

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/836e620e-d7f7-3e8f-9f0f-54f802d8d0ca>

Bibliografie	
<b>Titel</b>	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung TROS Laserstrahlung Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung
<b>Redaktionelle Abkürzung</b>	TROS Laser Teil 2
<b>Normtyp</b>	Technische Regel
<b>Normgeber</b>	Bund
<b>Gliederungs-Nr.</b>	Keine FN

## Anhang 4 TROS Laser Teil 2 - Expositionsgrenzwerte

### A4.1

#### Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung

(1) Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für Laserstrahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von der Wellenlänge und der Expositionsdauer ab. Die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten <sup>1</sup> (EGW) der Tabellen A4.3 bis A4.5 zu vergleichen. Für die jeweilige Laserstrahlenquelle können mehrere Expositionsgrenzwerte relevant sein.

(2) Die in den Tabellen A4.3 bis A4.5 als Berechnungsfaktoren verwendeten Koeffizienten sind in Tabelle A4.6, die Korrekturfaktoren für wiederholte Exposition sind in Tabelle A4.7 aufgeführt.

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

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E(t) \cdot dt \quad \text{in } J \cdot m^{-2}$$

P	Leistung, ausgedrückt in Watt (W);
---	------------------------------------

A Fläche, ausgedrückt in Quadratmeter (m<sup>2</sup>);

E, E(t) Bestrahlungsstärke oder Leistungsdichte: die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter (W · m<sup>-2</sup>); die Werte E und E(t) 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, Expositionsdauer: Δt = t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>, ausgedrückt in Sekunden (s);

λ Wellenlänge, ausgedrückt in Nanometern (nm);

γ Empfangswinkel: der ebene Winkel innerhalb dessen ein Empfänger auf optische Strahlung anspricht, auch Gesichtsfeld genannt, ausgedrückt in Milliradian (mrad);

γ<sub>P</sub> Grenz-Empfangswinkel, ausgedrückt in Milliradian (mrad);

P	Leistung, ausgedrückt in Watt (W);
D	Durchmesser der Messblende; die Messblende ist die kreisförmige Fläche mit dem Durchmesser D, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden;
$\alpha$	Winkelausdehnung einer Quelle, ausgedrückt in Milliradian (mrad);
L, L(t)	Strahldichte der Quelle, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ );
G	integrierte Strahldichte: das Integral der Strahldichte über eine bestimmte Expositionsdauer, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter pro Steradian ( $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ); Strahlungsenergie je Flächeneinheit einer Abstrahlfläche je Einheitsraumwinkel der Emission.

Tab. A4.1  
Zuordnung der Tabellen für die Expositionsgrenzwerte zu den Wellenlängenbereichen

Wellenlänge $\lambda$ in nm	Wellenlängenbereich	Betroffenes Organ	Tabelle für die Expositionsgrenzwerte
100 - 400	UV	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
400 - 600	sichtbar	Auge	A4.4
400 - 700	sichtbar	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
700 - 1 400	IR-A	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
1 400 - 10 <sup>6</sup>	IR-B, IR-C	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5

Tab. A4.2  
Akute und Langzeitwirkungen von Laserstrahlung

Wellenlänge λ/nm	Wellenlängenbereich	Betroffenes Organ	Schädigung
100 - 400	UV	Auge	Hornhautentzündung Bindehautentzündung Grauer Star
		Haut	fotosensitive Reaktionen Hautrötung Verstärkte Pigmentierung Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Verbrennung der Haut Hautkrebs
400 - 600	sichtbar	Auge	fotochemische Netzhautschädigung
400 - 700	sichtbar	Auge	Netzhautschädigung
		Haut	fotosensitive Reaktionen Verbrennung der Haut
700 - 1 400	IR-A	Auge	Grauer Star Verbrennung der Netzhaut
		Haut	Verbrennung der Haut
1 400 - 2 600	IR-B	Auge	Grauer Star Verbrennung der Hornhaut
2 600 - 10 <sup>6</sup>	IR-C	Auge	Verbrennung der Hornhaut
1 400 - 10 <sup>6</sup>	IR-B, IR-C	Haut	Verbrennung der Haut

