

**Anhang 1 und Anhang 2  
Richtlinie 2006/25/EG  
(Expositionsgrenzwerte künstliche  
optische Strahlung)**

ABl. L 114 vom 24.04 2006, S. 38

**Gesetze und Verordnungen**

**GV18.1**

**Grenzwerte  
OStrV**



# Vorbemerkung

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) (Abl. L 114 vom 27.4.2006, S. 38)  
Anhang I und Anhang II

# ANHANG I

## Inkohärente optische Strahlung

Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für optische Strahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von dem Bereich der von der Quelle ausgehenden Strahlung ab; die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Emissionsgrenzwerten der Tabelle 1.1 zu vergleichen. Für die jeweilige Strahlenquelle können mehrere Expositionswerte und entsprechende Expositionsgrenzwerte relevant sein.

Die Buchstaben a bis o beziehen sich auf die entsprechenden Zeilen in Tabelle 1.1.

$$a) \quad H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{eff}} \text{ ist nur im Bereich 180 bis 400 nm relevant})$$

$$b) \quad H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{UVA}} \text{ ist nur im Bereich 315 bis 400 nm relevant})$$

$$c), d) \quad L_B = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (L_B \text{ ist nur im Bereich 300 bis 700 nm relevant})$$

$$e), f) \quad E_B = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_B \text{ ist nur im Bereich 300 bis 700 nm relevant})$$

$$g) \text{ bis } l) \quad L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Geeignete Werte für } \lambda_1 \text{ und } \lambda_2: \text{ siehe Tabelle 1.1})$$

$$m), n) \quad E_{\text{IR}} = \int_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_{\text{IR}} \text{ ist nur im Bereich 780 bis 3 000 nm relevant})$$

$$o) \quad H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{skin}} \text{ ist nur im Bereich 380 bis 3 000 nm relevant})$$

Für die Zwecke dieser Richtlinie können die vorstehenden Formeln durch folgende Ausdrücke ersetzt werden, wobei die in den folgenden Tabellen aufgeführten diskreten Werte zu verwenden sind:

$$a) \quad E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad \text{und } H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$$

$$b) \quad E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{und } H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$$

$$c), d) \quad L_B = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$e), f) \quad E_B = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

g) bis l) 
$$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Geeignete Werte für  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ : siehe Tabelle 1.1)

m), n) 
$$E_{IR} = \sum_{\lambda=780\text{ nm}}^{\lambda=3000\text{ nm}} E_\lambda \cdot \Delta\lambda$$

o) 
$$E_{\text{skin}} = \sum_{\lambda=380\text{ nm}}^{\lambda=3000\text{ nm}} E_\lambda \cdot \Delta\lambda$$
 und  $H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$

#### Anmerkungen:

- $E_\lambda(\lambda, t)$ ,  $E_\lambda$  *spektrale Bestrahlungsstärke oder spektrale Leistungsdichte*: die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Nanometer [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ]; die Werte  $E_\lambda(\lambda, t)$  und  $E_\lambda$  werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller der Arbeitsmittel angegeben werden;
- $E_{\text{eff}}$  *effektive Bestrahlungsstärke (UV-Bereich)*: berechnete Bestrahlungsstärke im UV-Wellenlängenbereich von 180 bis 400 nm, spektral gewichtet mit  $S(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ];
- $H$  *Bestrahlung*: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{eff}}$  *effektive Bestrahlung*: Bestrahlung, spektral gewichtet mit  $S(\lambda)$ , ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ];
- $E_{\text{UVA}}$  *Gesamtbestrahlungsstärke (UV-A)*: berechnete Bestrahlungsstärke im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{UVA}}$  *Bestrahlung*: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge oder die Summe der Bestrahlungsstärke im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 bis 400 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ ];
- $S(\lambda)$  *spektrale Gewichtung* unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der gesundheitlichen Auswirkungen von UV-Strahlung auf Auge und Haut (Tabelle 1.2) [dimensionslos];
- $t, \Delta t$  *Zeit, Dauer der Exposition*, ausgedrückt in Sekunden [s];
- $\lambda$  *Wellenlänge*, ausgedrückt in Nanometern [nm];
- $\Delta\lambda$  *Bandbreite* der Berechnungs- oder Messintervalle, ausgedrückt in Nanometern [nm];
- $L_\lambda(\lambda)$ ,  $L_\lambda$  *spektrale Strahldichte der Quelle*, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian pro Nanometer [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ ];
- $R(\lambda)$  *spektrale Gewichtung* unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der dem Auge durch sichtbare Strahlung und Infrarot-A-Strahlung zugefügten thermischen Schädigung (Tabelle 1.3) [dimensionslos];
- $L_R$  *effektive Strahldichte (thermische Schädigung)*: berechnete Strahldichte, spektral gewichtet mit  $R(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ];
- $B(\lambda)$  *spektrale Gewichtung* unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der dem Auge durch Blaulichtstrahlung zugefügten photochemischen Schädigung (Tabelle 1.3) [dimensionslos];
- $L_B$  *effektive Strahldichte (Blaulicht)*: berechnete Strahldichte, spektral gewichtet mit  $B(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ];
- $E_B$  *effektive Bestrahlungsstärke (Blaulicht)*: berechnete Bestrahlungsstärke, spektral gewichtet mit  $B(\lambda)$ , ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ];

