächst kleinere und für die nächst größere Wellenlänge) berechnet werden.

BGI 5006

Im folgenden Diagramm ist die Funktion $S(\lambda)$ grafisch dargestellt:



3.5.3 Tagesexpositionsgrenzwert der Bestrahlung $H_{(GW)}$ im Bereich 315 nm bis 400 nm

Die Bestrahlung H ist nach den Gleichungen (2) oder (5) im Bereich von $\lambda_1 = 315$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm zu ermitteln. Der Tagesexpositionsgrenzwert für die Bestrahlung $H_{(GW)}$ durch UV-Strahlenwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm beträgt:

$$(14) H_{(GW)} = 10\,000 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

3.5.4 Tagesexpositionsgrenzwerte für Einwirkungen auf die Haut (180 nm bis 400 nm)

Der Tagesexpositionsgrenzwert für Hauteinwirkungen gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz
2. für einmalige oder wiederholte UV-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden. Dauert die tägliche Ar-

beitszeit länger als 8 h, dann ist dafür die Gesamt-Dosis zu bestimmen, und es dürfen pro Arbeitstag dennoch die festgelegten 8-Stunden-Tagesexpositionsgrenzwerte nicht überschritten werden

- zum Schutz vor akuten Schädigungen der Haut (z.B. UV-Erythem).

Die effektive Bestrahlung H_{eff} für den Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm ist nach den Gleichungen (3) oder (4) zu ermitteln. Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ der Tabelle 1 zu entnehmen.

Der Tagesexpositionsgrenzwert für die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff(GW)}}$ durch Strahleinwirkung auf die Haut im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm beträgt:

$$(15) H_{\text{eff(GW)}} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

3.5.5 **Jahresexpositionsgrenzwert für Einwirkungen auf die Haut und die Augen (180 nm bis 400 nm)**

Der Jahresexpositionsgrenzwert für Haut- und Augeneinwirkungen gilt:

- für die Exposition durch künstliche UV-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
- für UV-Einwirkungen an allen Arbeitstagen im Zeitraum eines Jahres,
- zur Begrenzung des Risikos von langfristigen Schädigungen der Haut (z.B. Hautalterung, Hautkrebs) und der Augen (z.B. Katarakt).
- Die effektive Bestrahlung H_{eff} für den Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm ist nach den Gleichungen (1) und (3) oder (4) zu bestimmen.

Hierbei sind die Werte für die relative spektrale Wirksamkeit $S(\lambda)$ der Tabelle 1 zu entnehmen. Der Grenzwert für die effektive Bestrahlung für die Dauer eines Jahres (Jahresexpositionsgrenzwert der Bestrahlung) $H_{\text{eff(JGW)}}$ durch UV-Strahleneinwirkungen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 180$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm beträgt:

$$(16) H_{\text{eff(JGW)}} = 4\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

BGI 5006

3.5.6 Expositionsgrenzwerte für den Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 180 nm

Soll außer der Strahlung im Wellenlängenbereich von 180 nm bis 400 nm auch Strahlung von 100 nm bis 180 nm bewertet werden, so ist die Berechnung von H_{eff} nach Gleichung 4 des Abschnittes 5 über den Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 100$ nm bis $\lambda_2 = 400$ nm durchzuführen. Zwischen 100 nm und 180 nm kann für $S(\lambda)$ der Wert für 180 nm konstant über alle Wellenlängen verwendet werden.

Anmerkung:

Strahlung unterhalb von 180 nm wird in Luft sehr stark absorbiert und kommt nur an wenigen Arbeitsplätzen vor. Bewertungen von Strahlungsexpositionen unterhalb von 180 nm sind daher nur sehr selten notwendig. Über die Bewertungsfunktion $S(\lambda)$ liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

3.6 Expositionsgrenzwerte für sichtbare und infrarote Strahlung (380 nm bis 1 mm)

3.6.1 Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor der thermischen Netzhautgefährdung (380 nm bis 1 400 nm)

Um die effektive Strahldichte einer Quelle im Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 1 400 nm zu bestimmen, ist die folgende Wichtungsfunktion für die effektive Strahldichte für die thermische Netzhautgefährdung L_R anzuwenden:

$$(17) \quad L_R = \int_{380\text{nm}}^{1400\text{nm}} L(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda, \quad R(\lambda) \text{ siehe Tabelle 2}$$

Um das Auge vor einer thermischen Netzhautgefährdung zu schützen, gilt für den Expositionsgrenzwert der effektiven Strahldichte $L_{R(\text{GW})}$ für eine Einwirkungsdauer t in s:

$$(18) \quad t > 10 \text{ s} \rightarrow L_{R(\text{GW})} = \frac{2,8 \cdot 10^4}{C_\alpha} \text{ W} \cdot \text{ m}^{-2} \cdot \text{ sr}^{-1}$$

$$(19) \quad 18 \mu\text{s} < t \leq 10 \text{ s} \rightarrow L_{R(\text{GW})} = \frac{5 \cdot 10^4}{C_\alpha \cdot t^{0,25}} \text{ W} \cdot \text{ m}^{-2} \cdot \text{ sr}^{-1}$$

$$(20) \quad t \leq 18 \mu\text{s} \rightarrow L_{R(GW)} = \frac{41,2}{C_\alpha \cdot t^{0,9}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Dabei ist C_α der Korrekturfaktor nach Abschnitt 3.4 in rad.

3.6.2 Expositionsgrenzwerte zum Schutz vor der fotochemischen Netzhautgefährdung durch Blaulicht (Blaulichtgefährdung) des Auges (international: blue-light-hazard) im Wellenlängenbereich zwischen $\lambda_1 = 380 \text{ nm}$ und $\lambda_2 = 600 \text{ nm}$

3.6.2.1 Winkelausdehnung der Quelle $\alpha \geq 0,011 \text{ rad}$

Zunächst muss zur Expositionsgrenzwertbestimmung die effektive Strahlendichte L_B für die Blaulichtgefährdung mittels der folgenden Formel bestimmt werden:

$$(21) \quad L_B = \int_{380 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} L_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda, \quad B(\lambda) \text{ siehe Tabelle 2}$$

Hierbei ist $L_\lambda(\lambda)$ die spektrale Strahlendichte und $B(\lambda)$ die relative spektrale Wirksamkeit für Blaulichtgefährdung. Um das Auge vor dieser Schädigung zu schützen, gilt folgender Expositionswert für die maximal erlaubte effektive Strahlendichte $L_{B(GW)}$ bei einer Einwirkungsdauer von t in s und einer Winkelausdehnung $\alpha \geq 0,011 \text{ rad}$:

$$(22) \quad t \leq 10000 \text{ s} \rightarrow L_{B(GW)} = \frac{1 \cdot 10^6}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

$$(23) \quad t > 10000 \text{ s} \rightarrow L_{B(GW)} = 100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

3.6.2.2 Winkelausdehnung der Quelle $\alpha < 0,011 \text{ rad}$

Um die effektive Blaulicht-Bestrahlungsstärke E_B der Quelle zu bestimmen, muss die folgende Gleichung angewandt werden:

$$(24) \quad E_B = \int_{380 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} E_\lambda(\lambda) \cdot B(\lambda) d\lambda$$

Um das menschliche Auge bei Quellen mit $\alpha < 0,011 \text{ rad}$ (11 mrad) vor einem Blaulichtschaden zu schützen, sind die folgenden expositionszeitabhängigen Grenzwerte einzuhalten:

BGI 5006

$$(25) \quad t \leq 10\,000 \text{ s} \rightarrow E_{\text{B(GW)}} = \frac{100}{t} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}, t \text{ in s}$$

$$(26) \quad t > 10\,000 \text{ s} \rightarrow E_{\text{B(GW)}} = 0,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

3.6.3 Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Augen vor Infrarot-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 780 nm und 3 000 nm

Für IR-Strahleneinwirkung auf die Augen gelten folgende Expositionsgrenzwerte der Abschnitte 3.6.3.1 und 3.6.3.2 gleichzeitig:

3.6.3.1 Expositionsgrenzwerte zum Schutz der Augen vor thermischen Schäden (780 nm bis 3 000 nm)

Der Expositionsgrenzwert gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsauern 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 Einzelwirkungen eine ausreichend lange Abkühlungspause eingelegt werden. Die Abkühlungspause soll mindestens 5 Minuten betragen, wenn der Expositionsgrenzwert 25% des Grenzwertes übersteigt,
4. für den Schutz vor akuten thermischen Schäden des Auges.

