

ANHANG B zur Verordnung optische Strahlung

Kohärente optische Strahlung (LASER)

Definitionen, Expositionsgrenzwerte, Ermittlung und Beurteilung nach Klassen für Laser

Definitionen

Kohärente Strahlung oder Laserstrahlung: aus einem Laser resultierende künstliche optische Strahlung.

LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung): jede Einrichtung, die dazu verwendet werden kann, elektromagnetische Strahlung im Bereich der Wellenlänge optischer Strahlung in erster Linie durch einen Prozess kontrollierter stimulierter Emission zu erzeugen oder zu verstärken.

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 der Tabellen B.4a, B.4b, B.4c, B.4d und B.4e zu vergleichen. Für die jeweilige Laserstrahlenquelle können mehrere Expositionswerte und entsprechende Expositionsgrenzwerte relevant sein.

Die in den Tabellen B.4a, B.4b, B.4c, B.4d und B.4e als Berechnungsfaktoren verwendeten Koeffizienten sind in Tabelle B.2, die Korrekturfaktoren für wiederholte Exposition sind in Tabelle B.3 aufgeführt. Die Strahlungsgefährdungen sind in Tabelle B.1 zusammengefasst.

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

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

Anmerkungen

dP Leistung, ausgedrückt in Watt [W];

dA Fläche, ausgedrückt in Quadratmetern [m²];

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

H Bestrahlung: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter [J·m⁻²];

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

λ Wellenlänge, ausgedrückt in Nanometer [nm];

γ Grenzeinfallswinkel, ausgedrückt in Milliradian [mrad];

γ_m Messeinfallswinkel, ausgedrückt in Milliradian [mrad];

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

Grenzblende: Durchmesser der kreisförmigen 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⁻²·sr⁻¹].

Tabelle B.1: Strahlungsgefährdung

| Wellenlänge λ [nm] | Strahlungsbereich | Betroffenes Organ | Gefährdung | Tabellen für Expositionsgrenzwerte |
|----------------------------|-------------------|-------------------|---|------------------------------------|
| 180 bis 400 | UV | Auge | Photochemische Schädigung und thermische Schädigung | B.4a B.4c |
| 180 bis 400 | UV | Haut | Erythem | B.4e |
| 400 bis 700 | sichtbar | Auge | Netzhautschädigung | B.4b, B.4d |
| 400 bis 600 | sichtbar | Auge | Photochemische Schädigung | B.4d |
| 400 bis 700 | sichtbar | Haut | Thermische Schädigung | B.4e |
| 700 bis 1400 | sichtbar, IR-A | Auge | Thermische Schädigung | B.4b B.4c |
| 700 bis 1400 | sichtbar, IR-A | Haut | Thermische Schädigung | B.4e |
| 1400 bis 2600 | IR-B | Auge | Thermische Schädigung | B.4b |
| 2600 bis 10^6 | IR-B, IR-C | Auge | Thermische Schädigung | B.4b |
| 1400 bis 10^6 | IR-B, IR-C | Auge | Thermische Schädigung | B.4c |
| 1400 bis 10^6 | IR-B, IR-C | Haut | Thermische Schädigung | B.4e |

Tabelle B.2: Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter (s. Tab. B.4b bis B.4e)

| Parameter nach ICNIRP ^(*) | Gültiger Spektralbereich λ [nm] | Wert |
|--------------------------------------|---|---|
| C_A | $\lambda < 700$ | $C_A = 1,0$ |
| | 700 – 1050 | $C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$ |
| | 1050 – 1400 | $C_A = 5,0$ |
| C_B | 400 – 450 | $C_B = 1,0$ |
| | 450 – 700 | $C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$ |
| C_C | 700 – 1150 | $C_C = 1,0$ |
| | 1150 – 1200 | $C_C = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$ |
| | 1200 – 1400 | $C_C = 8,0$ |
| T_1 | $\lambda < 450$ | $T_1 = 10 \text{ s}$ |
| | 450 – 500 | $T_1 = 10 \cdot 10^{0,02(\lambda - 450)} \text{ s}$ |
| | $\lambda > 500$ | $T_1 = 100 \text{ s}$ |
| Parameter nach ICNIRP ^(*) | Biologische Wirkung | Wert |
| α_{\min} | alle thermischen Wirkungen | $\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ |
| Parameter nach ICNIRP ^(*) | Gültiger Winkelbereich α [mrad] | Wert |
| C_E | $\alpha < \alpha_{\min}$ | $C_E = 1,0$ |
| | $\alpha_{\min} < \alpha < 100$ | $C_E = \alpha / \alpha_{\min}$ |
| | $\alpha > 100$ | $C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad}$ bei $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ |
| T_2 | $\alpha < 1,5$ | $T_2 = 10 \text{ s}$ |
| | $1,5 < \alpha < 100$ | $T_2 = 10 \cdot 10^{(\alpha - 1,5) / 98,5} \text{ s}$ |
| | $\alpha > 100$ | $T_2 = 100 \text{ s}$ |
| Parameter nach ICNIRP ^(*) | Gültige Expositionsdauer t [s] | Wert |
| γ | $t \leq 100$ | $\gamma = 11 \text{ [mrad]}$ |
| | $100 < t < 10^4$ | $\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5} \text{ [mrad]}$ |
| | $t > 10^4$ | $\gamma = 110 \text{ [mrad]}$ |

