

GUV-I 832

GUV-Informationen

Betrieb von Lasereinrichtungen

Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift
„Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)
auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach
DIN EN 60 825-1 (VDE 0837-1): 2001-11

Ausgabe April 2003



Gesetzliche
Unfallversicherung

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

Herausgeber:

Bundesverband der Unfallkassen
Fockensteinstraße 1, 81539 München
www.unfallkassen.de

Erarbeitet vom Sachgebiet „Laserstrahlung“ des Fachausschusses „Elektrotechnik“ der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ) des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin.

Diese Ausgabe April 2003 entspricht der Ausgabe April 2003 von BGI 832 des Berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes.

Bestell-Nr. GUV-I 832, zu beziehen vom zuständigen Unfallversicherungsträger, siehe vorletzte Umschlagseite.

GUV-I 832

GUV-Informationen

Betrieb von Lasereinrichtungen

Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift
„Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)
auf neue Laserklassen und MZB-Werte nach
DIN EN 60 825-1 (VDE 0837-1): 2001-11

Ausgabe April 2003



**Gesetzliche
Unfallversicherung**

Inhalt

	Seite
Vorbemerkung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20), hinsichtlich der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11; „Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer- Richtlinien“	7
Anhang 1: Begriffsbestimmungen	17
Anhang 2: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)	26
Anhang 3: Auswahl von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze zum Schutz gegen zufällige Bestrahlung nach DIN EN 12 254	38
Anhang 4: Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen (nach Abschnitt 5 der DIN EN 60 825-1 [VDE 0837 Teil 1]: 2001-11)	41
Anhang 5: Muster für eine Laseranzeige gemäß Unfallverhütungs- vorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)	49
Anhang 6: Bezugsquellenverzeichnis	50

Vorbemerkung

In der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20), in der Fassung vom Januar 1997, mit Durchführungsanweisungen vom Oktober 1995 wurde als Grundlage für die Festlegung von Schutzmaßnahmen die Klassifizierung von Lasereinrichtungen berücksichtigt. Dabei wurden die Klassen der Norm DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1) „Sicherheit von Lasereinrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“ bis Ausgabe Juli 1994 in der vorstehend genannten Unfallverhütungsvorschrift zu Grunde gelegt.

Nunmehr ist die Norm DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1) grundlegend überarbeitet und in der Fassung November 2001 veröffentlicht worden. In dieser Ausgabe sind die Laser-Klassen zum Teil erheblich geändert worden.

Zweck dieser GUV-Information ist es, eine Handlungsanleitung zu geben, wie Lasereinrichtungen, die nach DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 in Verkehr gebracht werden, in Übereinstimmung mit der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) und deren Anhängen betrieben werden können.

Ferner wird beschrieben, wie die MZB-Werte (Maximal zulässige Bestrahlung) der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 angewandt werden können.

Es werden deshalb die Änderungen, die sich durch die neuen Klassen ergeben, hinsichtlich der auftretenden Gefährdungen erläutert, außerdem wird eine Zuordnung der Schutzmaßnahmen zu den neuen Klassen vorgenommen.

Diese GUV-Information berührt nicht den Betrieb von Lasereinrichtungen, die nach den bisherigen DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1) bis Ausgabe März 1997 klassifiziert sind.

Bis zur Überarbeitung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) soll diese GUV-Information eine Handlungsanleitung bieten, wie eine Gefährdungsbeurteilung und die Festlegung von Schutzmaßnahmen für die neuen Laserklassen durchgeführt werden können.

1 Anwendungsbereich

Diese GUV-Information findet Anwendung auf alle Lasereinrichtungen im Geltungsbereich der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) und kann sinngemäß auf LED angewandt werden.

2 Anwendung der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)

hinsichtlich der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 „Sicherheit von Laser-einrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“

2.1 Laserspezifische Regelungen

Laserspezifische Regelungen sind außer in der DIN EN 60 825-1 z.B. in den folgenden Normen, GUV-Regeln (GUV-R), BG-Informationen (BGI) und Merkblättern enthalten:

DIN EN 207	Persönlicher Augenschutz, Filter und Augenschutz gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen),
DIN EN 208	Persönlicher Augenschutz, Brillen für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen),
DIN EN 12 254	Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung,
DIN EN 12 626	Sicherheit von Maschinen; Laserbearbeitungsmaschinen; Sicherheitsanforderungen,
DIN EN 56 912	Sicherheitstechnische Anforderungen für Showlaser und Showlaseranlagen und Prüfung,
DIN EN 60 601-2-22 (VDE 0750-2-22)	Medizinische elektrische Geräte; Teil 2: Besondere Festlegungen für die Sicherheit von diagnostischen und therapeutischen Lasergeräten,
DIN EN 60 825-2 (VDE 0837 Teil 2)	Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen,
DIN EN 60 825-4 (VDE 0837 Teil 4)	Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 4: Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen,
DIN EN 61 040 (VDE 0835)	Empfänger, Messgeräte und Anlagen zur Messung von Leistung und Energie von Laserstrahlen,
DIN EN ISO 11 145	Optik und optische Instrumente; Laser und Laseranlagen; Begriffe mit Formelzeichen,

Explosionsschutz-Regeln (GUV-R 104),

GUV-Regel „Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz“ (GUV-R 192),

BG-Information „Schutzmaßnahmen bei der Reparatur und Wartung von Radio- und

Fernsehgeräten sowie bei vergleichbaren Arbeiten und bei der Antennenmontage“ (BGI 654),

Merkblatt „Lasergeräte in Diskotheken und bei Show-Veranstaltungen“,

Merkblatt „Disco-Laser“,

Siehe auch § 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

2.2 Laserklassen

Die Klasse einer Lasereinrichtung im Sinne der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) kennzeichnet das durch die zugängliche Laserstrahlung bedingte Gefährdungspotenzial. Die neue Norm DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1), Ausgabe November 2001, enthält eine geänderte Klassifizierung mit den Klassen 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4. Dabei bleiben die Klassen 1, 2, 3B und 4 gegenüber der bisherigen Norm weitgehend unverändert. Neu sind die Klassen 1M und 2M statt der bisherigen Klasse 3A und die Klasse 3R als Unterklasse der bisherigen Klasse 3B.

Zur Zeit gibt es Laser, die nach der bisherigen DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1) bis Ausgabe März 1997 in die Laserklassen 1, 2, 3A, 3B und 4 klassifiziert wurden und zunehmend neue Laser, die nach der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1), Ausgabe November 2001, in die Laserklassen 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4 klassifiziert werden.

Spätestens ab 1. Januar 2004 müssen Laser, die neu in Verkehr gebracht werden, nach der neuen DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 klassifiziert werden.

Eine Pflicht zur Klassifizierung nach den neuen Laserklassen für vorhandene Lasereinrichtungen und solche, die bis zum 31. Dezember 2003 in Betrieb genommen werden, besteht nicht. Für Laser mit der alten Klassifizierung gilt die Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) uneingeschränkt.

Im Folgenden sind die Definitionen aller Laserklassen aufgeführt:

2.2.1 Klasse 1: Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich.

Die „vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen“ sind beim bestimmungsgemäßen Betrieb eingehalten.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 1 können im oberen Leistungsbereich z.B. Blendung, Beeinträchtigung des Farbsehens und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

2.2.2 Klasse 1M: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z.B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird.

Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 1M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 1.

Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei Klasse 3R oder 3B auftreten.

2.2.3 Klasse 2: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) auch für das Auge ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2 ist das Auge bei zufälliger, kurzzeitiger Einwirkung der Laserstrahlung, d.h. bei Einwirkungsdauer bis 0,25 s nicht gefährdet. Lasereinrichtungen der Klasse 2 dürfen deshalb ohne weitere Schutzmaßnahmen eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass weder ein absichtliches Hineinschauen für die Anwendung über längere Zeit als 0,25 s, noch wiederholtes Hineinschauen in die Laserstrahlung bzw. spiegelnd reflektierte Laserstrahlung erforderlich ist.

Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes zum Schutz der Augen darf in der Regel nicht ausgegangen werden.

Daher sollte man, falls Laserstrahlung der Klasse 2 ins Auge trifft, bewusst die Augen schließen oder sich sofort abwenden.

Für kontinuierlich strahlende Laser der Klasse 2 beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) $P_{\text{Grenz}} = 1 \text{ mW}$ (bei $C_6 = 1$).

2.2.4 Klasse 2M: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z.B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1M.

Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 2M eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 2.

Bei Einsatz optisch sammelnder Instrumente können vergleichbare Gefährdungen wie bei Klasse 3R oder 3B auftreten.

2.2.5 Klasse 3A: Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente, z.B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.

Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A handelt es sich um Laser, die nach der alten Norm klassifiziert worden sind.

Lasereinrichtungen der Klasse 3A, die nur im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren, können behandelt werden wie solche der Klasse 2M. Lasereinrichtungen der Klasse 3A, die nur im nicht sichtbaren Spektralbereich emittieren, können behandelt werden wie solche der Klasse 1M.