- $E_{IR}$  *Gesamtbestrahlungsstärke (thermische Schädigung)*: berechnete Bestrahlungsstärke im Infrarot-Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3 000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [ $W \cdot m^{-2}$ ];
- $E_{skin}$  *Gesamtbestrahlungsstärke (sichtbar, IR-A und IR-B)*: berechnete Bestrahlungsstärke im sichtbaren und Infrarot-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [ $W \cdot m^{-2}$ ];
- $H_{skin}$  *Bestrahlung*: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge oder die Summe der Bestrahlungsstärke im sichtbaren und Infrarot-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3 000 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [ $J \cdot m^{-2}$ ];
- $\alpha$  *Winkelausdehnung*: der Winkel, unter dem eine scheinbare Quelle als Punkt im Raum erscheint, ausgedrückt in Milliradian (mrad). Scheinbare Quelle ist das reale oder virtuelle Objekt, das das kleinstmögliche Netzhautbild erzeugt.

**Tabelle 1.1**  
**Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung**

Kennbuchstabe	Weitlänge (nm)	Expositionsgrenzwert	Einheit	Anmerkung	Körperteil	Gefährdung
a.	180 — 400 (UV-A, UV-B und UV-C)	$H_{\text{eff}} = 30$ Tageswert 8 Stunden	$[J \cdot m^{-2}]$		Auge Hornhaut Bindehaut Linse Haut	Photokeratitis Konjunktivitis Kataraktogenese Erythem Elastose Hautkrebs
b.	315 — 400 (UV-A)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Tageswert 8 Stunden	$[J \cdot m^{-2}]$		Auge Linse	Kataraktogenese
c.	300 — 700 (Blaulicht) <i>siehe Anmerkung 1</i>	$L_B = \frac{10^6}{t}$ bei $t \leq 10\,000$ s	$L_B: [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ $t: [\text{Sekunden}]$	bei $\alpha \geq 11$ mrad		
d.	300 — 700 (Blaulicht) <i>siehe Anmerkung 1</i>	$L_B = 100$ bei $t > 10\,000$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
e.	300 — 700 (Blaulicht) <i>siehe Anmerkung 1</i>	$E_B = \frac{100}{t}$ bei $t \leq 10\,000$ s	$E_B: [W \cdot m^{-2}]$ $t: [\text{Sekunden}]$	bei $\alpha < 11$ mrad <i>siehe Anmerkung 2</i>	Auge Netzhaut	Photoretinitis
f.	300 — 700 (Blaulicht) <i>siehe Anmerkung 1</i>	$E_B = 0,01$ $t > 10\,000$ s	$[W \cdot m^{-2}]$			
g.	380 — 1400 (Sichtbar und IR-A)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ bei $t > 10$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$C_\alpha = 1,7$ bei $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_\alpha = \alpha$ bei $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad $\lambda_{1,1} = 380; \lambda_{2,2} = 1400$		
h.	380 — 1400 (Sichtbar und IR-A)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ bei $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R: [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ $t: [\text{Sekunden}]$		Auge Netzhaut	Netzhautverbrennung
i.	380 — 1400 (Sichtbar und IR-A)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ bei $t < 10 \mu s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			