^(*) ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Tabelle B.3: 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 λ [nm] | Wert |
|------------|---|---|
| T_{\min} | $315 < \lambda \leq 400$ | $T_{\min} = 10^{-9} \text{ s (= 1 ns)}$ |
| | $400 < \lambda \leq 1050$ | $T_{\min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s (= 18 } \mu\text{s)}$ |
| | $1050 < \lambda \leq 1400$ | $T_{\min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s (= 50 } \mu\text{s)}$ |
| | $1400 < \lambda \leq 1500$ | $T_{\min} = 10^{-3} \text{ s (= 1 ms)}$ |
| | $1500 < \lambda \leq 1800$ | $T_{\min} = 10 \text{ s}$ |
| | $1800 < \lambda \leq 2600$ | $T_{\min} = 10^{-3} \text{ s (= 1 ms)}$ |
| | $2600 < \lambda \leq 10^6$ | $T_{\min} = 10^{-7} \text{ s (= 100 ns)}$ |

Expositionsgrenzwerte

Tabelle B.4a: Expositionsgrenzwerte des Auges gegenüber Laserstrahlen - Kurze Expositionsdauer < 10 s

| Wellenlänge ^(a) λ [nm] | | Grenz- blende | Dauer t [s] | | |
|--------------------------------------|---|--|---|--------------------------------------|---|
| | | | 10 ⁻¹³ - 10 ⁻¹¹ | 10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹ | 10 ⁻⁹ - 10 ¹ |
| UV-C | 180 - 280 | 1 mm für t < 0,3 s; 1,5·t ^{0,375} für 0,3 s < t < 10 s | E = 3·10 ¹⁰ [W·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(c) | | H = 30 [J·m ⁻²] |
| | 280 - 302 | | | | H = 40 [J·m ⁻²]; wenn t < 2,6·10 ⁻⁹ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) |
| 303 | H = 60 [J·m ⁻²]; wenn t < 1,3·10 ⁻⁸ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 304 | H = 100 [J·m ⁻²]; wenn t < 1,0·10 ⁻⁷ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 305 | H = 160 [J·m ⁻²]; wenn t < 6,7·10 ⁻⁷ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 306 | H = 250 [J·m ⁻²]; wenn t < 4,0·10 ⁻⁶ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 307 | H = 400 [J·m ⁻²]; wenn t < 2,6·10 ⁻⁵ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| UV-B | 308 | | | | H = 630 [J·m ⁻²]; wenn t < 1,6·10 ⁻⁴ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) |
| 309 | H = 10 ³ [J·m ⁻²]; wenn t < 1,0·10 ⁻³ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 310 | H = 1,6 · 10 ³ [J·m ⁻²]; wenn t < 6,7·10 ⁻³ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 311 | H = 2,5 · 10 ³ [J·m ⁻²]; wenn t < 4,0·10 ⁻² dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 312 | H = 4,0 · 10 ³ [J·m ⁻²]; wenn t < 2,6·10 ⁻¹ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 313 | H = 6,3 · 10 ³ [J·m ⁻²]; wenn t < 1,6·10 ⁰ dann H = 5,6·10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²]; siehe Fußnote ^(d) | | | | |
| 314 | H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²] | | | | |
| UV-A | 315 - 400 | | | | H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J·m ⁻²] |