Sofern keine optischen Instrumente verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A, die nur im sichtbaren Spektralbereich emittieren, eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 2. Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A, die nur im nicht sichtbaren Spektralbereich emittieren, besteht eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasereinrichtungen der Klasse 1.

2.2.6 Klasse 3R: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 10^6 nm und ist gefährlich für das Auge. Die Leistung bzw. die Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm und das Fünffache des Grenzwertes der Klasse 1 für andere Wellenlängen.

Lasereinrichtungen der Klasse 3R sind für das Auge potenziell gefährlich wie Lasereinrichtungen der Klasse 3B. Das Risiko eines Augenschadens wird dadurch verringert, dass der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) im sichtbaren Wellenlängenbereich auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 2, in den übrigen Wellenlängenbereichen auf das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 1 begrenzt ist.

Für kontinuierlich strahlende Laser der Klasse 3R beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) $P_{\text{grenz}} = 5 \text{ mW}$ (bei $C_6 = 1$) im Wellenlängenbereich 400 nm bis 700 nm.

2.2.7 Klasse 3B: Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut.

Das direkte Blicken in den Strahl bei Lasern der Klasse 3B ist gefährlich. Ein Strahlbündel kann üblicherweise sicher über einen geeigneten diffusen Reflektor betrachtet werden, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- *der minimale Beobachtungsabstand zwischen diffusem Reflektor und Hornhaut des Auges beträgt 13 cm,*
- *die maximale Beobachtungsdauer beträgt 10 s,*
- *keine gerichteten Strahlanteile können ins Auge treffen.*

Bei vielen Diffusoren ist mit gerichteten Strahlanteilen zu rechnen.

Eine Gefährdung der Haut durch die zugängliche Laserstrahlung besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3B, wenn die Werte der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) nach Anhang 2 überschritten werden.

2.2.8 Klasse 4: Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.

Lasereinrichtungen der Klasse 4 sind Hochleistungslaser, deren Ausgangsleistungen bzw. -energien die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) für Klasse 3B übertreffen.

Die Laserstrahlung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 ist so intensiv, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist.

Außerdem muss bei der Anwendung von Lasereinrichtungen der Klasse 4 immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahren getroffen sind; siehe auch §§ 10 und 16 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

Siehe auch § 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

2.3 Anwendung der MZB-Werte

Die neuen MZB-Werte der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 dürfen ab sofort statt der bisherigen MZB-Werte des Anhangs 2 der Durchführungsanweisungen zur Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) angewendet werden.

Die neuen MZB-Werte sind im Anhang 2 dieser GUV-Information aufgeführt.

Bestehende Berechnungen der MZB-Werte und daraus festgelegte Laserbereiche müssen nicht neu bestimmt werden.

Der Laserbereich endet dort, wo die Werte der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) unterschritten werden. Dabei ist die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Ablenkung des Laserstrahls zu berücksichtigen.

Wo mit unkontrolliert reflektierter Strahlung zu rechnen ist, erstreckt sich der Laserbereich vom Laser aus in alle Richtungen.

Gefährliche Reflexe werden besonders von spiegelnden oder glänzenden Oberflächen verursacht. Solche unkontrolliert reflektierte Strahlung geht häufig von blankem Metall, z.B. Werkzeugen, chirurgischen Instrumenten, Geräteoberflächen, sowie Kunststoffen oder Glas, z.B. Fenster, Flaschen, aus. Sehr intensive Laserstrahlung kann auch nach diffuser Reflexion an rauen Flächen noch gesundheitsgefährlich sein.

Siehe auch § 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) sowie Anhang 2 der zugehörigen Durchführungsanweisungen.

2.4 Klassenzuordnung und -kennzeichnung von Lasereinrichtungen

Alle Lasereinrichtungen der unter Abschnitt 2.2 aufgeführten Klassen dürfen betrieben werden.

Lasereinrichtungen der Klassen 1 und 1M bedürfen keiner Kennzeichnung mit einem Hinweisschild, wenn der Hersteller stattdessen diese Hinweise in die Benutzerinformation aufnimmt.

Siehe auch § 4 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

2.5 Anzeige von Lasern

Nach § 5 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) müssen Laser der Klassen 3B und 4 (nach der bisherigen Klassifizierung) vom Unternehmer angezeigt werden.

Da die bisherigen Laser der Klasse 3B den neuen Klassen 3R und 3B entsprechen, wird dieses Schutzziel auch erreicht, wenn vom Unternehmer der Betrieb von Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 dem zuständigen Unfallversicherungsträger und der für den Arbeitsschutz zuständigen Behörde angezeigt wird.