Kennbuchstabe	Wellenlänge (nm)	Expositionsgrenzwert	Einheit	Anmerkung	Körperteil	Gefährdung
j.	780 – 1 400 (IR-A)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ bei $t > 10$ s	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$	$C_\alpha = 11$ bei $\alpha \leq 11$ mrad $C_\alpha = \alpha$ bei $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ bei $\alpha > 100$ mrad (Messgesichtsfeld: 11 mrad) $\lambda_1 = 780; \lambda_2 = 1 400$	Auge Netzhaut	Netzhautverbrennung
k.	780 – 1 400 (IR-A)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0.25}}$ bei $10 \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R: [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ t: [Sekunden]			
l.	780 – 1 400 (IR-A)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ bei $t < 10 \mu s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
m.	780 – 3 000 (IR-A und IR-B)	$E_{IR} = 18 000 t^{-0.75}$ bei $t \leq 1 000$ s	E: $[Wm^{-2}]$ t: [Sekunden]			
n.	780 – 3 000 (IR-A und IR-B)	$E_{IR} = 100$ bei $t > 1 000$ s	$[W \cdot m^{-2}]$		Auge Hornhaut Linse	Hornhautverbrennung Kataraktogenese
o.	380 – 3 000 (Sichtbar, IR-A und IR-B)	$H_{skin} = 20 000 t^{0.25}$ bei $t < 10$ s	H: $[J \cdot m^{-2}]$ t: [Sekunden]		Haut	Verbrennung

**Anmerkung 1:** Der Bereich von 300 bis 700 nm deckt Teile der UV-B-Strahlung, die gesamte UV-A-Strahlung und den größten Teil der sichtbaren Strahlung ab; die damit verbundene Gefährdung wird gemeinhin als Gefährdung durch „Blaulicht“ bezeichnet. Blaulicht deckt jedoch streng genommen nur den Bereich von ca. 400 bis 490 nm ab.

**Anmerkung 2:** Bei stetiger Fixierung von sehr kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung von weniger als 11 mrad kann  $L_B$  in  $E_B$  umgewandelt werden. Dies ist normalerweise nur bei ophthalmischen Instrumenten oder einer Augenstabilisierung während einer Betäubung der Fall. Die maximale „Starzeit“ errechnet sich anhand der Formel  $t_{max} = 100/E_B$ , wobei  $E_B$  in  $W \cdot m^{-2}$  ausgedrückt wird. Wegen der Augenbewegungen bei normalen visuellen Anforderungen werden 100 s hierbei nicht überschritten.



Tabelle 1.2

S ( $\lambda$ ) [dimensionslos], 180 nm bis 400 nm

$\lambda$ in nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ in nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ in nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ in nm	S ( $\lambda$ )	$\lambda$ in nm	S ( $\lambda$ )
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055
193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tabelle 1.3

**B ( $\lambda$ ), R ( $\lambda$ ) [dimensionslos], 380 nm bis 1 400 nm**

$\lambda$ in nm	B ( $\lambda$ )	R ( $\lambda$ )
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	(nicht definiert)
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
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1\,050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1\,050 < \lambda \leq 1\,150$	—	0,2
$1\,150 < \lambda \leq 1\,200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1\,150 - \lambda)}$
$1\,200 < \lambda \leq 1\,400$	—	0,02

# ANHANG II

## Laserstrahlung

Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für optische Strahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von der Wellenlänge und der Dauer der von der Quelle ausgehenden Strahlung ab; die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten (EGW) der Tabellen 2.2 bis 2.4 zu vergleichen. Für die jeweilige Laserstrahlenquelle können mehrere Expositionswerte und entsprechende Expositionsgrenzwerte relevant sein.

