

MZB-Werte für die thermische Netzhautgefährdung um den Faktor C_6 vergrößert, vorausgesetzt, dass die Winkelausdehnung der Quelle (gemessen am Auge des Beobachters) größer als α_{\min} ist, wobei α_{\min} gleich 1,5 mrad ist.

2.1 Der Korrekturfaktor C_6

Tabelle 2: Ergibt sich aus der Tabelle

$C_6 = 1$	für $\alpha \leq \alpha_{\min}$
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min}$	für $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min}$	für $\alpha > \alpha_{\max}$

2.2 α_{\min} und α_{\max}

$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$

Tabelle 3: Diese Tabelle enthält α_{\min} und α_{\max}

2.3 Wiederholt gepulste oder modulierte Laserstrahlung

Da es nur wenige Daten über die Bestrahlung mit Mehrfachimpulsen gibt, muss bei der Abschätzung der zulässigen Bestrahlung durch wiederholt gepulste Laserstrahlung besondere Vorsicht walten. Die folgenden Verfahren sollen angewandt werden, um die auf wiederholt gepulste Laserstrahlung anzuwendenden MZB-Werte zu bestimmen.

Die MZB für eine Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 10^6 nm ist durch die Benutzung der restriktivsten der Anforderungen a), b) und c) bestimmt. Die Anforderung c) gilt nur für die thermischen MZB-Werte und nicht für die fotochemischen MZB-Werte.

Die MZB für eine Bestrahlung der Augen für Wellenlängen unter 400 nm und die MZB für eine Bestrahlung der Haut sind durch die Benutzung der restriktivsten der Anforderungen a) und b) bestimmt.

- Die Bestrahlung durch jeden Einzelimpuls einer Impulsfolge darf nicht den MZB-Wert für einen Einzelimpuls überschreiten.
- Die mittlere Bestrahlungsstärke für eine Impulsfolge der Einwirkungsdauer T darf den MZB-Wert nach Tabelle 6a, 6b und 7 für einen Einzelimpuls der Einwirkungsdauer T nicht übersteigen.

- c) Die mittlere Bestrahlung durch Impulse innerhalb einer Impulsfolge darf den MZB-Wert des Einzelimpulses multipliziert mit dem Korrekturfaktor C_5 nicht übersteigen.

Anmerkung 1:

Die Bestrahlungen in einer Impulsfolge sind über die gleiche Emissionsdauer zu mitteln, die für die Bestimmung der Anzahl N der Impulse während der Bestrahlung benutzt wird. Jede mittlere Bestrahlung durch Impulse muss mit dem reduzierten Grenzwert $MZB_{\text{Impulsfolge}}$ verglichen werden, so wie es im Folgenden angegeben ist

$$MZB_{\text{Impulsfolge}} = MZB_{\text{Einzelimpuls}} \cdot C_5$$

Dabei ist:

$MZB_{\text{Impulsfolge}}$ = MZB-Wert für jeden Einzelimpuls in der Impulsfolge

$MZB_{\text{Einzelimpuls}}$ = MZB-Wert für einen Einzelimpuls

$C_5 = N^{-1/4}$, N = Anzahl der Impulse während der Bestrahlung.

In manchen Fällen kann dieser Wert unter den MZB-Wert für Dauerbetrieb fallen, der bei gleicher Spitzenleistung und der Anwendung der gleichen Emissions-Zeitdauer der Anwendung der gleichen Emissionsdauer gültig wäre. Unter diesen Voraussetzungen darf die MZB für Dauerbetrieb verwendet werden.

Werden Impulse veränderlicher Amplitude verwendet, ist die Bewertung für Impulse jeder Amplitude getrennt auszuführen sowie für die gesamte Impulsfolge.

Die längste Einwirkungsdauer, für die die Anforderung c) angewandt werden sollte, also zur Bestimmung von N , ist im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm T_2 (siehe Tabelle 8) und 10 s für längere Wellenlängen.

Anmerkung 2:

C_5 gilt nur für Dauern der Einzelimpulse unter 0,25 s.

Anmerkung 3:

Treten während der Zeitdauer T_i (siehe Tabelle 4) Mehrfachimpulse auf, werden sie als ein einziger Impuls gezählt, um N zu bestimmen, und die Bestrahlungen der einzelnen Impulse werden zum Vergleich mit der für T_i geltenden MZB addiert, falls alle einzelnen Impulsdauern größer als 10^{-9} s sind.