Tab. A4.3

Expositionsgrenzwerte für die Einwirkung von Laserstrahlung auf das Auge, kurze Expositionsdauer (t < 10 s)

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s			
10 <sup>-13</sup> -10 -11	10 <sup>-11</sup> -10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> -1,8 · 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-5</sup>	1,8 · 10 <sup>-5</sup> -5 · 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-5</sup>	5 · 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-3</sup>

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s			
UV-C	100 <sup>1)</sup> - 280 280 - 302		$H = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
UV-B	303	1 mm für $t \leq 0,35 \text{ s}$ <sup>2)</sup> ; $1,5 \cdot t$ 0,375 mm für $0,35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 40 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ s}$	} gilt $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ (siehe b)
	304			$H = 60 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 1,3 \cdot 10^{-8} \text{ s}$	
	305			$H = 100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}$	
	306			$H = 160 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ s}$	
	307			$H = 250 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}$	
	308			$H = 400 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ s}$	
	309			$H = 630 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	
	310			$H = 1000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ s}$	
	311			$H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ s}$	
	312			$H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ s}$	
	313			$H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 2,6 \cdot 10^{-1} \text{ s}$	
	314			$H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ;	für $t < 1,6 \text{ s}$	

UV-A	315 - 400		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t_{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
------	-----------	--	---

Tab. A4.3  
Fortsetzung

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)			Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s			
$10^{-13}$ $10^{-11}$	$10^{-9}$ $10^{-7}$	$10^{-9}$ $10^{-7}$	$10^{-7}$ - $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ $5 \cdot 10^{-5}$ $10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ - $10^{-3}$	$10^{-3}$ $10^{-10}$	
Sichtbar und IR-A	400 - 700	7 mm	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 18 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	
	700 - 1 050		$H = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \text{CA} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^4 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CA} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{CA} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 18 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CA} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	
	1 050 - 1 400		$H = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{CC} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 2,7 \cdot 10^5 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CC} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \text{CC} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 90 \cdot t_{0,75} \cdot \text{CC} \cdot \text{CE J} \cdot \text{m}^{-2}$	
IR-B und IR-C	1 400 - 1 500	siehe c	$E = 10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t_{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
	1 500 - 1 800		$E = 10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
	1 800 - 2 600		$E = 10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t_{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
	2 600 - $10^6$		$E = 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t_{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
<b>a</b>	Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengeren Wert darstellt. Expositionsgrenzwerte für Zeiten unterhalb $10^{-13}$ s werden dem jeweiligen Expositionsgrenzwert bei $10^{-13}$ s, ausgedrückt in Einheiten der Bestrahlungsstärke, gleichgesetzt.						

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)	Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s
<b>b</b>	Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern, die innerhalb der Expositionsdauer t liegen, addiert werden. Die daraus resultierende Expositionsdauer muss in die Formel $H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ für t eingesetzt werden.	
<b>c</b>	Wenn $1\,400\text{ nm} \leq \lambda < 10^5\text{ nm}$ , dann gilt: - für $t \leq 0,35\text{ s}$ <sup>3)</sup> , D = 1 mm - für $0,35\text{ s} < t < 10\text{ s}$ , D = $1,5 \cdot t_{0,375}$ mm. Wenn $10^5\text{ nm} \leq \lambda < 10^6\text{ nm}$ , dann ist D = 11 mm.	