Die in den Tabellen 2.2 bis 2.4 als Berechnungsfaktoren verwendeten Koeffizienten sind in Tabelle 2.5, die Korrekturfaktoren für wiederholte Exposition sind in Tabelle 2.6 aufgeführt.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

### Anmerkungen:

dP *Leistung*, ausgedrückt in Watt [W];

dA *Fläche*, ausgedrückt in Quadratmetern [m<sup>2</sup>];

E (t), E *Bestrahlungsstärke oder Leistungsdichte*: die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, üblicherweise ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter [W · m<sup>-2</sup>]; die Werte E(t) und E werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller der Arbeitsmittel angegeben werden;

H *Bestrahlung*: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [J · m<sup>-2</sup>];

t *Zeit, Dauer der Exposition*, ausgedrückt in Sekunden [s];

λ *Wellenlänge*, ausgedrückt in Nanometern [nm];

γ *Grenzeempfangswinkel*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];

γ<sub>m</sub> *Messempfangswinkel*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];

α *Winkelausdehnung einer Quelle*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];

*Grenzblende*: die kreisförmige Fläche, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden;

G *integrierte Strahldichte*: das Integral der Strahldichte über eine bestimmte Expositionsdauer, ausgedrückt als Strahlungsenergie je Flächeneinheit einer Abstrahlfläche je Einheitsraumwinkel der Emission, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter pro Steradian [J · m<sup>-2</sup> · sr<sup>-1</sup>].

Tabelle 2.1

## Strahlungsgefährdung

Wellenlänge [nm] $\lambda$	Strahlungsbereich	Betroffenes Organ	Gefährdung	Tabelle für den Expositionsgrenzwert
180 bis 400	UV	Auge	Photochemische Schädigung und thermische Schädigung	2.2, 2.3
180 bis 400	UV	Haut	Erythem	2.4
400 bis 700	sichtbar	Auge	Netzhautschädigung	2.2
400 bis 600	sichtbar	Auge	Photochemische Schädigung	2.3
400 bis 700	sichtbar	Haut	Thermische Schädigung	2.4
700 bis 1 400	IR-A	Auge	Thermische Schädigung	2.2, 2.3
700 bis 1 400	IR-A	Haut	Thermische Schädigung	2.4
1 400 bis 2 600	IR-B	Auge	Thermische Schädigung	2.2
2 600 bis $10^6$	IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.2
1 400 bis $10^6$	IR-B, IR-C	Auge	Thermische Schädigung	2.3
1 400 bis $10^6$	IR-B, IR-C	Haut	Thermische Schädigung	2.4

**Tabelle 2.2**

**Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber — Laserstrahlen Kurze Expositionsdauer < 10 s**

Wellenlänge <sup>a</sup> [nm]	Dauer [s]									
	$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$						
UV-C	180 – 280	$E = 3 \cdot 10^{10} [W \cdot m^{-2}]^c$  $E = 3 \cdot 10^{10} [W \cdot m^{-2}]^c$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$						
	280 – 302									
303										
304										
305										
306										
307										
308										
309										
310										
UV-B	311	$E = 3 \cdot 10^{10} [W \cdot m^{-2}]^c$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$						
	312									
	313									
	314									
	315 – 400									
	400 – 700									
Sichtbar und IR-A	700 – 1 050				$1 \text{ mm für } t < 0,3 \text{ s; } 1,5 \cdot t^{0,375} \text{ für } 0,3 < t < 10 \text{ s}$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$			
	1 050 – 1 400									
	1 400 – 1 500									
IR-B und IR-C	1 500 – 1 800							$E = 10^{12} [W \cdot m^{-2}]^c$ $E = 10^{13} [W \cdot m^{-2}]^c$ $E = 10^{12} [W \cdot m^{-2}]^c$ $E = 10^{11} [W \cdot m^{-2}]^c$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$
	1 800 – 2 600									
2 600 – 10 <sup>6</sup>										
UV-A	315 – 400	$1 \text{ mm für } t < 0,3 \text{ s; } 1,5 \cdot t^{0,375} \text{ für } 0,3 < t < 10 \text{ s}$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$						
	400 – 700									
	700 – 1 050									
Sichtbar und IR-A	1 050 – 1 400									
	1 400 – 1 500									
	1 500 – 1 800									
IR-B und IR-C	1 800 – 2 600				$1 \text{ mm für } t < 0,3 \text{ s; } 1,5 \cdot t^{0,375} \text{ für } 0,3 < t < 10 \text{ s}$	$10^{-9} - 10^{-7}$  $H = 30 [J \cdot m^{-2}]$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$  $10^{-3} - 10^1$			
	2 600 – 10 <sup>6</sup>									

a Wird die Wellenlänge des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b Wenn  $1400 \leq \lambda < 10^5 \text{ nm}$ : Öffnungsdurchmesser = 1 mm bei  $t \leq 0,3 \text{ s}$  und  $1,5 \cdot t^{0,375} \text{ mm}$  bei  $0,3 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ ; wenn  $10^5 \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$ : Öffnungsdurchmesser = 11 mm.