Die Bestrahlungsstärke E_{IR} ist nach Gleichung (9) des Abschnittes 3.3 im Bereich von $\lambda_1 = 780 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 3\,000 \text{ nm}$ zu bestimmen. Für Einwirkungsauern t bis zu 1 000 s beträgt der Expositionsgrenzwert für die Bestrahlungsstärke $E_{\text{IR(GW)}}$ durch Strahleneinwirkungen auf die Augen im Wellenlängenbereich von $\lambda_1 = 780 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 3\,000 \text{ nm}$:

$$(27) \quad E_{\text{IR(GW)}} = 18\,000 \cdot t^{-0,75} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

3.6.3.2 Expositionsgrenzwert zum Schutz des Auges vor Linsentrübungen (780 nm bis 3 000 nm)

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 auf Grund von Kumulationswirkungen mit Latenzzeiten von 10 bis 30 Jahren).

Die Bestrahlung H während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h im Bereich von $\lambda_1 = 780 \text{ nm}$ bis $\lambda_2 = 3\,000 \text{ nm}$ ist nach der Gleichung (5) des Abschnittes 3.3 zu bestimmen. Der Grenzwert für die Bestrahlung H während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h durch IR-Strahleneinwirkungen der Augen im Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3 000 nm beträgt:

$$(28) H_{\text{IR(GW)}} = 3 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

3.6.4 Expositionsgrenzwerte im sichtbaren und IR-Spektralbereich für Einwirkungen auf die Haut (380 nm bis 10^6 nm)

Der Expositionsgrenzwert gilt:

1. für Einwirkungen durch künstliche IR-Strahlenquellen am Arbeitsplatz,
2. für IR-Strahleneinwirkungen mit Einwirkungsauern bis 10 s bei variierender Bestrahlungsstärke für den Maximalwert der Bestrahlungsstärke,
3. für einmalige 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 der Expositionswert 25 % des Grenzwertes übersteigt,
4. zum Schutz vor akuten Verbrennungen der Haut.

BGI 5006

Die Bestrahlung H im Bereich von $\lambda_1 = 380$ nm bis $\lambda_2 = 10^6$ nm ist nach den Gleichungen (2) oder (5) zu bestimmen. Für Einwirkungsdauern bis zu 10 s beträgt der Expositionsgrenzwert der Bestrahlung $H_{IR(GW)}$ durch Strahleneinwirkungen auf die Haut im Wellenlängenbereich von 380 nm bis 10^6 nm:

$$(29) H_{IR(GW)} = 18\,000 t^{0,25} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$$

3.7 Spektrale Wichtungsfaktoren für die Blaulichtgefährdung und die thermische Netzhautgefährdung

Tabelle 2:

Wellenlänge λ in nm	Relative spektrale Wirksamkeit für Blau- lichtgefährdung $B(\lambda)$	Relative spektrale Wirk- samkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2

BGI 5006

Wellenlänge λ in nm	Relative spektrale Wirksamkeit für Blau- lichtgefährdung $B(\lambda)$	Relative spektrale Wirk- samkeit für die thermische Netzhautgefährdung $R(\lambda)$
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,4	4
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
> 500 – 600	$10^{0,02 \cdot (450-\lambda)}$	1
> 600 – 700	—	1
> 700 – 1 050	—	$10^{0,002 \cdot (700-\lambda)}$
> 1 050 – 1 150	—	0,2
> 1 150 – 1 200	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150-\lambda)}$
> 1 200 – 1 400	—	0,02

Für Wellenlängen, die nicht in Tabelle 2 angegeben sind, kann der Wert der relativen spektralen Wirksamkeit für $B(\lambda)$ bzw. $R(\lambda)$ durch Interpolation (aus den Werten für die nächst kleinere und für die nächst größere Wellenlänge) berechnet werden.

3.8 Übersicht über die wichtigsten Expositionsgrenzwerte in Tabellenform:

Expositionsgrenzwerte für das Auge						
Einwirkungsdauer t in s	$< 1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$ bis 10	10 bis 1000	1000 bis 10000	10000 bis 30000	Jahres- expositions- grenzwert
Größen und Wichtungs-Funktionen						4000 J/m ²
$H_{\text{eff}} = \int_{160 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} H_{\lambda}(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda$			$30 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$			
$H_{\text{eff}} = \int_{315 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} H_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$			$10000 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$			—*)
$I_{\text{p}} = \int_{380 \text{ nm}}^{1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	$\frac{41,2}{C_{\alpha}} \cdot t^{0,9} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$	$\frac{5 \cdot 10^4}{C_{\alpha}} \cdot t^{0,25} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$		$\frac{2,8 \cdot 10^4}{C_{\alpha}} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$		—*)
Für $\alpha \geq 0,011$ rad: $L_{\text{B}} = \int_{380 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$		$\frac{1 \cdot 10^6}{t} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$			$100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}}$	—*)

*) ist nicht erforderlich

Expositionsgrenzwerte für das Auge (Fortsetzung)						
Einwirkungsdauer t in s	$< 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ bis 10	10 bis 1000	1000 bis 10000	10000 bis 30000	Jahres- expositions- grenzwert
Größen und Wichtungs-Funktionen	Für $\alpha < 0,011$ rad:					—*)
	$E_B = \int_{380 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} E_v(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	$\frac{100}{t}$	$\frac{W}{m^2}$	$0,01 \frac{W}{m^2}$		
$E_{IK} = \int_{780 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} E_v(\lambda) \cdot d\lambda$	$18000 \cdot t^{-0,75}$	$\frac{W}{m^2}$	—*)		—*)	
$H_{IK} = \int_{780 \text{ nm}}^{3000 \text{ nm}} H_v(\lambda) \cdot d\lambda$	$3 \cdot 10^6 \frac{J}{m^2}$					—*)

*) ist nicht erforderlich

Expositionsgrenzwerte für die Haut			
Einwirkungsdauer t in s	< 10	10 bis 30 000	Jahres- expositions- grenzwert
Größen und Wichtungs-Funktionen			
$H_{\text{eff}} = \int_{180 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} H_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$		$30 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	4000 J/m^2
$H_{\text{RG}} = \int_{380 \text{ nm}}^{10^6 \text{ nm}} H_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$	$18\,000 \cdot t^{0,25} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	—*)	—*)

* ist nicht erforderlich

Anhang 1**Bestimmung der Expositionsgrenzwertüberschreitung am Beispiel eines UV-Strahlerprüfraums**

Bei der Gefährdungsbeurteilung sind der räumliche Bereich und die Zeit je nach Arbeitsbedingungen zu wählen. D.h. muss z.B. ein Lampenprüfraum für maximal 10 Minuten täglich von mehreren Beschäftigten begangen werden, so ist zu prüfen, ob im Raum die Expositionsgrenzwerte für 10 oder mehr Minuten überschritten werden können. Sollten die Expositionsgrenzwerte für Haut und Augen z.B. nach 5 Minuten im Lampenprüfraum überschritten werden, so sind z.B. organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen (z.B. Augenschutz, Schutzkleidung und Visier) zu treffen.

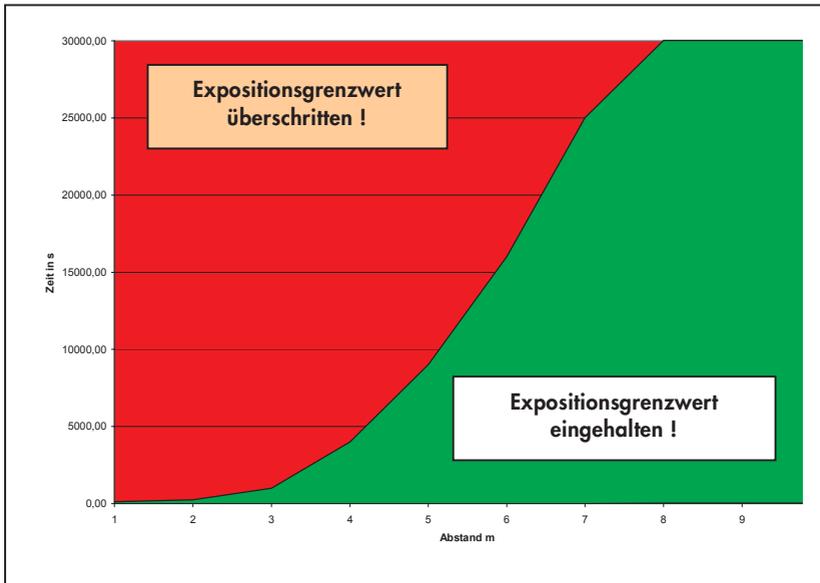
Würden hingegen die Expositionsgrenzwerte erst nach 100 Minuten überschritten, so genügt die Kennzeichnung des Raumes und die Unterweisung der Mitarbeiter, sich nicht länger als 100 Minuten ohne Schutz aufzuhalten, da die normale tägliche Aufenthaltszeit in unserem Beispiel nur 10 Minuten pro Tag beträgt.