Tab. A4.4

Expositionsgrenzwerte für die Exposition des Auges durch Laserstrahlung, lange Expositionsdauer ( $t \geq 10\text{ s}$ )

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)	Durchmesser der Messblende D in mm	Expositionsdauer in s
<b>10-10<sub>2</sub></b>	<b>10<sub>2</sub>-10<sub>4</sub></b>	<b>10<sub>4</sub>-3 · 10<sub>4</sub></b>
UV-C	100 <sup>1)</sup> - 280	30
UV-B	280 - 302	30
	303	40
	304	60
	305	100
	306	160
	307	250
	308	H = { 400 } J · m <sup>-2</sup>
	309	630
	310	1 000
	311	1 600
	312	2 500
	313	4 000
	314	6 300
UV-A	315-400	10 000

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D in mm	Expositionsdauer in s		
Sichtbar	400 - 600 Fotochemische Netzhautschädigung (siehe b)	7	$H = 100 \cdot C$ $B \text{ J} \cdot \text{m}^{-2};$ $\gamma = 11$ mrad (siehe c)	$E = 1 \cdot CB \text{ W} \cdot \text{m}^{-2};$ $\gamma = 1,1 \cdot t^{0,5}$ mrad (siehe c)	$E = 1 \cdot CB \text{ W} \cdot \text{m}^{-2};$ $\gamma = 110$ mrad (siehe c)
	400 - 700 Thermische Netzhautschädigung (siehe b)		$\alpha \leq 2) 1,5$ mrad $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T2$ $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T2$	$E = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ $H = 18 \cdot CE \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $E = 18 \cdot CE \cdot T2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
IR-A	700 - 1 400		$\alpha \leq 3) 1,5$ mrad $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T2$ $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T2$	$E = 10 \cdot CA \cdot CC \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ $H = 18 \cdot CA \cdot CC \cdot CE \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ $E = 18 \cdot CA \cdot CC \cdot CE \cdot T2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (maximal 1 000 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	
IR-B und IR-C	1 400 - 10 <sup>5</sup>	3,5	$E = 1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	11			
a	Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengerem Wert darstellt.				
b	Bei kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung $\alpha \leq 1,5$ mrad sind statt der beiden Expositionsgrenzwerte E für Wellenlängen von 400 nm bis 600 nm nur die thermischen Expositionsgrenzwerte für $10 \text{ s} \leq t < T1$ und die fotochemischen Expositionsgrenzwerte für längere Zeiten anzuwenden. Zu T1 und T2 siehe Tabelle A4.6. Der Expositionsgrenzwert für fotochemische Netzhautschädigung kann auch als Integral der Strahlendichte über die Zeit ausgedrückt werden, wobei für $10 \text{ s} \leq t \leq 10\,000 \text{ s}$ , $G = 10^6 \cdot CB \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ , und für $t > 10\,000 \text{ s}$ , $L = 100 \cdot CB \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ gilt. Zur Messung von G und L ist $\gamma_P$ als Mittelung des Empfangswinkels zu verwenden.				
c	Für Messungen des Expositionswertes ist $\gamma_P$ wie folgt zu berücksichtigen:				
	-	Wenn $\alpha > \gamma$ , dann $\gamma = \gamma_P$ . Bei Verwendung eines größeren Empfangswinkels würde die Gefährdung überbewertet.			
	-	Wenn $\alpha < \gamma$ , dann muss $\gamma$ die betrachtete Quelle voll erfassen. Er ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als $\gamma_P$ .			