c Mangels Daten für diese Impulsweiten empfiehlt die ICNIRP, als Grenzwert für die Bestrahlungsstärke 1 ns zu verwenden.

d Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern von Impulsen, die innerhalb eines Intervalls  $T_{\text{min}}$  (siehe Tabelle 2.6) liegen, aufaddiert werden, und der daraus resultierende Zeitwert muss in der Formel  $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$  für  $t$  eingesetzt werden.

Tabelle 2.3

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber — Laserstrahlen Lange Expositionsdauer ≥ 10 s

Wellenlänge <sup>a</sup> [nm]		Öffnung	Dauer [s]	
UV-C	180 – 280		10 <sup>1</sup> – 10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup> – 3 · 10 <sup>4</sup>
	280 – 302			
	303			H = 30 [J · m <sup>-2</sup> ]
	304			H = 40 [J · m <sup>-2</sup> ]
	305			H = 60 [J · m <sup>-2</sup> ]
	306			H = 100 [J · m <sup>-2</sup> ]
	307			H = 160 [J · m <sup>-2</sup> ]
	308			H = 250 [J · m <sup>-2</sup> ]
	309			H = 400 [J · m <sup>-2</sup> ]
	310			H = 630 [J · m <sup>-2</sup> ]
	311			H = 1,0 · 10 <sup>3</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
	312			H = 1,6 · 10 <sup>3</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
	313			H = 2,5 · 10 <sup>3</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
	314			H = 4,0 · 10 <sup>3</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
	315 – 400			H = 6,3 · 10 <sup>3</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
UV-A	400 – 600			H = 10 <sup>4</sup> [J · m <sup>-2</sup> ]
Sichtbar 400 – 700	Photochemisch <sup>b</sup> Netzhautschädigung		E = 1 C <sub>B</sub> [W · m <sup>-2</sup> ]; (γ = 1,1 t <sup>0,5</sup> mrad) <sup>d</sup>	E = 1 C <sub>B</sub> [W · m <sup>-2</sup> ] (γ = 110 mrad) <sup>d</sup>
	400 – 700 Thermisch <sup>b</sup> Netzhautschädigung	7 mm	wenn α < 1,5 mrad dann E = 10 [W · m <sup>-2</sup> ] wenn α > 1,5 mrad und t ≤ T <sub>2</sub> dann H = 18 C <sub>E</sub> t <sup>0,25</sup> [J · m <sup>-2</sup> ] wenn α > 1,5 mrad und t > T <sub>2</sub> dann E = 18 C <sub>E</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W · m <sup>-2</sup> ]	
IR-A	700 – 1 400	7 mm	wenn α < 1,5 mrad dann E = 10 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> [W · m <sup>-2</sup> ] wenn α > 1,5 mrad und t ≤ T <sub>2</sub> dann H = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> t <sup>0,25</sup> [J · m <sup>-2</sup> ] wenn α > 1,5 mrad und t > T <sub>2</sub> dann E = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W · m <sup>-2</sup> ] (maximal 1 000 W m <sup>-2</sup> )	
IR-B und IR-C	1 400 – 10 <sup>6</sup>	Siehe <sup>c</sup>	E = 1 000 [W · m <sup>-2</sup> ]	

a Wird die Wellenlänge oder eine andere Gegebenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