Wellenlänge	T_i 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}

Tabelle 4: Zeiten T_i unterhalb deren die Impulsgruppen aufsummiert werden

Anmerkung 4:

Die Bestrahlung durch jegliche Impulsgruppe (oder Impuls-Untergruppe einer Impulsfolge), die in irgendeinem Zeitintervall ausgesandt wird, sollte die MZB für diese Zeitdauer nicht überschreiten.

Anmerkung 5:

Falls die Impulsdauer oder die Impulsintervalle veränderlich sind, kann an Stelle der Anforderung c) die Methode der Impuls-Gesamt-Einschalt-Dauer (IGED) verwendet werden. In diesem Fall ist die MZB durch die Länge der IGED bestimmt, die die Summe über alle Impulsdauern innerhalb der Einwirkungsdauer darstellt bzw. durch T_2 – je nachdem was kürzer ist. Impulsen mit Impulsdauern unter T_i werden Impulsdauern von T_i zugeordnet. Treten zwei oder mehr Impulse innerhalb von T_i auf, werden diesen Impulsgruppen Impulsdauern von T_i zugeordnet. Zum Vergleich mit der MZB für die entsprechende Zeitdauer werden alle Bestrahlungen der Einzelimpulse addiert.

Dieses Verfahren ist der Anforderung c) äquivalent, falls die mittlere Bestrahlung der Impulse mit der MZB für den Einzelimpuls multipliziert mit C_5 verglichen wird.

4 Messblenden:

Für alle Messungen und Berechnungen der MZB-Werte ist eine geeignete Blende zu verwenden. Diese Blende ist bestimmt durch den maximalen Durchmesser einer kreisförmigen Fläche, über die die Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung zu mitteln ist. Die Werte für die Messblenden sind in der Tabelle 5 angegeben.

Für die Bestrahlung durch wiederholt gepulste Laser im Wellenlängenbereich zwischen 1 400 nm und 10^6 nm wird die 1 mm-Blende für die Bestimmung der Gefährdung aus einem einzelnen Impuls verwendet; dagegen wird die 3,5 mm-Blende zur Bestimmung der maximal zulässigen Bestrahlung für Bestrahlungen länger als 3 s verwendet.

Anmerkung:

Die Werte für die Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm sind mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser (Pupille) zu bestimmen. Der MZB-Wert darf nicht korrigiert werden, um kleinere Pupillendurchmesser zu berücksichtigen.

5 Messbedingungen:

5.1 Messblende:

Die Werte von Bestrahlung oder Bestrahlungsstärke, die mit den entsprechenden Werten der MZB verglichen werden sollen, sind über eine kreisförmige Blende zu mitteln, die den Messblenden von Tabelle 5 entsprechen.

Für Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm ist ein minimaler Messabstand von 100 mm zu verwenden.

Wellenlängenbereich nm	Blendendurchmesser für	
	Augen mm	Haut mm
180 bis 400	1	3,5
≥ 400 bis 1 400	7	3,5
$\geq 1\ 400$ bis 10^5	1 für $t \leq 0,35$ s $1,5 t^{3/8}$ für $0,35$ s $< t < 10$ s 3,5 für $t \geq 10$ s	3,5
$\geq 10^5$ bis 10^6	11	11

Tabelle 5: Blendendurchmesser für die Messung der Bestrahlungsstärke und der Bestrahlung durch Laser

5.2 Empfangswinkel:

a) Fotochemische MZB-Werte für die Netzhaut:

Bei Messungen an Quellen, die hinsichtlich der fotochemischen Grenzwerte (400 nm bis 600 nm) bewertet werden sollen, beträgt der Grenzempfangswinkel γ_p

für $10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s}$; $\gamma_p = 11 \text{ mrad}$

für $100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s}$; $\gamma_p = 1,1 \cdot t^{0,5} \text{ mrad}$

für $10^4 \text{ s} < t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ s}$; $\gamma_p = 110 \text{ mrad}$

Ist die Winkelausdehnung α der Quelle größer als der angegebene Grenzempfangswinkel γ_p , sollte der Empfangswinkel nicht größer als die Werte sein, die für γ_p festgelegt sind. Ist die Winkelausdehnung α der Quelle kleiner als der angegebene Grenzempfangswinkel γ_p , muss der Empfangswinkel die betrachtete Quelle voll erfassen, braucht im Übrigen aber nicht genau definiert zu sein, d.h. der Empfangswinkel braucht nicht auf γ_p beschränkt zu sein.