Fußnoten siehe Tabelle B.4b

Tabelle B.4b: Expositionsgrenzwerte des Auges gegenüber Laserstrahlen - Kurze Expositionsdauer < 10 s

| Wellenlänge ^(a) λ [nm] | | Grenz- blende | Dauer [s] | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|---|---|---|---|---|---|------------------------------------|
| | | | 10 ⁻¹³ - 10 ⁻¹¹ | 10 ⁻¹¹ - 10 ⁻⁹ | 10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁷ - 1,8·10 ⁻⁵ | 1,8·10 ⁻⁵ - 5·10 ⁻⁵ | 5·10 ⁻⁵ - 10 ⁻³ | 10 ⁻³ - 10 ¹ |
| sichtbar und IR-A | 400 - 700 | 7 mm | $H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 5 \cdot 10^{-3} \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | $H = 18 t^{0,75} \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | |
| | 700 - 1050 | | $H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot C_A \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t^{0,75} \cdot C_A \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 5 \cdot 10^{-3} \cdot C_A \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | $H = 18 t^{0,75} \cdot C_A \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | |
| | 1 050 - 1400 | | $H = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot C_C \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 2,7 \cdot 10^5 \cdot t^{0,75} \cdot C_C \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 5 \cdot 10^{-2} \cdot C_C \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | $H = 90 t^{0,75} \cdot C_C \cdot C_E \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |
| IR-B und IR-C | 1400 - 1500 | siehe Fußnote ^(b) | $E = 10^{12} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ Siehe Fußnote ^(c) | | $H = 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |
| | 1500 - 1800 | | $E = 10^{13} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ Siehe Fußnote ^(c) | | $H = 10^4 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | | |
| | 1800 - 2600 | | $E = 10^{12} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ Siehe Fußnote ^(c) | | $H = 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |
| | 2600 - 10 ⁶ | | $E = 10^{11} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ Siehe Fußnote ^(c) | | $H = 100 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |

Fußnoten zu Tabelle B.4a und B.4b:

^(a) Existieren für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte, so gilt der strengere Wert.

^(b) Wenn $1400 \text{ nm} \leq \lambda < 10^5 \text{ nm}$: *Grenzblende* = 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 $10^5 \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$: *Grenzblende* = 11 mm.

^(c) Mangels Daten empfiehlt die ICNIRP^(*) für Impulslängen < 1 ns als Expositionsgrenzwert der Bestrahlungsstärke den Grenzwert für eine Impulslänge von 1 ns zu verwenden.

^(d) Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Impulsdauern von Impulsen, die innerhalb eines Intervalls T_{\min} (siehe Tabelle B.3) 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.

^(*) ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Tabelle B.4c: Expositionsgrenzwerte des Auges gegenüber Laserstrahlen - Lange Expositionsdauer ≥ 10 s

| Wellenlänge ^(a) λ [nm] | | Grenz- blende | Dauer t [s] | |
|--|--|---------------------------------|--|---|
| | | | $10^1 - 3 \cdot 10^4$ | |
| UV-C | 180 – 280 | 3,5 mm | $H = 30 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |
| | 280 – 302 | | $H = 40 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |
| 303 | $H = 60 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 304 | $H = 100 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 305 | $H = 160 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 306 | $H = 250 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 307 | $H = 400 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 308 | $H = 630 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 309 | $H = 1,0 \cdot 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 310 | $H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 311 | $H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 312 | $H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 313 | $H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| 314 | $H = 10^4 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ | | | |
| UV-A | 315 - 400 | | | $H = 10^4 \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ |
| sichtbar, IR-A | 700 - 1400 | | 7 mm | wenn $\alpha < 1,5$ mrad, dann $E = 10 \cdot C_A \cdot C_C \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T_2$, dann $H = 18 \cdot C_A \cdot C_C \cdot C_E \cdot t^{0,75} \text{ [J}\cdot\text{m}^{-2}]$ wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T_2$, dann $E = 18 \cdot C_A \cdot C_C \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25} \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ (maximal $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) |
| IR-B, IR-C | $1400 - 10^6$ | Siehe Fußnote ^(c) | $E = 1000 \text{ [W}\cdot\text{m}^{-2}]$ | |