b Bei kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung von 1,5 mrad oder weniger sind die beiden Grenzwerte für sichtbare Strahlung E von 400 nm bis 600 nm zu reduzieren auf die thermischen Grenzwerte für 10 s ≤ t < T<sub>1</sub> und auf die photochemischen Grenzwerte für längere Zeiten. Zu T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> siehe Tabelle 2.5. Der Grenzwert für photochemische Netzhautgefährdung kann auch ausgedrückt werden als Integral der Strahlendichte über die Zeit G = 10<sup>6</sup> C<sub>B</sub> [J · m<sup>-2</sup> · sr<sup>-1</sup>], wobei Folgendes gilt: t > 10 s bis zu t = 10 000 s und L = 100 C<sub>B</sub> [W · m<sup>-2</sup> · sr<sup>-1</sup>] bei t > 10 000 s. Zur Messung von G und L ist γ<sub>m</sub> als Mittelung des Gesichtsfelds zu verwenden. Die offizielle Grenze zwischen sichtbar und Infrarot ist 780 nm (entsprechend der Definition der CIE). Die Spalte mit den Bezeichnungen für die Wellenlängenbänder dient lediglich der besseren Übersicht. (Die Bezeichnung G wird vom CEN verwendet, die Bezeichnung L<sub>p</sub> von der CIE und die Bezeichnung L<sub>p</sub> von der IEC und dem CENELEC.)

c Für die Wellenlänge 1 400 – 10<sup>5</sup> nm: Öffnungsdurchmesser = 3,5 mm; für die Wellenlänge 10<sup>5</sup> – 10<sup>6</sup> nm: Öffnungsdurchmesser = 11 mm.

d Für Messungen des Expositionswertes ist γ wie folgt zu berücksichtigen: Wenn α (Winkelausdehnung einer Quelle) > γ (Grenzeempfangswinkel, in runden Klammern in der entsprechenden Spalte angegeben), dann sollte das Messgesichtsfield γ<sub>m</sub> den Wert γ erhalten. (Bei Verwendung eines größeren Messgesichtsfields würde die Gefährdung zu hoch angesetzt.) Wenn α < γ, dann muss das Messgesichtsfield γ<sub>m</sub> groß genug sein, um die Quelle einzuschließen; es ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als γ.

**Tabelle 2.4**

**Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen**

Wellenlänge <sup>a</sup> [nm]		Öffnung	Dauer [s]				
			$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$	$10^1 - 10^3$	$10^3 - 3 \cdot 10^4$
UV (A, B, C)	180 – 400	3,5 mm	E = $3 \cdot 10^{10}$ [W · m <sup>-2</sup> ]  Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
Sichtbar und IR-A	400 – 700	3,5 mm	H = 200 C <sub>A</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H = $1,1 \cdot 10^6$ C <sub>A</sub> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			E = $2 \cdot 10^3$ C <sub>A</sub> [W m <sup>-2</sup> ]
	700 – 1 400						
IR-B und IR-C	1 400 – 1 500	3,5 mm	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
	1 500 – 1 800						
	1 800 – 2 600						
	2 600 – 10 <sup>6</sup>						

a Wird die Wellenlänge oder eine andere Gegebenheit des Lasers von zwei Grenzwerten erfasst, so gilt der strengere Wert.

Tabelle 2.5

Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter

Parameter nach ICNIRP	Gültiger Spektralbereich (nm)	Wert
C <sub>A</sub>	$\lambda < 700$	C <sub>A</sub> = 1,0
	700 – 1 050	C <sub>A</sub> = 10 <sup>0,002(λ - 700)</sup>
	1 050 – 1 400	C <sub>A</sub> = 5,0
C <sub>B</sub>	400 – 450	C <sub>B</sub> = 1,0
	450 – 700	C <sub>B</sub> = 10 <sup>0,02(λ - 450)</sup>
C <sub>C</sub>	700 – 1 150	C <sub>C</sub> = 1,0
	1 150 – 1 200	C <sub>C</sub> = 10 <sup>0,018(λ - 1150)</sup>
	1 200 – 1 400	C <sub>C</sub> = 8,0
T <sub>1</sub>	$\lambda < 450$	T <sub>1</sub> = 10 s
	450 – 500	T <sub>1</sub> = 10 · [10 <sup>0,02 · (λ - 450)</sup> ] s
	$\lambda > 500$	T <sub>1</sub> = 100 s
Parameter nach ICNIRP	Biologische Wirkung	Wert
α <sub>min</sub>	Alle thermischen Wirkungen	α <sub>min</sub> = 1,5 mrad
Parameter nach ICNIRP	Gültiger Winkelbereich (mrad)	Wert
C <sub>E</sub>	$\alpha < \alpha_{\min}$	C <sub>E</sub> = 1,0
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	C <sub>E</sub> = α / α <sub>min</sub>
	α > 100	C <sub>E</sub> = α <sup>2</sup> / (α <sub>min</sub> · α <sub>max</sub> ) mrad bei α <sub>max</sub> = 100 mrad
T <sub>2</sub>	α < 1,5	T <sub>2</sub> = 10 s
	1,5 < α < 100	T <sub>2</sub> = 10 · [10 <sup>(α - 1,5) / 98,5</sup> ] s
	α > 100	T <sub>2</sub> = 100 s
Parameter nach ICNIRP	Gültige Expositionsdauer (s)	Wert
γ	t ≤ 100	γ = 11 [mrad]
	100 < t < 10 <sup>4</sup>	γ = 1,1 t <sup>0,5</sup> [mrad]
	t > 10 <sup>4</sup>	γ = 110 [mrad]