Anmerkung:

Ist bei Messungen an einzelnen kleinen Quellen $\alpha < \gamma_p$, dann braucht nicht mit einem bestimmten, genau definierten Empfangswinkel gemessen zu werden. Um einen genau definierten Empfangswinkel zu erhalten, kann der Empfangswinkel entweder durch Abbildung der Quelle auf eine Feldblende oder durch eine Ablendung der Quelle festgelegt werden.

b) Alle anderen Grenzwerte:

Für die Messung von Strahlung, die mit anderen MZB-Werten als denen für die fotochemische Gefährdung der Netzhaut verglichen werden soll, muss der Empfangswinkel die betrachtete Quelle voll erfassen (d.h. der Empfangswinkel muss mindestens so groß sein wie die Winkelausdehnung α der Quelle). Ist jedoch im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm $\alpha > \alpha_{\max}$, darf der Grenzempfangswinkel für die MZB-Werte, die sich auf die thermische Gefährdung beziehen, nicht größer als α_{\max} (0,1 rad) sein. In dem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm muss für die MZB-Werte, die sich auf die thermische Gefährdung beziehen, der Empfangswinkel für die Bewertung einer scheinbaren Quelle, die aus mehreren Punkten besteht, im Bereich

$\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ liegen.

5.3 Messung richtungsveränderlicher Laserstrahlung:

Messungen an richtungsveränderlicher Laserstrahlung haben mit einer stillstehenden Messblende mit 7 mm Durchmesser zu erfolgen (die entstehende zeitliche Änderung der aufgenommenen Strahlung soll als Impuls oder als Impulsfolge betrachtet werden).

6 Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm:

Für den Wellenlängenbereich von 100 nm bis 180 nm sind noch keine speziellen Werte für die maximal zulässige Bestrahlung festgelegt. Bis zu einer solchen Festlegung sind die MZB-Werte für die Wellenlänge 180 nm zu verwenden.

Einwirkungs- dauer in s	10^{13} bis 10^{11}	10^{11} bis 10^9	10^9 bis 10^7	10^7 bis $1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$ bis $5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$ bis $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$ bis 10
Wellen- länge λ in nm							
180 bis 302,5				$30 \text{ J} \cdot \text{m}^2$			
302,5 bis 315	$3 \cdot 10^{10} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^2$						
315 bis 400	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^2$						
400 bis 700	$1,5 \cdot 10^4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$27 \cdot 10^4 f^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5 \cdot 10^3 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$18 f^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^2$		
700 bis 1050	$1,5 \cdot 10^4 C_6 C_9 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$27 \cdot 10^4 f^{0,75} C_6 C_9 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5 \cdot 10^3 C_6 C_9 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$18 f^{0,75} C_6 C_9 \text{ J} \cdot \text{m}^2$			
1050 bis 1400	$1,5 \cdot 10^3 C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$27 \cdot 10^3 f^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5 \cdot 10^2 C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$90 f^{0,75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5600 f^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^2$		
1400 bis 1500		$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$	$10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^2$			
1500 bis 1800		$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^2$		$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5600 f^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^2$		
1800 bis 2600		$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$		$10^2 \text{ J} \cdot \text{m}^2$			
2600 bis 10^8		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^2$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5600 f^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$5600 f^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^2$		

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8

^b Die MZB für Einwirkungszeiten unter 10^4 s und für Wellenlängen unter 400 nm wurden abgeleitet, indem die äquivalente Bestrahlungsstärke aus den MZB-Werten, die für 10^5 s gelten, berechnet wurde. Die MZB für Einwirkungszeiten unter 10^{13} s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10^{13} s gelten.

^c Der Winkel γ_e ist der Grenzempfangswinkel für das Messstrahlumen.