Ein Muster für die Anzeige befindet sich im Anhang 5 dieser GUV-Information.

2.6 Bestellung von Laserschutzbeauftragten

Nach § 6 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) muss für den Betrieb von Lasern der Klassen 3B und 4 (nach der bisherigen Klassifizierung) ein Laserschutzbeauftragter vom Unternehmer schriftlich bestellt werden.

Da die bisherigen Laser der Klasse 3B den neuen Klassen 3R und 3B entsprechen, wird dieses Schutzziel auch erreicht, wenn vom Unternehmer für den Betrieb von Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 ein Laserschutzbeauftragter schriftlich bestellt wird.

2.7 Abgrenzung und Kennzeichnung von Laserbereichen

2.7.1 Nach § 7 Abs. 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass, wenn der Laserstrahl von Lasern der Klassen 2 oder 3A im Arbeits- und Verkehrsbereich verläuft, der Laserbereich deutlich erkennbar und dauerhaft gekennzeichnet wird.

Dies wird erreicht, wenn diese Kennzeichnung auch für Laser der Klasse 2M durchgeführt wird.

2.7.2 Nach § 7 Abs. 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass Laserbereiche von Lasereinrichtungen der Klassen 3B oder 4 während des Betriebes abgegrenzt und gekennzeichnet sind.

Dies wird erreicht, wenn die Abgrenzung und Kennzeichnung auch für Laser der Klassen 3R, 3B und 4 durchgeführt wird.

2.8 Schutzmaßnahmen beim Betrieb von Lasereinrichtungen

2.8.1 Nach § 8 Abs. 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer, wenn technische oder organisatorische Schutzmaßnahmen nicht möglich sind, für die Arbeiten in Laserbereichen der Klassen 3B oder 4 zum Schutz der Augen oder der Haut geeignete Augenschutzgeräte, Schutzkleidung oder Schutzhandschuhe zur Verfügung zu stellen.

Da die bisherigen Laser der Klasse 3B den neuen Klassen 3R und 3B entsprechen, wird dieses Schutzziel auch erreicht, wenn für diese Arbeiten auch für Laser der Klasse 3R zum Schutz der Augen oder der Haut geeignete Augenschutzgeräte, Schutzkleidung oder Schutzhandschuhe zur Verfügung gestellt werden.

2.8.2 Nach § 8 Abs. 3 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass Versicherte, die Lasereinrichtungen der Klassen 2 bis 4 anwenden oder die sich in Laserbereichen von Lasereinrichtungen der Klassen 3B oder 4 aufhalten, über das zu beachtende Verhalten unterwiesen worden sind.

Dies wird erreicht, wenn Versicherte, die Lasereinrichtungen der Klassen 1M, 2, 2M, 3A, 3R, 3B oder 4 anwenden oder sich in Laserbereichen von Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 aufhalten, über das zu beachtende Verhalten unterwiesen worden sind.

2.9 Instandhaltung von Lasereinrichtungen

Werden bei der Instandhaltung von Lasereinrichtungen der Klassen 1M und 2M optische Geräte für Justier- und Einstellarbeiten verwendet, können vergleichbare Gefährdungen wie bei den Klassen 3R oder 3B auftreten.

Siehe auch § 9 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

2.10 Nebenwirkungen der Laserstrahlung

Die Strahlung von Lasereinrichtungen der Klassen 1M, 2M, 3R, 3B und 4 kann Zündquelle für explosionsfähige Atmosphären und brennbare Stoffe sein.

Siehe auch § 10 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

2.11 Beschäftigungsbeschränkung

Nach § 11 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) dürfen Jugendliche in Laserbereichen, in denen Lasereinrichtungen der Klassen 3B oder 4 betrieben werden, nicht beschäftigt werden.

Da die bisherigen Laser der Klasse 3B den neuen Klassen 3R und 3B entsprechen, wird dies z.B. erreicht, wenn Jugendliche in Laserbereichen, in denen Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 betrieben werden, nicht beschäftigt werden.

Soweit zur Erreichung des Ausbildungszieles die Beschäftigung von Jugendlichen erforderlich ist, dürfen sie nur unter Aufsicht eines Fachkundigen tätig werden.

Jugendliche sind gemäß Jugendarbeitsschutzgesetz Personen, die zwischen 15 und 18 Jahre alt sind.