Tab. A4.5

Expositionsgrenzwerte für die Exposition der Haut durch Laserstrahlung

Wellenlänge $\lambda$ in nm (siehe a)				Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s		
< 10 -9	10 -9 -10 -7	10 -7 -10 -3	10 <sup>-3</sup> -10	10-10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -3 · 10 <sup>4</sup>		
UV (A, B, C)		100 - 400	3,5 mm	E = 3 · 10 <sup>10</sup> W · m <sup>-2</sup>	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge		
sichtbar und IR-A	400 - 700	E = 2 · 10 <sup>11</sup> W · m <sup>-2</sup>		H = 200 · CA J · m <sup>-2</sup>	H = 1,1 · 10 <sup>4</sup> · CA · t <sup>0,25</sup> J · m <sup>-2</sup>	E = 2 · 10 <sup>3</sup> · CA W · m <sup>-2</sup>	
	700 - 1 400	E = 2 · 10 <sup>11</sup> · C A W · m <sup>-2</sup>					
IR-B und IR-C	1 400 - 1 500	E = 10 <sup>12</sup> W · m <sup>-2</sup>		Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge (siehe b)			
	1 500 - 1 800	E = 10 <sup>13</sup> W · m <sup>-2</sup>					
	1 800 - 2 600	E = 10 <sup>12</sup> W · m <sup>-2</sup>					
	2 600 - 10 <sup>6</sup>	E = 10 <sup>11</sup> W · m <sup>-2</sup>					
<b>a</b>	Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengeren Wert darstellt.						
<b>b</b>	Für Expositionsdauern t > 10 s gilt:						
-	Für bestrahlte Hautflächen AH > 0,1 m <sup>2</sup> beträgt der Expositionsgrenzwert E = 100 W · m <sup>-2</sup> .						
-	Für Flächen von 0,01 m <sup>2</sup> bis 0,1 m <sup>2</sup> verändert sich der Expositionsgrenzwert umgekehrt proportional zur bestrahlten Hautfläche: E = 10 W / AH.						

Tab. A4.6

Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter

Parameter	Gültiger Spektralbereich $\lambda$ in nm	Wert
CA	< 700	1
	700 - 1 050	10 <sup>0,002</sup> ( $\lambda$ - 700)
	1 050 - 1 400	5
CB	400 - 450	1
	450 - 600	10 <sup>0,02</sup> ( $\lambda$ - 450)

Parameter	Gültiger Spektralbereich $\lambda$ in nm	Wert
CC	700 - 1 150	1
	1 150 - 1 200	$10^{0,018(\lambda - 1150)}$
	1 200 - 1 400	8
T1	< 450	10 s
	450 - 500	$10 \cdot 10^{0,02(\lambda - 450)}$ s
	> 500	100 s
Parameter	Biologische Wirkung	Wert
$\alpha_{min}$	alle thermischen Wirkungen	1,5 mrad
Parameter	Winkelausdehnung in mrad	Wert
CE	$\alpha \leq \alpha_{min}$	1
	$\alpha_{min} < \alpha \leq 100$	$\alpha / \alpha_{min}$
	$\alpha > 100$	$\alpha_{max} / \alpha_{min}$ bei $\alpha_{max} = 100$ mrad
T2	$\alpha \leq 1,5$	10 s
	$1,5 < \alpha \leq 100$	$10 \cdot 10^{[(\alpha - 1,5) / 98,5]}$ s
	$\alpha > 100$	100 s
Parameter	Expositionsdauer t in s	Wert in mrad
$\gamma_p$	$t \leq 100$	11
	$100 < t \leq 10^4$	$1,1 \cdot t^{0,5}$
	$t > 10^4$	110

Hinweis:

Die Parameter  $C_E$  und  $T_2$  gelten nur für den Wellenlängenbereich  $400 \text{ nm} < \lambda \leq 1\,400 \text{ nm}$ .

Tab. A4.7

Korrektur bei wiederholter Exposition (Impulsfolgen)

Gültiger Spektralbereich in nm	Tmin in s
$315 < \lambda \leq 400$	$10^{-9}$
$400 < \lambda \leq 1\,050$	$18 \cdot 10^{-6}$

Gültiger Spektralbereich in nm	T <sub>min</sub> in s
1 050 < λ ≤ 1 400	50 · 10 <sup>-6</sup>
1 400 < λ ≤ 1 500	10 <sup>-3</sup>
1 500 < λ ≤ 1 800	10 <sup>-1</sup>
1 800 < λ ≤ 2 600	10 <sup>-3</sup>
2 600 < λ ≤ 10 <sup>6</sup>	10 <sup>-7</sup>

(3) Jede der drei folgenden Regeln ist bei allen Expositionen anzuwenden, die bei wiederholt gepulster oder modulierter Laserstrahlung auftreten. Der restriktivste Wert, der sich im Vergleich mit den Strahlungsdaten, ermittelt nach der jeweiligen Messbedingung, ergibt, ist auszuwählen.