^d Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zweifach, Grenzwerte, und die Bestrahlung darf keinen der geltenden MZB-Werte überschreiten. Normerweise gelten die MZB-Werte für fotodermische Netzhautgefährdung für Einwirkungszeiten über 10 s; der MZB-Wert von $100 \cdot C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^2$ für fotodermische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für Größen scheinbarer Quellen zwischen $1,5 \text{ mrad}$ und 82 mrad bei Einwirkungszeiten über 1 s zu verwenden.

Tabelle 6a: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung^{abc}
(Einwirkungsdauer von 10^{13} s bis 10 s)

A A N - B E I S U W

Einwirkungsdauer in s Wellenlänge λ in nm	10^1 bis 10^2	10^2 bis 10^3	10^3 bis 10^4
180 bis 302,5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	
302,5 bis 315		$C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	
315 bis 400	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
	fotochemische Gefährdung der Netzhaut		
	$100 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma = 11 \text{ mrad}$	$1 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma_p = 1,1 \cdot 10^5 \text{ mrad}$ und ^d	$1 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma = 110 \text{ mrad}$
400 bis 700	400 bis 600 m^2	thermische Gefährdung der Netzhaut	
	400 bis 700 m^2	$\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$: $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$: $18 C_6 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
	$(t \leq T_1)$ $18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$\alpha > 1,5 \text{ mrad}$: $10 C_4 C_7$	$\alpha > 1,5 \text{ mrad}$: $18 C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
700 bis 1050			
1050 bis 1400	$(t \leq T_1)$ $18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 \cdot \text{m}^{-2}$		
1400 bis 1500			
1500 bis 1800			
1800 bis 2600			$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
2600 bis 10^6			

- ^a Für Korrektorklappen und Einheiten siehe Tabelle 8
- ^b Die MZB für Einwirkungszeiten unter 10^{-9} und für Wellenlängen unter 400 nm sowie größer als 1400 nm wurden abgeleitet, indem die äquivalente Bestrahlungsstärke aus den MZB-Werten, die für 10^{-9} s gelten, berechnet wurde. Die MZB für Einwirkungszeiten unter 10^{-13} s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10^{-13} s gelten.
- ^c Der Winkel α ist α ist der Grenzöffnungswinkel für das Messtrinnsystem.
- ^d Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zusammen, Normative gehen die MZB-Werte für fotochemische Netzhautgefährdung für Einwirkungszeiten über 10^{-9} s, der MZB-Wert von $100 \cdot C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für große scheinbare Quellen zwischen $1,5 \text{ mrad}$ und 82 mrad bei Einwirkungszeiten über 1 s zu verwenden.

Tabelle 6b: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung^{abc}
(Einwirkungsdauer von 10 s bis $3 \cdot 10^4$ s)

Einwirkungsdauer t in s Wellenlänge λ in nm	$< 10^9$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
		10^6 bis 10^7	10^7 bis 10^3	10^3 bis 10	10 bis 10^3	
180 bis 302,5	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t \leq T_1)$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_1)$		$C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
302,5 bis 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
315 bis 400	$2 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
400 bis 700		$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
700 bis 1400	$2 \cdot 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$2000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
1400 bis 1500		$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
1500 bis 1800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{)}$
1800 bis 2600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
2600 bis 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			

1) Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8.

2) Es gibt nur wenig Erhöhung über die Wirkung bei Einwirkungsduern unter 10^9 s . Die MZB-Werte für diese Einwirkungsduern wurden abgeleitet von der Bestrahlung bei 10^9 s .

3) Für bestrahlte Hautflächen größer als $0,1 \text{ m}^2$ wird der MZB-Wert auf $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ verringert. Zwischen $0,01 \text{ m}^2$ und $0,1 \text{ m}^2$ verändert sich der MZB-Wert umgekehrt proportional zur bestrahlten Hautfläche.

Tabelle 7: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) für die Einwirkung von Laserstrahlung auf die Haut (1), 2) 3)

Anmerkungen zu den Tabellen 6 und 7

- Es gibt nur ein begrenztes Wissen über Effekte von Einwirkungsduern, die kleiner sind als 10^9 s . Die MZB-Werte für diese Einwirkungsduern sind aus den Werten abgeleitet worden, die sich für die Bestrahlungsstärke für 10^9 s ergeben.
- Die speziellen Korrekturfaktoren C_1 bis C_3 und die Krickstellen T_1 bis T_2 , die in den Tabellen 6 und 7 verwendet werden, sind durch die folgenden Beziehungen definiert (siehe Tabelle 8).
- In den Formeln in den Tabellen 6 und 7 muss die Wellenlänge λ in nm und die Einwirkungsduer t in s eingesetzt werden.