Tabelle 2.6

**Korrektur bei wiederholter Exposition**

Jede der drei folgenden allgemeinen Regeln ist bei allen wiederholten Expositionen anzuwenden, die bei wiederholt gepulster oder modulierter Laserstrahlung auftreten:

1. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls einer Impulsfolge darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls dieser Impulsdauer nicht überschreiten.
2. Die Exposition gegenüber einer Impulsgruppe (oder einer Untergruppe von Impulsen in einer Impulsfolge) innerhalb des Zeitraums  $t$  darf den Expositionsgrenzwert für die Zeit  $t$  nicht überschreiten.
3. Die Exposition gegenüber jedem einzelnen Impuls in einer Impulsgruppe darf den Expositionsgrenzwert für den Einzelimpuls, multipliziert mit einem für die kumulierte thermische Wirkung geltenden Korrekturfaktor  $C_p = N^{-0,25}$  nicht überschreiten (wobei  $N$  die Zahl der Impulse ist). Diese Regel gilt nur für Expositionsgrenzwerte zum Schutz gegen thermische Schädigung, wobei alle in weniger als  $T_{min}$  erzeugten Impulse als einzelner Impuls behandelt werden.

Parameter	Gültiger Spektralbereich (nm)	Wert
$T_{min}$	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9} \text{ s} (= 1 \text{ ns})$
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 18 \text{ } \mu\text{s})$
	$1050 < \lambda \leq 1400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 50 \text{ } \mu\text{s})$
	$1400 < \lambda \leq 1500$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$1500 < \lambda \leq 1800$	$T_{min} = 10 \text{ s}$
	$1800 < \lambda \leq 2600$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$2600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7} \text{ s} (= 100 \text{ ns})$



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

Fachgebiet Energie- und Wasserwirtschaft Düsseldorf  
 Telefon: 02 11 / 93 35 - 42 39  
 Telefax: 02 11 / 93 35 - 42 19  
 E-Mail: info.energie-wasser@bgetem.de

Fachgebiet Druck und Papierverarbeitung Wiesbaden  
 Telefon: 06 11 / 131 - 82 21  
 Telefax: 06 11 / 131 - 82 22  
 E-Mail: medien.dp@bgetem.de

Bei Rückfragen: Präventionszentren

Augsburg	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 60
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 61
Berlin	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 30
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 31
Braunschweig	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 20
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 21
Dresden	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 40
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 41
Düsseldorf	Telefon: 02 11 / 93 35 - 42 80
	Telefax: 02 11 / 93 35 - 19 42 80
Hamburg	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 90
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 91
Köln	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 10
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 11
Nürnberg	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 50
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 51
Stuttgart	Telefon: 02 21 / 37 78 - 16 70
	Telefax: 02 21 / 37 78 - 16 71
Wiesbaden	Telefon: 06 11 / 131 - 80 90
	Telefax: 06 11 / 131 - 80 91

**Berufsgenossenschaft  
Energie Textil Elektro  
Medienerzeugnisse**

**Gustav-Heinemann-Ufer 130  
50968 Köln  
Telefon 0221 3778-0  
Telefax 0221 3778-1199  
[www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)**

**Bestell-Nr. GV18.1**