- Die Exposition durch jeden einzelnen Impuls einer Impulsfolge darf den Expositionsgrenzwert für einen Einzelimpuls dieser Impulsdauer nicht überschreiten.
- Die Exposition durch eine Impulsgruppe (oder eine beliebige Untergruppe von Impulsen in einer Impulsfolge) innerhalb eines beliebigen Zeitraums t darf den Expositionsgrenzwert für die Zeitdauer t nicht überschreiten.
- Die Exposition durch jeden 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 innerhalb des Zeitraums t ist. Diese Regel gilt nur für Expositionsgrenzwerte zum Schutz gegen thermische Schädigung, wobei alle in weniger als  $T_{min}$  erzeugten Impulse als einzelner Impuls mit der Dauer  $T_{min}$  behandelt werden.

(4) Um zu prüfen, ob bei einer vorgegebenen Wiederholfrequenz Impulse zusammen zu fassen sind, kann der zeitliche Abstand ΔT zwischen zwei Impulsen wie folgt aus der Impulswiederholfrequenz  $f_p$  des Lasers berechnet werden:

$$\Delta T = \frac{1}{f_p} \quad \text{Gl. A4.1}$$

(5) Zum Vergleich kann der Wert für  $T_{min}$  aus Tabelle A4.7 entnommen werden.

Beispiel:

Hat man Impulse mit einer Impulsdauer kleiner als 18 μs (gilt für 400 nm bis 1 050 nm), so können diese zu Impulsen  $T = 18 \mu s$  zusammengefasst werden. Es ergibt sich dann die neue Impulszahl N bei einer Zeitbasis von 100 s (18 μs, 100 s Zeitbasis)

$$N = \frac{100 \text{ s}}{18 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 5500000 \quad \text{Gl. A4.2}$$

Hinweis 1 [1](#):

Impulse im Sinne dieser Anlage sind Impulse mit den Impulsdauern von  $\leq 0,25 \text{ s}$ .

Hinweis 2 [2](#):

Die maximale Zeit T, für die die Impulszahl N ermittelt werden muss, ist für

315 nm < λ ≤ 400 nm:	30 000 s, oder die anzuwendende Expositionsdauer, falls diese kürzer ist;
----------------------	---

400 nm < λ ≤ 1 400 nm:  $T_2$  (Tabelle A4.6) oder die anzuwendende Expositionsdauer, falls diese kürzer ist;

$\lambda > 1\,400\text{ nm}$ :

10 s.

Hinweis 3 [3](#):

Bei sehr großen zu berücksichtigenden Impulszahlen kann es vorkommen, dass der berechnete Expositionsgrenzwert bezogen auf die Impuls(spitzen)leistung kleiner ist als der Expositionsgrenzwert für kontinuierliche Strahlung. In solchen Fällen gilt der Expositionsgrenzwert für kontinuierliche Strahlung.

**A4.2**

**Vereinfachte Expositionsgrenzwerte zur Auswahl von Laser-Schutz- und -Justierbrillen**

Um die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte insbesondere für die Bestimmung der Laser-Schutz- und Laser-Justierbrillen schnell überprüfen zu können, kann folgende Tabelle, die zur sicheren Seite hin vereinfachte Grenzwerte benutzt, für viele Fälle verwendet werden.