A A N - B E I S U W

Parameter	Spektralbereich nm
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 \uparrow^{0,25}$	302,5 bis 400
$T_1 = 10^{0,8 (\lambda \cdot 295)} \cdot 10^{-15s}$	302,5 bis 315
$C_2 = 10^{0,2 (\lambda \cdot 295)}$	302,5 bis 315
$T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - 1,5 \text{ mrad}) / 98,5]} s^*$	400 bis 1400
$C_3 = 1,0$	400 bis 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda \cdot 450)}$	450 bis 600
$C_4 = 10^{0,002 (\lambda \cdot 700)}$	700 bis 1050
$C_4 = 5$	1050 bis 1400
$C_5 = N^{-1/4} **$	400 bis 106
$C_6 = 1 \text{ für } \alpha \leq \alpha_{\min} ***$	400 bis 1400
$C_6 = \alpha / \alpha_{\min} \text{ für } \alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max} ***$	400 bis 1400
$C_6 = \alpha_{\max} / \alpha_{\min} = 66,7 \text{ für } \alpha > \alpha_{\max} **** / ***$	400 bis 1400
$C_7 = 1$	700 bis 1150
$C_7 = 10^{0,018 (\lambda \cdot 1150)}$	1150 bis 1200
$C_7 = 8$	1200 bis 1400
<p>* $T_2 = 10 \text{ s}$ für $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ und $T_2 = 100 \text{ s}$ für $\alpha > 100 \text{ mrad}$</p> <p>** C_5 gilt nur für Impulsdauern unter $0,25 \text{ s}$</p> <p>*** C_6 gilt nur für gepulste Laser und für Dauerstrichlaser, mit dominierender thermischer Gefährdung (siehe Tabelle 6)</p> <p>**** Der Grenzeinfallswinkel γ_p muss gleich α_{\max} sein $\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$ $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$</p> <p>N ist die Zahl der Impulse während der anzuwendenden Zeitdauer</p>	

Tabelle 8: Definition der Parameter

Anhang 3

Anforderungen an die Inhalte von anerkannten Kursen zur Ausbildung von Laserschutzbeauftragten

Solche Kurse sollen die Teilnehmer in die Lage versetzen, die Aufgaben des Laserschutzbeauftragten nach § 6 Abs. 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B 2) wahrzunehmen.

Veranstalter solcher Kurse haben sicherzustellen, dass die nachfolgenden Anforderungen für die vorgesehenen Anwendungen berücksichtigt werden und dass für die Kurse geeignete Referenten zur Verfügung stehen.

Je nach Anwendungserfordernis können solche Kurse umfassender oder auch sehr speziell ausgerichtet sein. Bei Kursen, die nur für spezielle Anwendungen vorgesehen sind, ist dies in der Teilnahmebestätigung klar herauszustellen. Solche Kurse sind z.B. auch durch Hersteller der Lasereinrichtungen möglich.

Die Kursdauer sollte aber mindestens einen Tag betragen und sich generell in folgende Themenbereiche aufteilen (Zeitanteile in Klammern):

- Theorie (1/3)
- praktische Anwendung (1/3)
- Lasersicherheit (1/3)

Der Seminarblock „Lasersicherheit“ sollte mindestens 6 Lehreinheiten zu je 45 min Dauer umfassen. In keinem Fall sollten hier 4 Lehreinheiten unterschritten werden.

Die erfolgreiche Lehrgangsteilnahme sollte durch eine Prüfung nachgewiesen werden.