Im folgenden Beispiel wird ein UV-Strahler in einer Halle angenommen. Der Bereich, in dem die Expositionsgrenzwert überschritten werden können, ist zeitlich und räumlich variabel. D.h. z.B. in 10 cm Entfernung wird der Expositionsgrenzwert für die Augen nach 150 s überschritten, in 2 m Abstand zur Quelle nach 1000 s und in 8 m Abstand erst nach 8 Stunden.

D.h. je nach Arbeitsbedingungen und Abstand sind unterschiedliche Maßnahmen zu treffen. Über 8 m Entfernung brauchen bei diesem Beispiel keine Schutzmaßnahmen getroffen zu werden. Sinnvoll ist hier z.B. die Abschirmung mit Stellwänden in 2 bis 3 m Abstand um die Quelle sowie die Kennzeichnung des Zugangs mit Warnzeichen W09 „Warnung vor optischer Strahlung“ und gegebenenfalls die Ausrüstung der in diesem Bereich arbeitenden Personen mit persönlichen Schutzausrüstungen sowie die Unterweisung der Mitarbeiter.

BGI 5006

Das folgende Bild zeigt die Abhängigkeit zwischen Zeit und Abstand. Im grünen Bereich wird der Expositionsgrenzwert eingehalten.



Anhang 2**Biologische Wirkungen optischer Strahlung**

Die kritischen Organe für die Einwirkung optischer Strahlung auf den Menschen sind die Augen und die Haut. Optische Strahlung dringt in menschliches Gewebe nur oberflächlich ein; die inneren Organe werden nicht erreicht. Die Eindringtiefe ist von der Wellenlänge abhängig. Während kurzwellige UV-Strahlung und langwellige IR-Strahlung bereits an der Oberfläche absorbiert werden, dringt Strahlung im sichtbaren und nahen infraroten Bereich tiefer ein. Entsprechend hängt der Ort der Wirkung im Auge und in der Haut von der Wellenlänge ab. Auch sind Art und Schwere eines durch optische Strahlung hervorgerufenen Effektes von der Intensität der Strahlung und von ihrer Dosis abhängig. Es kann sowohl zu positiven als auch zu negativen Wirkungen kommen.

1. Positive Wirkungen:**An positiven Wirkungen sind zu nennen:**

die Bildung von Vitamin D₃, das zur Vorsorge gegen Rachitis gebraucht wird, durch UV-Strahlung durch mäßige UV-Einwirkung der Aufbau eines Lichtschutzes, der vor Sonnenbrand schützen kann. Positive Wirkungen werden Licht und UV-Strahlung auch bei therapeutischen Anwendungen, z.B. zur Behandlung von Hautkrankheiten, zugeschrieben.

Die sichtbare Strahlung ermöglicht dem Menschen das Sehen und damit das Erkennen der Umgebung. Das Sehen ist für die meisten der wichtigste Sinnesindruck.

Infrarotstrahlung kann eine angenehme Wärmewirkung erzeugen.

Wärmestrahlung und Licht können zum physischen und psychischen Wohlbefinden beitragen.

2. Negative Wirkungen:**Schädliche Wirkungen durch UV-Strahlung auf die Haut:**

Sonnenbrand (Erythem): Entzündliche Rötung der Haut, die nach einigen Tagen heilt. Es kommt zu einer Pigmentierung (Bräunung) und Verdickung der Hornschicht, wodurch die Betroffenen eine erhöhte Widerstandskraft gegenüber einem erneuten Sonnenbrand erhalten.

BGI 5006

Hautalterung: Bei häufig wiederholter und bei langfristiger Exposition gegenüber UV-Strahlung kann die Haut trocken, ledrig, grob und schlaff werden und Falten bekommen.

Hautkrebs: Durch übermäßige und durch langfristige UV-Strahlungseinwirkung kann Hautkrebs ausgelöst werden. Es werden drei verschiedene Hautkrebsarten (Basaliom, Spinaliom und malignes Melanom) unterschieden, die in unterschiedlichen Schichten der Haut auftreten und deren Krankheitsverlauf unterschiedlich ist.

Fototoxische Reaktionen, Fotoallergien: Durch das Zusammenwirken von UV-Strahlung mit chemischen Stoffen (z.B. bestimmten Medikamenten und Kosmetika) sind toxische Reaktionen möglich. Auch können Allergien ausgelöst werden.

Schädliche Wirkungen von UV-Strahlung auf die Augen:

Hornhautentzündung (Keratitis), Bindehautentzündung (Konjunktivitis): Durch UV-Strahlung werden die äußersten Zellen der Hornhaut und der Bindehaut zerstört. Diese Erkrankung ist bei Bergsteigern als „Schneeblindheit“ und bei Schweißern als „Verblitzen“ bekannt. Die Schädigung macht sich 6 bis 8 Stunden nach der Exposition durch starke Augenschmerzen bemerkbar. Nach 1 bis 2 Tagen tritt eine vollständige Heilung ein.

Trübung der Augenlinse: Neben anderen Ursachen kann eine langjährige UV-Strahleneinwirkung auf die Augen zu einer irreversiblen Trübung der Augenlinse führen. Von dieser Erkrankung sind vor allem ältere Menschen („Altersstar“) sowie Personen betroffen, die sich häufig im Freien aufhalten (Landwirte, Seeleute).

Schädliche Wirkungen durch sichtbare und infrarote Strahlung auf die Haut:

Verbrennung der Haut durch hohe Strahlungsintensität (z.B. an Schmelzöfen oder durch Laser).

Schädliche Wirkungen durch sichtbare und infrarote Strahlung auf das Auge:

Verbrennung der Netzhaut („Thermischer Schaden“) durch Einwirkung von Strahlung hoher Intensität (z.B. Hochleistungslampen, Sonne).

Die so genannte *Blaulichtgefährdung* ist eine photochemische Schädigung der Netzhaut.

BGI 5006

Trübung der Augenlinse: Auch eine langjährige IR-Strahleneinwirkung kann zu einer Trübung der Augenlinse („Grauer Star“, Katarakt) führen. Diese Einwirkung kann z.B. an Arbeitsplätzen von Glasbläsern auftreten.

Blendung: Die Blendung ist zwar keine direkte Schädigung des Auges, sie kann jedoch das Sehen und Erkennen beeinträchtigen und damit Folgeschäden (z.B. Unfälle im Straßenverkehr) hervorrufen.

BGI 5006

Anhang 3

Beispiel für die Kennzeichnung eines Bereiches, in dem der Grenzwert für UV-Strahlung nach 10 Minuten überschritten wird:



Anhang 4

Beispiele für die Notwendigkeit von Expositionsmessungen, und die Anwendung von Schutzmaßnahmen bei verschiedenen Tätigkeiten

Vorbemerkung: Die Tabelle gibt beispielhaft für verschiedene Tätigkeiten und Arbeitsplätze auf Grund der derzeitigen Erkenntnisse an, ob und unter welchen Voraussetzungen Messungen in der Regel notwendig, eventuell notwendig oder nicht notwendig sind. Falls bezüglich der Auswahl der zu treffenden Schutzmaßnahmen und der Risiken Zweifel bestehen, gibt eine Messung Klarheit über die Gefährdung.

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Elektroschweißen: Schweißer, Bystan- der			X	Die UV-Strahlenexposition ist beim Elektro- schweißen so hoch, dass nach kürzester Zeit die Expositionsgrenzwerte überschrit- ten werden. Mit Augen- und Hautschäden ist zu rechnen. Schutzmaßnahmen sind zwingend notwen- dig.	Schweißmaschinen müssen in der Regel gekapselt sein. Verwendung persönlicher Schutzausrüs- tung ist notwendig (siehe Kapitel 2.26 der BGR 500).
Elektroschweißen: Personen in der Umgebung von Schweißarbeitsplät- zen		X		Je nach Abstand und Aufenthaltsdauer vom Elektroschweißen können ohne Schutzvor- richtungen die Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Messungen sind nicht erforderlich, wenn die nebenstehenden Schutzmaßnahmen nach Kapitel 2.26 der BGR 500 getroffen werden.	Schweißarbeitsplatz durch Vorhänge oder Stellwände zu anderen Arbeitsplät- zen abschirmen.