Tab. A4.8

Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges

Wellenlängenbereich in nm	Bestrahlungsstärke E				Bestrahlung H			
	D <sub>*</sub>		M <sub>**</sub>		M		I <sub>***</sub> , R <sub>****</sub>	
Impulsdauer in s	E/W · m <sup>-2</sup>	Impulsdauer in s	E/W · m <sup>-2</sup>	Impulsdauer in s	H/J · m <sup>-2</sup>	Impulsdauer in s	H/J · m <sup>-2</sup>	
100 ≤ λ < 315	30 000	0,001	< 10 <sup>-9</sup>	3 · 10 <sup>10</sup>	-	-	> 10 <sup>-9</sup> bis 3 · 10 <sup>-4</sup>	30
315 ≤ λ < 1 400	> 5 · 10 <sup>-4</sup> bis 10	10	-	-	< 10 <sup>-9</sup>	1,5 · 10 <sup>-4</sup>	> 10 <sup>-9</sup> bis 5 · 10 <sup>-4</sup>	0,005
1 400 ≤ λ ≤ 10 <sup>6</sup>	> 0,1 bis 10	1 000	< 10 <sup>-9</sup>	10 <sup>11</sup>	-	-	> 10 <sup>-9</sup> bis 0,1	100

Hinweis:

In dieser vereinfachten Tabelle wird Strahlung von Impulslasern nur bis 0,1 s als Impulslaserstrahlung betrachtet. Laserstrahlung ab 0,1 s wird als Dauerstrich-Strahlung betrachtet.

## Fußnoten

- <sup>1</sup> Grenzwerte für die Einwirkung von Laserstrahlung auf Personen sind als Expositionsgrenzwerte festgelegt.
- <sup>2</sup> Nach § 2 "Begriffsbestimmungen" der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.
- <sup>1)</sup> Nach § 2 "Begriffsbestimmungen" der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.
- <sup>2)</sup> Der Anfangspunkt der Funktion wurde - zur sicheren Seite hin - von 0,3 s auf 0,35 s verschoben, um eine bessere Anpassung zwischen variabler und fester Messblende zu erreichen. Zur Vereinfachung kann ein Durchmesser der Messblende von 1 mm verwendet werden.
- <sup>3)</sup> Der Anfangspunkt der Funktion wurde - zur sicheren Seite hin - von 0,3 s auf 0,35 s verschoben, um eine bessere Anpassung zwischen variabler und fester Grenzblende zu erreichen.
- <sup>1)</sup> Nach § 2 "Begriffsbestimmungen" der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.
- <sup>2)</sup> redaktionelle Änderung
- <sup>3)</sup> redaktionelle Änderung
- <sup>2</sup> Nach § 2 "Begriffsbestimmungen" der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.
- <sup>1</sup> Die maximale Impulsdauer ist bereits in den Begriffsbestimmungen (Teil "Allgemeines") beschrieben. Bei der Anwendung der Formel ist diese Einschränkung wichtig.
- <sup>2</sup> Die Zeitobergrenze T ist die Zeit der Einwirkung, ab der die Expositionsgrenzwerte in Leistung bzw. Bestrahlung ausgedrückt werden und sich mit zunehmender Expositionsdauer nicht mehr verschärfen.
- <sup>3</sup> Dieses Kriterium bewirkt, dass der Expositionsgrenzwert für einen Laserimpuls unter die Leistung fallen würde, die für einen Dauerstrichlaser für die kontinuierliche Strahlung gelten würde.
- <sup>\*</sup> Dauerstrich (konstante Leistung über mindestens 0,25 s)
- <sup>\*\*</sup> Modengekoppelt (Emission in Impulsen, die kleiner als  $10^{-7}$  s und länger als 1 ns sind)
- <sup>\*\*\*</sup> Impuls (Emissionen die kürzer als 0,25 s und länger als  $10^{-7}$  s sind)
- <sup>\*\*\*\*</sup> Riesenimpuls (Emission in Impulsen, die kürzer als  $10^{-7}$  s und länger als 1 ns sind)