Im Seminarblock „Lasersicherheit“ sind folgende Lehrinhalte zu vermitteln:

- Gefährdung durch direkte, reflektierte oder gestreute Laserstrahlung
- Schädigung der Augen
- Schädigung der Haut
- Laserklassen
- Grenzwerte für ungefährliche Laserstrahlung
- Feuer- und Explosionsgefahren
- Entflammbarkeit durch Laserstrahlung
- chemische und toxische Gefährdung
- Entstehung und Absaugung von Gefahrstoffen
- Sicherheitseinrichtungen, -vorkehrungen und Warneinrichtungen
- Laserschutzbrillen
- Lasersicherheitsvorschriften und -bestimmungen
- Auswirkungen des Medizinproduktegesetz auf den Betrieb von Lasern (nur bei medizinischen Anwendungen)
- Aufgaben und Pflichten des Laserschutzbeauftragten.

Als Arbeitsunterlagen müssen mindestens zur Verfügung stehen:

- Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B 2)
- DIN EN 60 825-1 „Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“
- Medizinproduktegesetz (nur bei medizinischen Anwendungen).

Anhang 4

Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen (nach Abschnitt 5 der DIN EN 60825-1 [VDE 0837 Teil 1]:2003-10)

Form, Farbe und Gestaltung der Zeichen siehe Bilder 14 und 15 DIN EN 60 825-1.

Nach Abschnitt 5.8 DIN EN 60 825-1 muss die Bezeichnung und das Datum der Veröffentlichung der Norm, nach der das Produkt klassifiziert wurde, auf dem Hin-weisschild oder in der Nähe am Produkt angebracht werden. In den folgenden Bei-spielen wird die allgemeine Form „DIN EN 60 825-1:2003-10“ verwendet.

Anmerkung 1:

In der Lichtwellenleitertechnik nach DIN EN 60825-2 werden die gleichen Hinweisschilder zur Kennzeichnung der Gefährungsgrade an lösbaren Steckverbinder verwendet. Anstelle des Wortes „Laserklasse“ wird hier der Begriff „Gefährungsgrad“ verwendet.

Anmerkung 2:

Die Kennzeichnung der Laser muss der Ausgabe der Norm entsprechen, nach der der Laser hergestellt bzw. in Verkehr gebracht wurde.

Die Symbole bei den technischen Zusatzangaben sind wie folgt definiert:

E	$W \cdot m^{-2}$	Bestrahlungsstärke
F	Hz	Impulswiederholffrequenz
P_0	W	Gesamt-Strahlungsleistung, ausgestrahlt von einem Dauerstrichlaser, oder mittlere Strahlungsleistung eines wiederholt gepulsten Lasers
P_p	W	Strahlungsleistung, ausgestrahlt innerhalb eines Impulses eines gepulsten Lasers
t	s	Dauer eines Einzelimpulses
λ	nm	Wellenlänge der Laserstrahlung

1 Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1



2 Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1M



Anmerkung:

Der Hersteller kann bei Lasern der Klasse 1 und 1M auf die Kennzeichnung auf den Lasereinrichtungen verzichten und diese Aussagen nur in die Benutzerinformation aufnehmen. Die Laser sind dann nicht gekennzeichnet.

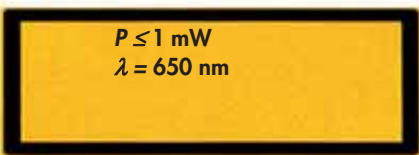
Lasereinrichtungen der Klassen 2 bis 4 müssen nach Abschnitt 5.8 DIN EN 60825-1 auf einem Hinweisschild durch Angaben über die maximalen Ausgangswerte der Laserstrahlung, der Impulsdauer (falls zutreffend) und der ausgesandten Wellenlänge(n) beschrieben werden. Diese Angaben können in einem Hinweisschild zusammen mit der Angabe der Klasse oder in einem separaten Hinweisschild aufgenommen werden.

3 Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 2

a)

oder

b)



M U S T E R - U V V

4

Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 2M



Laserstrahlung
Nicht in den Strahl blicken oder
direkt mit optischen
Instrumenten betrachten
Laser Klasse 2M
nach DIN EN 60825-1:2003-10

$\lambda = 650 \text{ nm}$
 $H \leq 25 \text{ W/m}^2$

5 Beispiele einer Kennzeichnung von Lasern der Klasse 3R

- a) Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm b) Wellenlängen < 400 nm oder > 700 nm



Laserstrahlung
Direkte Bestrahlung der Augen
vermeiden
Laser Klasse 3R
nach DIN EN 60825-1:2003-10