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Fluxarbeitsplätze (Magneffeld-Riss- Prüfung)		X		An Fluxarbeitsplätzen können das Gesicht und die Hände und Arme der UV-Strahlung ausgesetzt sein. Welche Körperteile exponiert sind, hängt von der geometrischen Anordnung der Strahlenquelle (Höhe der UV-Lampe über dem Gesichtsniveau) und von den angewendeten Schutzmaßnahmen (z.B. Tragen von langärmeliger Kleidung, Tragen von Handschuhen) ab. Liegen Bereiche des Körpers und der Haut ungeschützt im Strahlungsbereich, dann sind Messungen nötig. Sind alle Körperteile im Strahlungsbereich geschützt, dann kann auf Messungen verzichtet werden. Dies gilt allerdings nur, wenn auch an Werkstücken und Begrenzungen reflektierte Strahlung nicht auf ungeschützte Körperteile einwirken kann.	<ul style="list-style-type: none"> • Anordnung des Strahlungsaustritts fest installierter UV-Lampen unterhalb der Augenhöhe, • Anbringung einer Schutzscheibe zwischen UV-Lampe und Gesicht • Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, z.B.: langärmelige Kleidung, Handschuhe, UV-Schutzbrille. <p>Hinweis siehe auch Merkblatt DGZFP (Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Rissprüfung) „EM6“</p>

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Verarbeitung von UV-härtenden Kleb- und Kunststoffen, z.B. in der Dental-technik		X		Bei der Verarbeitung UV-härtender Kleb- und Kunststoffe können das Gesicht und die Hände und Unterarme der UV-Strahlung ausgesetzt sein. Welche Körperteile exponiert sind, hängt von der Art der Verarbeitung und von den angewendeten Schutzmaßnahmen (z.B. Tragen von langärmeliger Kleidung, Tragen von Handschuhen) ab. Die Angaben des Herstellers sind zu beachten. Auf die Messung kann jedoch verzichtet werden, wenn der Hersteller ausreichende Angaben zur Emission macht und alle Körperteile im Strahlungsbereich geschützt sind (z.B. bei Durchführung der UV-Bestrahlung in einem allseitig geschlossenen Gehäuse).	Ausschließliche Verwendung von UV-Lampen, deren Strahlenspektrum auf den verwendeten Kleb- und Kunststoff abgestimmt ist. Die verwendete UV-Lampe sollte nur UV-Strahlung der Wellenlängen emittieren, die für den Härteprozess notwendig sind. Eine an der Strahleneintrittsöffnung der UV-Lampe eventuell vorhandene Filterscheibe darf nicht entfernt oder durch eine Scheibe mit anderen Transmissions-eigenschaften ersetzt werden. Bei der Verwendung von UV-Handlampen sollte während der Vorbereitung des Aushärtungsvorgangs die eingeschaltete UV-Lampe so abgelegt werden, dass niemand der Strahlung ausgesetzt wird.

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
					<p>Die zu verklebenden Teile sollten mittels einer geeigneten Vorrichtung so fixiert werden, dass während der Bestrahlung der Klebstelle nicht mit der Hand in den Strahlenbereich gefasst werden muss.</p> <p>Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, z.B.: langärmelige Kleidung, Handschuhe, UV-Schutzbrille</p>

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
UV-Trocknung von Farben, Lacken und anderen Beschichtungen (z.B. Druckmaschinen)				Die bei der UV-Trocknung verwendeten Einrichtungen sind durch entsprechende Kapselung oder durch die Verwendung von Abschirmungen häufig so ausgestaltet, dass nur eine geringe oder keine Strahlenexposition zu erwarten ist. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlenemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden. Bei unvollständiger oder fehlender Abschirmung sind hohe UV-Strahlenexpositionen möglich. Insbesondere beim Nachfüllen von Farbe oder bei Wartungsarbeiten werden häufig Tätigkeiten in Nähe der nicht abgeschirmten UV-Strahlenquelle durchgeführt. Messungen sind dann notwendig.	Vollständige Abschirmung aller Strahleneintrittsöffnungen Automatische Unterbrechung des Strahleneintritts beim Öffnen des abschirmenden Gehäuses der Anlage Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, z.B.: langärmelige Kleidung, Handschuhe, UV-Schutzbrille (z.B. wenn Tätigkeiten in der Nähe der eingeschalteten, nicht vollständig abgeschirmten Strahlenquelle notwendig sind)

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Sichtbarmachung von Markierungen mittels UV-Strahlern		X		Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlenemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden. Bei Arbeiten an UV-Leuchten bis 8 W an denen nicht ständig gearbeitet wird, werden die Expositionsgrenzwerte für Haut und Auge unterschritten (Geldscheinprüfung). Bei Arbeiten mit UV-Strahlern mit höherer Leistung können die Expositionsgrenzwerte überschritten werden.	Bei Arbeiten mit UV-Strahlung kann die Verwendung von persönlichen Schutzausrüstungen notwendig sein. Dies gilt insbesondere, wenn über einen längeren Zeitraum die mit UV-Strahlung bestrahlte Markierung beobachtet und zusätzlich Tätigkeiten im Strahlungsbereich vorgenommen werden müssen
Diaprojektor, Beamer oder ähnliche Geräte			X	Die Expositionsgrenzwerte L_{RH} , $L_{\text{RH,1}}$ für die Augen werden nach kurzer Zeit (Sekundenbereich) überschritten. Ein längeres Hinschauen in den direkten Strahl wird jedoch wegen der hohen Leuchtdichte (Blendung) von jedem Benutzer vermieden.	Schutzmaßnahmen werden nur dann notwendig, wenn ein absichtliches Hinschauen für die Arbeit notwendig ist (in der Regel Schweißerschutzbrillen-Schutzstufe 4 und höher)

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Bearbeitung von Glas und sonstige Tätigkeiten an Glas-Schmelzöfen (z.B. Glasbläser)		X		Bei der Glasherstellung und -bearbeitung ist vorwiegend eine Exposition der Augen durch IR-Strahlung gegeben. Daneben ist aber auch eine Exposition durch sichtbare oder UV-Strahlung möglich. Als Strahlenquelle kommen dabei das glühende/geschmolzene Glas oder auch eventuell vorhandene Gasflammen in Betracht. Die Höhe der Exposition ist u.a. von der Temperatur der Strahlenquelle abhängig. Zuverlässige Informationen zur Strahlenexposition lassen sich nur durch eine Messung ermitteln. Anmerkung: Sofern eine geeignete Schutzbrille getragen wird, sind Messungen nicht notwendig.	Verwendung fest installierter Abschirmungen (z.B. Metallplatten, IR-Schutzglas, ggf. auch Scheiben zum Schutz vor UV-Strahlung) Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (insbesondere IR-Schutzbrillen)

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Bühnen- Scheinwerfer in Veranstaltungen- und Produktionsstät- ten für szenische Darstellung		X		In Bühnenscheinwerfern kommen Lampen zum Einsatz, die neben sichtbarer Strahlung auch eine intensive UV-Strahlung emittieren können. Wird der Scheinwerfer mit entfernter, beschädigter oder einer falschen Filterscheibe betrieben, dann sind bei einem Aufenthalt im Strahlungsbereich hohe UV-Expositionen möglich. Hierbei sind Summationseffekte beim Einsatz von mehreren Scheinwerfern zu beachten.	Betrieb des Scheinwerfers nur zusammen mit der Original-Filterscheibe Weitere Schutzmaßnahmen werden notwendig, wenn ein absichtliches Hineinschauen in den ungefilterten Scheinwerfer für die Arbeit notwendig ist (in der Regel Schweißerschutzbrillen-Schutzstufe 4 und höher), z.B. bei Reparaturarbeiten.
Anwendungen von Entkeimungsanlagen (offene Anwen- dung), z.B. in Krankenhäu- sem, Abfallbehand- lungsanlagen, Laboratorien, zoo- logische Einrichtun- gen		X		Zur Entkeimung wird üblicherweise UV-C-Strahlung verwendet, die zu einer hohen Strahlenexposition führen kann. In vielen Fällen wird die Entkeimung durchgeführt, wenn sich keine Personen im Strahlungsbereich aufhalten. Messungen sind dann nicht notwendig. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlenemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Die Strahleneintrittsöffnungen der UV-Strahler sind so anzuordnen, dass die Beschäftigten nicht der UV-Strahlung ausgesetzt sind. Die Exposition gegenüber Streustrahlung ist so gering wie möglich zu halten. Die Verwendung persönlicher Schutzaus- rüstungen kann im Einzelfall notwendig sein, z.B.: langärmelige Kleidung, Hand- schuhe, UV-Schutzbrille

Tätigkeit/ Expositions- bedingungen	Expositionsmessungen			Kommentar	Schutzmaßnahmen
	nötig	evtl. nötig	nicht nötig		
Anwendung von IR-Strahlern zur Trocknung		X		Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlenemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Abschirmung der Strahler Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen, z.B.: bei Wartungsarbeiten
Arbeiten an Metallschmelzen (kein Hochofen)	X			Bei Arbeiten an Metallschmelzen ist eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte möglich.	Verwendung fest installierter Abschirmungen (z.B. Metallplatten, IR-Schutzglas) Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (insbesondere IR-Schutzbrillen)
Arbeiten an Hochöfen			X	Bei Arbeiten an Hochöfen werden die Expositionsgrenzwerte auf jeden Fall überschritten. Mit Schädigung der Augen und der Haut ist zu rechnen.	Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (Diese Schutzmaßnahme ist in jedem Fall notwendig)
Medizinische Anwendungen von UV-Strahlungs-Therapiegeräten (Solarien, IR-Strahler)		X		Bei der Bestrahlung von Patienten kann das medizinische Personal, das die Bestrahlung durchführt, ebenfalls der Strahlung ausgesetzt sein. Sind ausreichende Angaben des Herstellers zur Strahlenemission vorhanden, so kann auf eine Messung verzichtet werden.	Aufenthalt des medizinischen Personals während der Bestrahlung in einem abgeschirmten Bereich.