Tabelle B.4d: Expositionsgrenzwerte des Auges gegenüber Laserstrahlen im sichtbaren Bereich - Lange Expositionsdauer ≥ 10 s

| Wellenlänge ^(a) λ [nm] | | Grenz- blende | Dauer t [s] | | |
|--|---|------------------|--|---|---|
| | | | $10^1 - 10^2$ | $10^2 - 10^4$ | $10^4 - 3 \cdot 10^4$ |
| sichtbar | 400 - 600 Photochemisch ^(b) Netzhautschädigung | 7 mm | $H = 100 \cdot C_B$ [$J \cdot m^{-2}$] ($\gamma = 11$ mrad) ^(d) | $E = 1 \cdot C_B$ [$W \cdot m^{-2}$]; ($\gamma = 1,1 t^{0,5}$ mrad) ^(d) | $E = 1 \cdot C_B$ [$W \cdot m^{-2}$] ($\gamma = 110$ mrad) ^(d) |
| | 400 - 700 Thermisch ^(b) Netzhautschädigung | | wenn $\alpha < 1,5$ mrad, dann $E = 10$ [$W \cdot m^{-2}$] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T_2$, dann $H = 18 \cdot C_E \cdot t^{0,75}$ [$J \cdot m^{-2}$] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T_2$, dann $E = 18 \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25}$ [$W \cdot m^{-2}$] | | |

Fußnoten zu Tabelle B.4c und B.4d:

^(a) Existieren für eine Wellenlänge oder eine andere Eigenschaft des Lasers zwei Expositionsgrenzwerte, so gilt der strengere Wert.

^(b) Bei kleinen Quellen mit einem Öffnungswinkel von 1,5 mrad oder weniger sind die beiden Expositionsgrenzwerte für sichtbare Strahlung E von 400 nm bis 600 nm zu reduzieren auf die thermischen Expositionsgrenzwerte für $10 \text{ s} \leq t < T_1$ und auf die photochemischen Expositionsgrenzwerte für längere Zeiten. Zu T_1 und T_2 siehe Tabelle B.2. Der Expositionsgrenzwert für photochemische Netzhautgefährdung kann auch ausgedrückt werden als Integral der Strahldichte über die Zeit $G = 10^6 \cdot C_B$ [$J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$], wobei Folgendes gilt:

$t > 10$ s bis zu $t = 10000$ s und $L = 100 \cdot C_B$ [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$] bei $t > 10000$ s. Zur Messung von G und L ist γ_m 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_t von der CIE und die Bezeichnung L_p von der IEC und dem CENELEC.)

^(c) Für die Wellenlänge $1400 - 10^5$ nm: *Grenzblende* = 3,5 mm; für die Wellenlänge 10^5 nm - 10^6 nm: *Grenzblende* = 11 mm.

^(d) Für Messungen des Expositionswertes ist γ wie folgt zu berücksichtigen: Wenn α (Öffnungswinkel einer Quelle) $> \gamma$ (Grenzkegelwinkel, in eckigen Klammern in der entsprechenden Spalte angegeben), dann sollte das Messgesichtsfeld γ_m den Wert γ erhalten. (Bei Verwendung eines größeren Messgesichtsfelds würde die Gefährdung zu hoch angesetzt.) Wenn $\alpha < \gamma$, dann muss das Messgesichtsfeld γ_m groß genug sein, um die Quelle einzuschließen; es ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als γ .

Tabelle B.4e: Expositionsgrenzwerte der Haut gegenüber Laserstrahlen

| Wellenlänge ^(a) λ [nm] | | Grenz- blende | Dauer t [s] | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|---|--|--|---|---|---|---------------------------------------|
| | | | < 10 ⁻⁹ | 10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁷ - 10 ⁻³ | 10 ⁻³ - 10 ¹ | 10 ¹ - 10 ³ | 10 ³ - 3 · 10 ⁴ |
| UV (A,B,C) | 180 - 400 | 3,5 mm | E = 3 · 10 ¹⁰ [W · m ⁻²] | Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge | | | | |
| | sichtbar, IR-A | | 400 - 700 | E = 2 · 10 ¹¹ [W · m ⁻²] | H = 200 · C _A [J · m ⁻²] | H = 1,1 · 10 ⁴ · C _A · t ^{0,25} [J · m ⁻²] | E = 2 · 10 ³ · C _A [W · m ⁻²] | |
| 700 - 1400 | | | E = 2 · 10 ¹¹ C _A [W · m ⁻²] | | | | | |
| IR-B, IR-C | 1400 - 1500 | | E = 10 ¹² [W · m ⁻²] | Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge | | | | |
| | 1500 - 1800 | | E = 10 ¹³ [W · m ⁻²] | | | | | |
| | 1800 - 2600 | | E = 10 ¹² [W · m ⁻²] | | | | | |
| | 2600 - 10 ⁶ | E = 10 ¹¹ [W · m ⁻²] | | | | | | |

^(a) Existieren für eine Wellenlänge oder eine andere Eigenschaft des Lasers zwei Expositionsgrenzwerte, so gilt der strengere Wert.