Unsichtbare Laserstrahlung
Nicht dem Strahl aussetzen
Laser Klasse 3R
nach DIN EN 60825-1:2003-10

$$P_0 = \text{_____} \text{ W}$$

$$\lambda = \text{_____} \text{ nm}$$

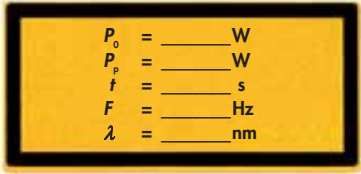
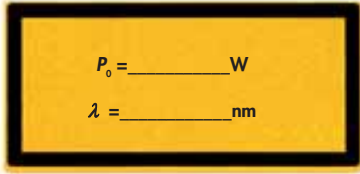
$$P_0 = \text{_____} \text{ W}$$

$$\lambda = \text{_____} \text{ nm}$$

6 Beispiele einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 3B

a) sichtbare Strahlung
(z.B. Dauerstrichlaser)

b) unsichtbare Strahlung
(z.B. Impulslaser)



7 Beispiele einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 4

a) sichtbare Laserstrahlung
(z.B. Dauerstrichlaser)

b) unsichtbare Laserstrahlung
(z.B. Impulslaser)



Laserstrahlung
Bestrahlung von Auge oder Haut
durch direkte oder
Streustrahlung vermeiden
Laser Klasse 4
Nach DIN EN 60825-1:2003-10

Unsichtbare Laserstrahlung
Bestrahlung von Auge oder
Haut durch direkte oder
Streustrahlung vermeiden
Laser Klasse 4
Nach DIN EN 60825-1:2003-10

$P_o = 20 \text{ W}$
 $\lambda = 457 \text{ nm} - 514 \text{ nm}$

$P_o = 100 \text{ W}$
 $P_p = \leq 5,5 \text{ kW}$
 $t = 0,1 \text{ ms} - 20 \text{ ms}$
 $F = \text{Einzelimpuls bis } 300 \text{ Hz}$
 $\lambda = 1 \text{ 064 nm}$

Anhang 5

Muster für eine Laseranzeige gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2)

Laseranzeige gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2)

Anmeldender Betrieb: _____

(Betrieb, Straße, PLZ, Ort) _____

Telefon: _____ Telefax: _____

Mitgliedsnummer: _____

Betreff: Laseranmeldung

Herstellerfirma: _____

Laser Produktbezeichnung: _____

Laserart mit Angabe der Wellenlänge λ : _____

Leistung bei gepulsten Lasern: P_{EI} _____ Impulswiederholfrequenz $F =$ _____

Leistung bei CW-Lasern: $P_{MAX} =$ _____

Laserklasse in der Produktion: _____

Laserklasse in der Wartung: _____

Betriebsort: Abteilung _____

Ort: _____

Für Laser, die der Maschinenrichtlinie unterliegen: Die Konformitätserklärung wird als Anlage in Kopie beigefügt.

Zum Laserschutzbeauftragten wurde _____ bestellt.

Voraussichtliche Inbetriebnahme der Lasereinrichtung: _____

Ort/Datum

Unterschrift
(und Name in Druckbuchstaben)

Anhang 6

Auswahl von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze zum Schutz gegen zufällige Bestrahlung nach DIN EN 12 254

1 Allgemeines

Vor der Auswahl einer geeigneten Abschirmung sollte eine Gefährdungsanalyse durchgeführt werden, um die maximal auftretende Bestrahlung zu bestimmen (siehe auch Anhang B der DIN EN 12 254).

Die folgenden Empfehlungen für die Verwendung von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze setzen regelmäßige Beobachtungen der Abschirmungen voraus, deren zeitlicher Abstand sich aus der Gefährdungsanalyse ergibt.

Die Auswahl der Abschirmungen ist in Tabelle 1 angegeben, die Bedeutung der Symbole D, I, R und M zeigt Tabelle 2.