Anhang 5

Vereinfachte Gefährdungsermittlungen für LED, die nicht klassifiziert sind

Umrechnung der Strahldichtegrenzwerte nach dieser BG-Information in Strahl- bzw. Lichtstärken

Die Strahldichte ist definiert als (IEC 60050-845):

$$(1) L = \frac{d^2 \Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad \frac{W}{m^2 \cdot sr}$$

In dieser Formel ist:

1. dA : Flächenelement der Strahlungsquelle,
2. $d\Phi$ anteilige Strahlungsleistung in Ausbreitungsrichtung,
3. $d\Omega$: Winkel zwischen der Flächennormalen von dA und der Ausbreitungsrichtung.

Für die von dA ausgehende Strahlstärke in Richtung $d\Omega$ gilt:

$$(2) dI = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

eingesetzt ergibt sich folgender allgemeiner Zusammenhang zwischen der Strahldichte und der Strahlstärke einer Quelle:

$$(3) L = \frac{dI}{dA \cdot \cos \theta}$$

Im Sinne einer „Worst-case-Betrachtung“ wird $\theta = 0$ bei direktem Blick in eine Strahlungsquelle und damit $\cos \theta = 1$. Vereinfacht ergibt sich damit:

$$(4) I = L \cdot A \frac{W}{sr}$$

bzw. wenn die Fläche aus der Winkelausdehnung α in rad berechnet wird:

$$(5) I = L \frac{\alpha^2 \cdot r^2 \cdot \pi}{4}$$

Zur Ermittlung der restriktivsten Strahlstärken wurde der (minimale Akkomodations-) Abstand von $r = 0,1$ m eingesetzt.

Die Strahldichten je LED wurden durch spektrale Wichtung jeweils repräsentativer Spektren mit den Wirkungsfunktionen (für „blue light“ und „retinal

BGI 5006

thermal hazards“) aus den Abschnitten 3.5 bis 3.8 dieser BGI ermittelt. Zur Umwandlung in fotometrische Größen wurden die gemessenen Strahlungsäquivalente benutzt. Die Grenzwerte in den Bildern 1 und 2 beziehen sich auf eine maximale Expositionsdauer von 100 s. Nach der Lasernorm DIN EN 60825-1/VDE 0837 Teil 1 ist diese Zeitbasis für den gelegentlichen oder ungewollten Blick in eine Strahlungsquelle anzusetzen.

Bei absichtlicher Langzeitexposition im Bereich fotochemischer Gefährdungen („blue light hazard“) sollten die Grenzwerte auf Basis der konkreten Einwirkungsdauer ermittelt werden. Zur Orientierung sind in Bild 3 die maximal erlaubten Lichtstärken in diesem Bereich für die maximal vorstellbare Zeitbasis von 30 000 s (Arbeitstag) dargestellt.

In sämtlichen Abbildungen fällt der große Einfluss der jeweiligen Quellengröße (angegeben als Sehwinkel in mrad) auf. Dieser Parameter muss im Einzelfall ermittelt werden, wenn die „Worst case“-Näherung mit der minimalen Quellengröße nicht ausreicht. (Dieser Umstand kann umgekehrt auch zur Erhöhung der Strahlungssicherheit ausgenutzt werden, indem die Quellengröße z.B. durch Streuscheiben, Diffusoren oder ähnliche Maßnahmen vergrößert wird.)

Zur Abschätzung einige Anhaltspunkte für Standard-LEDs:

SMD-Bauelement ohne optisch wirksame Verkapselung: ca. 3 mrad

LED radial vergossen mit integrierter Linse 5 mm Ø: ca. 20 mrad

LED radial vergossen mit integrierter Linse 3 mm Ø: ca. 10 mrad

Bei stark gebündelter LED-Strahlung mit Halbwertswinkeln kleiner als 30 Grad sollten die Grenzwerte jeweils nur zur Hälfte ausgenutzt werden.