Ermittlung und Beurteilung nach Klassen für Laser

Tabelle B.5 - Laserklassen, Gefahr, Maßnahmen (Expositionsgrenzwert)

| Laserklasse | Gefahr ⁽¹⁾ hinsichtlich biologischer Wirkung im Gefahrenbereich | Kann Expositionsgrenzwert überschritten sein? Falls ja, ist § 3 Abs. 2 anzuwenden. |
|-------------|---|--|
| Klasse 1 | <ul style="list-style-type: none"> ■ augen- und hautsicher | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Sonst: Nein</p> |
| Klasse 1 M | <ul style="list-style-type: none"> ■ augensicher, falls nicht durch Blick mit optischen Instrumenten der Strahlquerschnitt verkleinert wird und ■ hautsicher | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Ja, bei Anwendung von optischen Instrumenten Sonst: Nein</p> |
| Klasse 2 | <ul style="list-style-type: none"> ■ augensicher durch Abwendungsreaktion und Lidschlussreflex und ■ hautsicher | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Ja, bei Applikationen, die Abwendungsreaktionen oder Lidschlussreflex einschränken oder verhindern sowie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ unter Verhältnissen, bei denen bewusst in den Strahl geblickt werden muss <p>Sonst: Nein</p> |
| Klasse 2 M | <ul style="list-style-type: none"> ■ augensicher durch Abwendungsreaktion und Lidschlussreflex; falls nicht durch Blick mit optischen Instrumenten der Strahlquerschnitt verkleinert wird und ■ hautsicher | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Ja, bei Anwendung von optischen Instrumenten Ja, bei Applikationen, die Abwendungsreaktionen oder Lidschlussreflex einschränken oder verhindern sowie</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ unter Verhältnissen, bei denen bewusst in den Strahl geblickt werden muss <p>Sonst: Nein</p> |
| Klasse 3 R | <ul style="list-style-type: none"> ■ Blick in den direkten oder gespiegelten Strahl kann gefährlich sein ■ Blick in den diffus gestreuten Strahl nicht gefährlich ■ hautsicher | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Ja, hinsichtlich der Gefahr für Augen innerhalb des Gefahrenbereiches. Das Risiko ist gering bei zufällig kurzzeitiger Exposition Sonst: Nein</p> |
| Klasse 3 B | <ul style="list-style-type: none"> ■ Blick in den direkten oder gespiegelten Strahl kann gefährlich sein ■ Blick in den diffus gestreuten Strahl außerhalb eines Abstandes von 13 cm bei einer Betrachtungsdauer von weniger als 10 s nicht gefährlich ■ kann im oberen Leistungsbereich hautgefährlich sein | <p>Ja, Instandhaltung⁽²⁾ Ja, hinsichtlich der Gefahr für Augen und Haut innerhalb des Gefahrenbereiches. Das Risiko für Haut ist gering Sonst: Nein</p> |
| Klasse 4 | <ul style="list-style-type: none"> ■ Blick in den direkten oder gespiegelten Strahl kann sehr gefährlich sein ■ Blick in den diffus gestreuten Strahl kann gefährlich sein ■ kann für Haut gefährlich sein | <p>Ja, bei Instandhaltung⁽²⁾ Ja, hinsichtlich der Gefahr für Augen- und Haut innerhalb des jeweiligen Gefahrenbereiches Sonst: Nein</p> |

⁽¹⁾ Sicherheit, Gefahr gegenüber biologischer Wirkung im Gefahrenbereich unter vorhersehbaren Bedingungen bei bestimmungsgemäßer Verwendung für kontinuierlichen und gepulsten Betrieb

⁽²⁾ Instandhaltung, wie Wartung, Störungsbehebung, Reparatur, Justierung. Beispielsweise kann bei gekapselten Lasereinrichtungen durch Entfernen von Schutzeinrichtungen im Rahmen der Instandhaltung ein wesentlich höheres Gefahrenpotenzial auftreten als durch die Laserklasse angegeben ist. Daher ist für derartige Tätigkeiten immer zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen sie sicher durchgeführt werden können.