Schutzstufe	Maximaler spektraler Transmissionsgrad bei den Laserwellenlängen	Verwendung bis zu einer maximalen mittleren Leistungs- und Energiedichte im Wellenlängenbereich								
		180 nm bis 315 nm	> 315 nm bis 1 050 nm	1 050 nm bis 1 400 nm						
		für die Laserbetriebsart / Betriebsdauer in s								
$t(1)$	D	I_R	M	D	D	I_R	M	D	I_R	M
	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²
A1	10 ¹	0,01	3 · 10 ²	3 · 10 ¹¹	10	2,5 · 10 ²	0,05	10 ⁴	10 ³	10 ¹²
A2	10 ²	0,1	3 · 10 ³	3 · 10 ¹²	10 ²	2,5 · 10 ³	0,5	10 ⁵	10 ⁴	10 ¹³
A3	10 ³	1	3 · 10 ⁴	3 · 10 ¹³	10 ³	2,5 · 10 ⁴	5	10 ⁶	10 ⁵	10 ¹⁴
A4	10 ⁴	10	3 · 10 ⁵	3 · 10 ¹⁴	10 ⁴	2,5 · 10 ⁵	50	10 ⁷	10 ⁶	10 ¹⁵
A5	10 ⁵	10 ²	3 · 10 ⁶	3 · 10 ¹⁵	10 ⁵	2,5 · 10 ⁶	15	10 ⁸	10 ⁷	10 ¹⁶
A6	10 ⁶	10 ³	3 · 10 ⁷	3 · 10 ¹⁶	10 ⁶	2,5 · 10 ⁷	5 · 10 ²	10 ⁹	10 ⁸	10 ¹⁷
A7	10 ⁷	10 ⁴	3 · 10 ⁸	3 · 10 ¹⁷	10 ⁷	2,5 · 10 ⁸	5 · 10 ⁴	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ¹⁸
A8	10 ⁸	10 ⁵	3 · 10 ⁹	3 · 10 ¹⁸	10 ⁸	2,5 · 10 ⁹	1,5 · 10 ⁵	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁹
A9	10 ⁹	10 ⁶	3 · 10 ¹⁰	3 · 10 ¹⁹	10 ⁹	2,5 · 10 ¹⁰	1,5 · 10 ⁵	10 ¹²	10 ¹¹	10 ²⁰
A10	10 ¹⁰	10 ⁷	3 · 10 ¹¹	3 · 10 ²⁰	10 ¹⁰	2,5 · 10 ¹¹	5 · 10 ⁷	10 ¹³	10 ¹²	10 ²¹

Tabelle 1: Schutzstufen für Laserschirmungen

M U S T E R - U V V

2 Gepulste Laser

Für gepulste Laser mit Wellenlängen größer oder gleich 400 nm sollte die Gesamtanzahl N der Impulse für 100 s bestimmt werden.

Danach ist die für den Einzelimpuls errechnete Energiedichte H des einzelnen Impulses mit $N^{1/4}$ zu multiplizieren ($H' = H \cdot N^{1/4}$). Mit dem so berechneten Wert H' kann die erforderliche Schutzstufe aus Tabelle 1 entnommen werden.

Für gepulste Laser mit Wellenlängen kleiner als 400 nm sollte die Energiedichte des Einzelimpulses für die Auswahl der Abschirmung verwendet werden.

Ferner sollte für alle Impulsfolgen die mittlere Leistung berechnet und mit den Werten der zutreffenden Spalte von Tabelle 2, die mit D gekennzeichnet ist, verglichen werden. Ergibt sich dabei eine höhere Schutzstufe, so muss diese verwendet werden.

Symbol	Laserbezeichnung	Typische Impulsdauer in s
D	Dauerstrichlaser (CW)	> 0,25
I	Impulslaser	10^{-6} bis 0,25
R	Riesenimpulslaser	10^{-9} bis 10^{-6}
M	Modengekoppelter Impulslaser	$<10^{-9}$

Tabelle 2: Erläuterung der Symbole D, I, R, M

Anhang 7

Bezugsquellenverzeichnis

Nachstehend sind die Bezugsquellen der in den Durchführungsanweisungen aufgeführten Vorschriften und Regeln zusammengestellt:

1. Gesetze, Verordnungen

Bezugsquelle: Buchhandel
oder
Carl Heymanns Verlag GmbH,
Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

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

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

3. Normen

Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH,
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
bzw.
VDE-Verlag GmbH,
Bismarckstraße 33, 10625 Berlin.

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

M
U
S
T
E
R
-
U
V
V