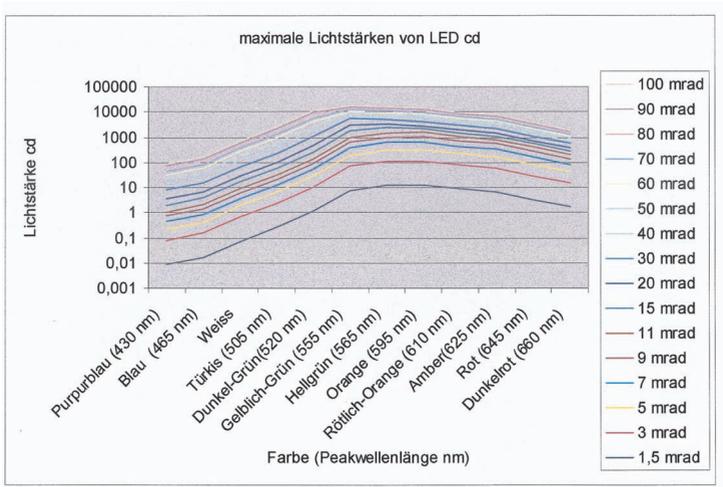


Bild 1: Maximale Lichtstärke von LED in cd

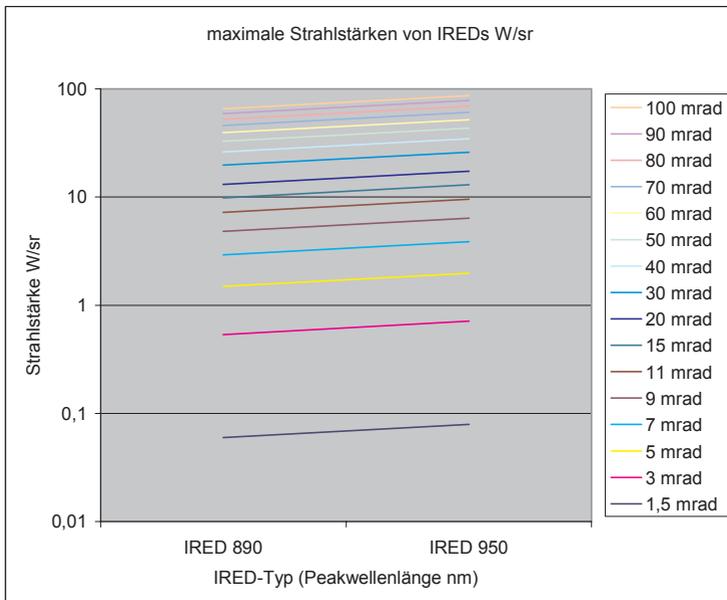


Bild 2: Maximale Strahlstärke von IREDS

BGI 5006

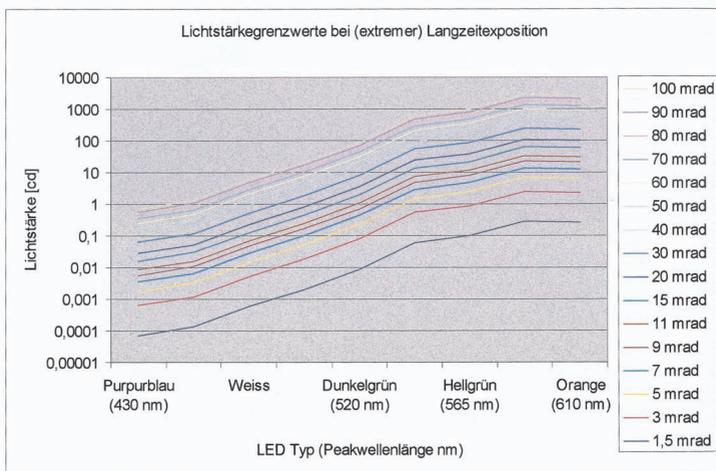


Bild 3: Lichtstärkengrenzwerte bei extremer Langzeitexposition

Anhang 6

Muster	BETRIEBSANWEISUNG
1. Anwendungsbereich	
	Schutz gegen UV-Strahlung (Arbeitsplätze mit UV-Strahlern)
2. Gefährdungen für Menschen	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hautreaktion durch ungefilterte UV-Strahlen 2. Entstehung von Hautkrebs 3. Hautverbrennung (Sonnenbrand) insbesondere durch UVB-, UVC-Strahlung 4. Hornhautentzündung, Fotosensibilisierung 5. Fotoallergie 6. Linsentrübung
3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln	
 <p style="text-align: center;">Augenschutz benutzen</p>  <p style="text-align: center;">UV - Strahlung Gefahr von Ultraschall-Strahlung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der Expositionsgrenzwerte für UV-Strahlung; sie liegen nach BGI 5006 für Auge und Haut zwischen 100–400 nm, für H bei (Exp.-Grenzwert: 315-400) = 10 000 J/m² und für H_{eff}(Bestrahlungs-Expositionsgrenzwert für 8 h) = 30 J/m². • Verkleidungs- und Verdeckungssysteme, die häufig abgenommen werden, müssen mit einem Überwachungssystem versehen sein (zwangsläufiges Abschalten der Strahlung) • Auf eine ausreichende Abschirmung, die keine Strahlung durchlässt, achten (z.B. Bleche, Holzplatten, Vorhänge u. ä.) • Wirkungsvoll abschirmende PSA (Kopf-, Augen-, Hand- und Rumpfschutz) tragen (ggf. Hautschutzmittel mit hohem Lichtschutzfaktor benutzen) • Eindämmen von Reflexionen; UV-Strahlung kann praktisch von allen Flächen, auch von verputzten Mauerwänden, reflektiert werden. • Ozon-Entstehung vermeiden (MAK-Wert 0,1 ppm); an der Entstehungsstelle absaugen • Gefahrenhinweisschilder aufstellen
4. Verhalten bei Störungen	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bei Auftreten von Gefahren vor oder während der Arbeit ist der Vorgesetzte und/oder der Arbeitsverantwortliche zu informieren. Name: Telefon: 2. Der Arbeitsverantwortliche ist berechtigt und verpflichtet, die Arbeiten zu stoppen oder abzubrechen 3. Bei Arbeitsunterbrechung ist der Arbeitsplatz abzusichern
5. Verhalten bei Unfällen	
	<p>Bei Unfällen Anlage abschalten! Verletzten bergen! Unfallstelle sichern, Notarzt verständigen, erste Hilfe! Notruf: 112 oder Erste Hilfe: 112 oder Telefonische Unfallmeldung an:</p>
	
6. Abschluss der Arbeiten	
<p>Herstellen des ordnungsgemäßen und sicheren Arbeitsplatzes. Aufräumen der Arbeitsstelle. Kontrolle und Reinigung der Ausrüstungen und Hilfsmittel</p>	

BGI 5006

Anhang 7

Zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

1 Vorbemerkung

Die folgenden Berechnungsverfahren sollten durchgeführt werden, wenn die Leistung während der betrachteten Einwirkungsdauer auf unter 10 % des Spitzenwertes absinkt.

2 Anwendung des Abschnittes 3.5.1 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert in Gleichung (13) des Abschnittes 3.5.2 gilt auch für zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung. Liegt eine unterbrochene Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlengang oder Puls i die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},i}$ zu bestimmen und die während der Einwirkungsdauer in der täglichen Arbeitszeit (Arbeitsschicht) akkumulierte effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},A}$ zu berechnen. Dabei gilt:

$$(1) H_{\text{eff},A} = \sum_{i=1}^n H_{\text{eff},i}$$

n = Anzahl der Strahlengänge oder Pulse i während einer Arbeitsschicht

Für die während der Arbeitsschicht akkumulierte effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},A}$ gilt der Grenzwert in Gleichung (13) des Abschnittes 3.5.2.

Anmerkung:

Technisch lässt sich die Summation der effektiven Bestrahlungen einzelner Strahlengänge oder Pulse auch in speziellen Messgeräten realisieren. Bei deren Benutzung muss die effektive Bestrahlung nicht für jeden einzelnen Strahlengang oder Puls bestimmt werden.

2.1 Anwendung des Abschnittes 3.5.3 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert in Gleichung (14) des Abschnittes 3.5.3 gilt auch für zeitlich unterbrochene Strahlung. Liegt eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlengang oder Puls i die Bestrahlung H_i zu bestimmen und die während der Einwirkungsdauer in der täglichen Arbeitszeit (Arbeitsschicht) akkumulierte Bestrahlung H_A zu berechnen. Dabei gilt:

$$(2) \quad H_A = \sum_{i=1}^n H_i$$

n = Anzahl der Strahlengänge oder Pulse i während einer Arbeitsschicht

Für die während der Arbeitsschicht akkumulierte Bestrahlung H_A gilt der Grenzwert in Gleichung (14) des Abschnittes 3.5.3.

Anmerkung:

Technisch lässt sich die Summation der Bestrahlungen einzelner Strahlengänge oder Pulse auch in speziellen Messgeräten realisieren. Bei deren Benutzung muss die Bestrahlung nicht für jeden einzelnen Strahlengang oder Puls bestimmt werden.

2.2 Anwendung des Abschnittes 3.5.4 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung.

Der Grenzwert in Gleichung (15) des Abschnittes 3.5.4 gilt auch für zeitlich unterbrochene Strahlung. Liegt eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlengang oder Puls i die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},i}$ zu bestimmen und die während der Einwirkungsdauer in der täglichen Arbeitszeit (Arbeitsschicht) akkumulierte effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},A}$ zu berechnen. Dabei gilt:

$$(3) \quad H_{\text{eff},A} = \sum_{i=1}^n H_{\text{eff},i}$$

BGI 5006

n = Anzahl der Strahlenzüge oder Pulse i während einer Arbeitsschicht

Für die während der Arbeitsschicht akkumulierte effektive Bestrahlung $H_{\text{eff,A}}$ gilt der Grenzwert in Gleichung (15) des Abschnittes 3.5.4.

Anmerkung:

Technisch lässt sich die Summation der effektiven Bestrahlungen einzelner Strahlenzüge oder Pulse auch in speziellen Messgeräten realisieren. Bei deren Benutzung muss die effektive Bestrahlung nicht für jeden einzelnen Strahlenzug oder Puls bestimmt werden.

2.3 Anwendung des Abschnittes 3.5.5 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert in Gleichung (16) des Abschnittes 3.5.5 gilt auch für zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung. Liegt eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlenzug oder Puls i die effektive Bestrahlung $H_{\text{eff},i}$ zu bestimmen und die während der Einwirkungsdauer in der täglichen Arbeitszeit (Arbeitsschicht) akkumulierte effektive Bestrahlung $H_{\text{eff,A}}$ zu berechnen. Dabei gilt:

$$(4) \quad H_{\text{eff,A}} = \sum_{i=1}^n H_{\text{eff},i}$$

n = Anzahl der Strahlenzüge oder Pulse i während einer Arbeitsschicht

Anmerkung:

Technisch lässt sich die Summation der effektiven Bestrahlungen einzelner Strahlenzüge oder Pulse auch in speziellen Messgeräten realisieren. Bei deren Benutzung muss die effektive Bestrahlung nicht für jeden einzelnen Strahlenzug oder Puls bestimmt werden.

Aus der Summe aller in m Arbeitsschichten eines Jahres akkumulierten effektiven Bestrahlungen $H_{\text{eff,A}}$ ist die effektive Jahresbestrahlung $H_{\text{eff,J}}$ zu berechnen.

Dabei gilt:

$$(5) \quad H_{\text{eff},J} = \sum_{i=1}^m H_{\text{eff},A}$$

m = Anzahl der Schichten im Jahr

Für die effektive Jahres-Bestrahlung $H_{\text{eff},J}$ gilt der Grenzwert in Gleichung (16) des Abschnittes 3.5.5.

2.4 Anwendung des Abschnittes 3.6.1 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert nach den Gleichungen (18), (19) oder (20) des Abschnittes 3.6.1 wird durch die am stärksten einschränkende Bedingungen 2.4.1, 2.4.2 oder 2.4.3 bestimmt.

2.4.1 Die effektive Strahldichte für die thermische Netzhautschädigung $L_{R,EI}$ eines jeden einzelnen Impulses der Dauer T_{EI} innerhalb eines Impulszuges darf den Expositionsgrenzwert $L_{R(GW)}$ für einen Einzelimpuls der Dauer T_{EI} nicht überschreiten.

$$(6) \quad L_{R,EI} \leq L_{R(GW)}(T_{EI})$$

Hierbei ist der entsprechende Grenzwert, je nach Dauer des einzelnen Strahlenzuges T_{EI} nach den Gleichungen (18), (19) oder (20) zu ermitteln.

2.4.2 Die über die betrachtete Einwirkungsdauer gemittelte effektive Strahldichte $L_{R,m}$ für eine Impulsfolge der Dauer T_{IF} darf die Grenzwerte $L_{R,(GW)}$ für einen Einzelimpuls der Dauer T_{IF} nicht überschreiten.

Berechnungsformeln:

$$(7) \quad L_{R,m} \leq L_{R,(GW)}(T_{IF})$$

Die gemittelte effektive Strahldichte $L_{R,m}$ für eine Impulsfolge der Dauer T_{IF} kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$(8) \quad L_{R,m} = \frac{\sum_{EI=1}^n \int_{T_{EI}} L_{R,EI} dt}{T_{IF}}$$

BGI 5006

Die Auswahl des Grenzwertes nach den Gleichungen (18), (19) oder 20 des Abschnittes 3.6.1 erfolgt je nach Länge von T_{IF} .

- 2.4.3 Die effektive Strahldichte L_R eines jeden Einzelimpulses der Dauer T_{EI} innerhalb eines Impulszuges darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls der Dauer T_{EI} multipliziert mit dem Impulsreduktionsfaktor C_5 nicht überschreiten, sofern T_{EI} kleiner als 2 s ist.

Es gilt dann:

$$(9) \quad L_{R,EI} \leq L_{R,(GW)}(T_{EI}) \cdot C_5$$

Wobei $C_5 = N^{0,25}$ und N die Zahl der Impulse im betrachteten Zeitraum ist.

Der betrachtete Zeitraum zur Bestimmung von N beträgt T_2 oder T_{IF} , je nachdem welche Zeit kürzer ist. T_2 ergibt sich nach Abschnitt 2.4.3.1.

Die längste Einwirkungsdauer, für die die Anforderungen angewandt werden sollte, also zur Bestimmung von N , ist im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm 10 s für $\alpha < 100$ mrad und 100 s für $\alpha \geq 100$ mrad oder längere Wellenlängen.

- 2.4.3.1 **Tabelle 1** – Zeiten T_2 , unterhalb denen die Impulsgruppen aufsummiert werden

Wellenlänge	T_2 in s
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,050 \text{ nm}$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\,050 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,400 \text{ nm}$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\,400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,500 \text{ nm}$	10^{-3}
$1\,500 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,800 \text{ nm}$	10
$1\,800 \text{ nm} \leq \lambda < 2\,600 \text{ nm}$	10^{-3}
$2\,600 \text{ nm} \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$	10^{-7}

Bestimmung der Zahl der Impulse bei mehrfachen Impulsen

Treten während der Zeitdauer T_2 (siehe Tabelle 1) Mehrfachimpulse auf, dann werden sie als ein einziger Impuls gezählt, um N zu bestimmen, und die Bestrahlungen der einzelnen Impulse werden

zum Vergleich mit den für T_2 geltenden Grenzwerten addiert, falls alle einzelnen Impulsdauern größer als 10^{-9} s sind.

In manchen Fällen kann der Wert nach Gleichung (9) des Abschnittes 3.3 unter die Grenzwerte für Dauerbetrieb $L_{R,m}$ fallen, die bei gleicher Spitzenleistung und gleicher Zeitbasis gültig wären. Unter diesen Voraussetzungen dürfen die Grenzwerte $L_{R,m}$ für Dauerbetrieb verwendet werden.

2.5 Anwendung des Abschnittes 3.6.2.1 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Anmerkung:

Fotochemische Schäden der Netzhaut unterliegen dem Bunsen-Roscoe-Gesetz. D. h., entscheidend für die Wirkung ist das Zeitintegral der Strahldichte bzw. der Bestrahlungsstärke. Daraus ergibt sich für unterbrochene oder gepulste Strahlung, dass die zeitintegrierte Summe aller Strahlenzüge oder Strahlungspulse den Grenzwert einhalten muss. Die Gleichung (21) des Abschnittes 3.6.2.1 für den Grenzwert wird entsprechend umgeformt.

2.5.1 Für $T_{if} \leq 10000$ s folgt:

Liegt während einer täglichen Arbeitsschicht eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlenzug oder Puls i die effektive Strahldichte für Blaulichtgefährdung $L_{B,i}$ nach Gleichung (21) des Abschnittes 3.6.2.1 zu bestimmen. Danach wird für jeden Puls das Zeitintegral aus der effektiven Strahldichte für Blaulichtgefährdung $L_{B,i}$ und der Impulsdauer T_{Ei} berechnet. Anschließend werden die Zeitintegrale für alle Pulse aufsummiert:

$$(11) \quad \sum_{Ei=1}^n \int_{T_{Ei}} L_{B,Ei} dt$$

Anmerkung:

Technisch lässt sich die Summation der Strahldichten für Blaulichtgefährdung einzelner Strahlenzüge oder Pulse auch in speziellen Messgeräten realisieren. Bei deren Benutzung

BGI 5006

muss die Strahldichte für Blaulichtgefährdung nicht für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls bestimmt werden.

Der aus Gleichung (22) des Abschnittes 3.6.2.1 abgeleitete Grenzwert ist eingehalten, wenn die nach Gleichung (11) des Abschnittes 3.4 berechnete Summe den Wert von $1 \cdot 10^6 \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ nicht überschreitet.

2.5.2 Für $T_{\text{IF}} > 10000 \text{ s}$ und $T_{\text{EI}} < 10000 \text{ s}$ folgt:

Liegt während einer Arbeitsschicht eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls i die effektive Strahldichte für Blaulichtgefährdung $L_{\text{B,EI}}$ nach Gleichung (21) des Abschnittes 3.6.2.1 zu bestimmen. Danach wird der Mittelwert der effektiven Strahldichte für Blaulichtgefährdung $L_{\text{B,m}}$ aller Strahlzüge oder Pulse während der Expositionsdauer berechnet. Dabei gilt:

$$(12) \quad L_{\text{B,m}} = \frac{\sum_{\text{EI}=1}^n \int_{T_{\text{EI}}} L_{\text{B,EI}}}{T_{\text{IF}}}$$

n = Anzahl der Strahlzüge oder Pulse i während der Expositionsdauer

Für den Mittelwert ist der Grenzwert der effektiven Strahldichte für Blaulichtgefährdung nach Gleichung (23) des Abschnittes 3.6.2.1 einzuhalten.

2.6 Anwendung des Abschnittes 3.6.2.2 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Anmerkung:

Fotochemische Schäden der Netzhaut unterliegen dem Bunsen-Roscoe-Gesetz. D.h., entscheidend für die Wirkung ist das Zeitintegral der Strahldichte bzw. der Bestrahlungsstärke. Daraus ergibt sich für unterbrochene oder gepulste Strahlung, dass die zeitintegrierte Summe aller Strahlungspulse den Grenzwert einhalten muss. Die Gleichung (25) des Abschnittes 3.6.2.2 für die Grenzwerte wird entsprechend umgeformt.

2.6.1 Für $T_{IF} \leq 10\,000$ s folgt:

Liegt während einer Arbeitszeit eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls i die Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,i}$ nach Gleichung (24) des Abschnittes 3.6.2.2 zu bestimmen. Danach wird für jeden Strahlzug oder Puls das Zeitintegral aus der Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,i}$ und der Impulsdauer T_{Ei} berechnet. Anschließend werden die Zeitintegrale für alle Pulse aufsummiert:

$$(13) \sum_{Ei=1}^n \int_{T_{Ei}} E_{B,Ei} dt$$

n = Anzahl der Strahlzüge oder Pulse i während der Expositions-dauer

Der aus Gleichung (25) des Abschnittes 3.6.2.2 abgeleitete Grenzwert ist eingehalten, wenn die nach Gleichung (13) des Abschnittes 3.5.2 berechnete Summe den Wert von 100 J m^{-2} nicht überschreitet.

2.6.2 Für $T_{IF} > 10\,000$ s und $T_{Ei} < 10\,000$ s folgt:

Liegt während einer Arbeitszeit eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls i die Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,i}$ nach Gleichung (24) des Abschnittes 3.6.2.2 zu bestimmen. Danach wird der Mittelwert der Blaulicht-Bestrahlungsstärke $E_{B,m}$ aller Strahlzüge oder Pulse während der Expositions-dauer berechnet. Dabei gilt:

$$(14) E_{B,m} = \frac{\sum_{Ei=1}^n \int_{T_{Ei}} E_{B,Ei} dt}{T_{IF}}$$

n = Anzahl der Strahlzüge oder Pulse i während der Expositions-dauer

Für den Mittelwert ist der Grenzwert der Blaulicht-Bestrahlungsstärke nach Gleichung (26) des Abschnittes 3.6.2.2 einzuhalten.

BGI 5006

2.7 Anwendung des Abschnittes 3.6.3.1 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert nach Gleichung (27) des Abschnittes 3.6.3.1 wird durch die am stärksten einschränkenden Bedingungen 2.7.1, 2.7.2, 2.7.3 oder 2.7.4 bestimmt.

- 2.7.1 Die Bestrahlungsstärke für die thermische Schädigung E_{IR} eines jeden einzelnen Impulses der Dauer T_{EI} innerhalb eines Impulszuges darf den Expositionsgrenzwert $E_{IR,(GW)}$ für einen Einzelimpuls der Dauer T_{EI} nicht überschreiten.

$$(15) \quad E_{IR,EI} \leq E_{IR,(GW)}(T_{EI})$$

- 2.7.2 Die über die betrachtete Einwirkungsdauer gemittelte Bestrahlungsstärke $E_{IR,m}$ für eine Impulsfolge der Dauer T_{IF} darf die Grenzwerte $E_{IR,(GW)}$ für einen Einzelimpuls der Dauer T_{IF} nicht überschreiten.

Berechnungsformeln:

$$(16) \quad E_{IR,m} \leq E_{IR,(GW)}(T_{IF})$$

Für die Dauer der Impulsfolge T_{IF} oder Einwirkungsdauer kann mit der folgenden Formel $E_{IR,m}$ berechnet werden:

$$(17) \quad E_{IR,m} = \frac{\sum_{EI=1}^n \int_{T_{EI}} E_{IR,EI} dt}{T_{IF}}$$

- 2.7.3 Die Bestrahlungsstärke E_{IR} eines jeden Einzelimpulses der Dauer T_{EI} innerhalb eines Impulszuges darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls der Dauer T_{EI} , multipliziert mit dem Impulsreduktionsfaktor C_5 , nicht überschreiten, sofern T_{EI} kleiner als 2 s ist.

Es gilt dann:

$$(18) \quad E_{IR,EI} \leq E_{IR,(GW)}(T_{EI}) \cdot C_5$$

Wobei $C_5 = N^{-0,25}$ und N die Zahl der Impulse im betrachteten Zeitraum ist.

Der betrachtete Zeitraum zur Bestimmung von N beträgt T_2 oder T_{IF} , je nachdem welche Zeit kürzer ist.

Die längste Einwirkungsdauer, für die die Anforderungen angewandt werden sollten, also zur Bestimmung von N, ist im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm 10 s für $\alpha < 100$ mrad und 100 s für $\alpha \geq 100$ mrad oder längere Wellenlängen.

Tabelle 2 – Zeiten T_2 , unterhalb denen die Impulsgruppen aufsummiert werden

Wellenlänge	T_2 in s
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,050 \text{ nm}$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\,050 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,400 \text{ nm}$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\,400 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,500 \text{ nm}$	10^{-3}
$1\,500 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,800 \text{ nm}$	10
$1\,800 \text{ nm} \leq \lambda < 2\,600 \text{ nm}$	10^{-3}
$2\,600 \text{ nm} \leq \lambda < 106 \text{ nm}$	10^{-7}

Treten während der Zeitdauer T_2 (siehe Tabelle 2) Mehrfachimpulse auf, dann werden sie als ein einziger Impuls gezählt, um N zu bestimmen, und die Bestrahlungen der einzelnen Impulse werden zum Vergleich mit den für T_2 geltenden Grenzwert addiert, falls alle einzelnen Impulsdauern größer als 10^{-9} s sind.

In manchen Fällen kann der Wert nach Gleichung (18) des Abschnittes 3.6.1 unter die Grenzwerte für Dauerbetrieb $E_{R,m}$ fallen, die bei gleicher Spitzenleistung und gleicher Zeitbasis gültig wären. Unter diesen Voraussetzungen darf der Grenzwert für Dauerbetrieb $E_{R,m}$ verwendet werden.

- 2.7.4 Bei Unterschreitung der Abkühlzeit von 5 Minuten zwischen je zwei aufeinander folgenden Impulsen und gleichzeitiger Überschreitung von mindestens 25 % des Expositionsgrenzwertes für einen Einzelimpuls ist die Impulsfolge ersatzweise wie eine kontinuierliche Exposition anzusehen, deren Gesamtdauer sich aus der Summe der Dauern der Einzelimpulse ergibt.

BGI 5006

2.8 Anwendung des Abschnittes 3.6.3.2 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert in Gleichung (28) des Abschnittes 3.6.3.2 gilt auch für unterbrochene oder gepulste Strahlung. Liegt eine unterbrochene Strahlung vor, dann ist für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls i die Bestrahlung H_{Ei} zu bestimmen und die während der Arbeitszeit akkumulierte Bestrahlung H_A (Arbeitsschicht) zu berechnen.

Dabei gilt:

$$(19) \quad H_A = \sum_{Ei=1}^n H_{Ei}$$

n = Anzahl der Strahlzüge oder Pulse i während der Expositionsdauer

2.9 Anwendung des Abschnittes 3.6.4 auf zeitlich unterbrochene oder gepulste Strahlung

Der Grenzwert in Gleichung (29) des Abschnittes 3.6.4 gilt auch für unterbrochene oder gepulste Strahlung. Liegt eine unterbrochene oder gepulste Strahlung vor, dann muss für jeden einzelnen Strahlzug oder Puls i der Grenzwert in Gleichung (29) des Abschnittes 3.6.4 eingehalten werden.

Anmerkung:

Bei Unterschreitung der Abkühlzeit von 5 Minuten zwischen je zwei aufeinander folgenden Impulsen und gleichzeitiger Überschreitung von mind. 25 % des Expositionsgrenzwertes für einen Einzelimpuls ist die Impulsfolge ersatzweise wie eine kontinuierliche Exposition anzusehen, deren Gesamtdauer sich aus der Summe der Dauern der Einzelimpulse ergibt.

Anhang 8**Empfehlung zur Auswahl von Schutzbrillen bei Einwirkung sichtbarer Strahlung**

Bei der Auswahl von Schutzbrillen zur Abschwächung der sichtbaren Strahlung kann diese auch auf Grund der Messung der Leuchtdichte (cd/m^2) durchgeführt werden. Hierbei muss in der Regel die gemessene Leuchtdichte auf einen Wert von unter $500 \text{ cd}/\text{m}^2$ abgeschwächt werden. Je nach Umgebungslicht können Quellen, die mit einer Leuchtdichte von weniger als $500 \text{ cd}/\text{m}^2$ strahlen, auch über längere Zeit hinweg betrachtet werden.

Beispiel: Ein heller Strahler emittiert eine Leuchtdichte von $50\,000 \text{ cd}/\text{m}^2$.

$$(1) \quad OD = \log_{10} \left(\frac{50.000}{500} \right) = 2$$

Es wird also die Optische Dichte 2 oder eine Abschwächung auf 1 % der Strahlung notwendig, um ungestört in die Quelle blicken zu können.

Die genaue Auswahl der Schutzbrillen kann dann mit diesem Wert entsprechend der BG-Regeln „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“ 192 erfolgen.

BGI 5006

Anhang 9

Vorschriften und Regeln

Nachstehend sind die insbesondere zu beachtenden Vorschriften und Regeln zusammengestellt:

1. Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, Regeln und Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Bezugsquelle: zuständige Berufsgenossenschaft
oder
Carl Heymanns Verlag KG,
Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (BGV A1),

Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ (BGV A8),

Abgestimmter Fachausschussentwurf der Unfallverhütungsvorschrift „Künstliche optische Strahlung“ (BGV B9),

Kapitel 2.26 „Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren“ der BG-Regel „Betreiben von Arbeitsmitteln“ (BGR 500),

BG-Information „Betrieb von Lasereinrichtungen“ (BGI 832).

2. Normen

Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH,
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin.

DIN EN 60825-1 Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 1: Klassifizierung
VDE 0837 Teil 1 von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien.

Hinweis:

Seit April 1999 sind alle Neuveröffentlichungen des berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes unter einer neuen Bezeichnung und Bestellnummer erhältlich.

Die neuen Bestellnummern können einer sogenannten Transferliste des HVBG entnommen werden; siehe <http://www.hvbg.de/d/pages/praev/vorschrl/>

Hinsichtlich älterer, bislang unter der VBG-Nummer geführter Unfallverhütungsvorschriften des sogenannten Maschinenaltbestandes bzw. bislang unter der ZH 1-Nummer geführter Richtlinien, Sicherheitsregeln und Merkblätter, die bis zu ihrer Überarbeitung noch weiter gültig sind, siehe Internettefassungen des HVBG

„<http://www.hvbg.de/bgvr>“ (Seite 5 und 6).

Herausgeber: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik,
Gustav-Heinemann-Ufer 130,
D-50968 Köln,
E-Mail: hv@bgfe.de,
Internet: <http://www.bgfe.de>.

Bestellungen: Telefon: 02 21 / 37 78 - 10 20
Telefax: 02 21 / 37 78 - 10 21
E-Mail: versand@bgfe.de

Bei Rückfragen: Präventionszentren

Köln	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1610
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1611
Braunschweig	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1620
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1621
Berlin	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1630
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1631
Dresden	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1640
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1641
Nürnberg	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1650
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1651
Stuttgart	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1670
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1671
Bad Münstereifel	Telefon: 02 21 / 37 78 - 1680
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 1681