2.12 Lasereinrichtungen für Leitstrahlverfahren und Vermessungsarbeiten

Nach § 14 Abs. 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass für Leitstrahlverfahren und Vermessungsarbeiten nur folgende Lasereinrichtungen verwendet werden:

1. Lasereinrichtungen der Klassen 1, 2, 3A,
2. Lasereinrichtungen der Klasse 3B, die nur im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm) strahlen, eine maximale Ausgangsleistung von 5 mW haben und bei denen Strahlachse oder Strahlfläche so eingerichtet und gesichert sind, dass eine Gefährdung der Augen verhindert wird.

Dies wird z.B. erreicht, wenn:

1. Lasereinrichtungen der Klassen 1, 1M, 2, 2M oder 3A eingesetzt werden oder
2. Lasereinrichtungen der Klasse 3R im sichtbaren Wellenlängenbereich eingesetzt werden, bei denen die Strahlachse oder Strahlfläche so eingerichtet und gesichert ist, dass keine Gefährdung der Augen vorhanden ist.

2.13 Lasereinrichtungen für Unterrichtszwecke

Für Unterrichtszwecke dürfen nach § 15 Abs. 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) Laser der Klassen 1 und 2 angewendet werden.

Dieses Schutzziel wird z.B. auch erreicht, wenn neben den Klassen 1 und 2 auch Laser der Klassen 1M und 2M verwendet werden und neben den in § 15 Abs. 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) beschriebenen Schutzmaßnahmen zusätzlich sichergestellt wird, dass der Strahlquerschnitt nicht durch optisch sammelnde Instrumente verkleinert wird.

2.14 Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken in Fernmeldeanlagen und Informationsverarbeitungsanlagen

Nach § 17 Abs. 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) hat der Unternehmer dafür zu sorgen, dass auch bei einer nicht bestimmungsgemäßen Trennung des Übertragungsweges von Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken Versicherte keiner Laserstrahlung oberhalb der maximal zulässigen Bestrahlung ausgesetzt werden.

Dies wird z.B. erreicht, wenn an allen Verwendungsorten mit uneingeschränktem Zugang der Gefährdungsgrad eines LWL-Kommunikationssystems gemäß DIN EN 60 825-2 höchstens 1, 1M, 2, 2M bzw. 3A entspricht.

Bei Lichtwellenleiterübertragungsstrecken mit Lasereinrichtungen der Klassen 3R und 3B sind besondere Schutzmaßnahmen erforderlich, z.B. automatische Lasersicherheitsabschaltung bei Unterbrechung der Übertragungsstrecke, konstruktive Maßnahmen bei den optischen Steckverbindern.

Anhang 1

Begriffsbestimmungen

Die folgenden Begriffsbestimmungen sind inhaltlich der DIN EN 60 825-1: 2001-11 entnommen, ausgenommen die Begriffe im Zusammenhang mit Instandhaltung, die der DIN 31 051-1 „Instandhaltung, Begriffe und Maßnahmen“ entnommen sind.

So weit wie möglich wurde eine Anpassung an die Normreihen DIN 5030 „Spektrale Strahlungsmessung“, DIN 5031 „Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik“ und DIN 5036 „Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien“ vorgenommen.

Die folgenden Begriffe erweitern die Begriffsbestimmungen des § 2 der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20).

A 1.1 Bestrahlungsstärke:

Quotient der Strahlungsleistung $d\phi$ (bzw. dP), die auf ein Flächenelement einfällt, geteilt durch die Fläche dA dieses Elements.

Symbol: E ; $E = \frac{d\phi}{dA}$; bzw. $E = \frac{dP}{dA}$

SI-Einheit: Watt je Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$)

A 1.2 Blick in eine ausgedehnte Quelle:

Die Sehbedingung, bei der das Auge die scheinbare Quelle in einem Abstand von 100 mm oder mehr unter einem Winkel sieht, der größer als der kleinste Grenzwinkel (α_{\min}) ist.

Beispiele sind der Blick auf bestimmte diffuse Reflexionen und auf bestimmte Anordnungen von Laserdioden.

Bei der Betrachtung der Gefahren einer thermischen Netzhautverletzung werden in dieser Norm zwei Bedingungen für ausgedehnte Quellen berücksichtigt: mittelgroße Quellen und große Quellen, die zur Unterscheidung von Quellen mit Winkelausdehnungen α zwischen α_{\min} und α_{\max} (mittelgroße Quellen) und größer als α_{\max} (große Quellen) verwendet werden.

A 1.3 Dauerstrich-Laser (kontinuierlich strahlender Laser):

Die Ausgangsstrahlung eines Lasers, der fortlaufend, d.h. nicht gepulst, betrieben wird. In dieser GUV-Information wird ein Laser, der über einen längeren Zeitraum als 0,25 s andauernd strahlt, als Dauerstrich-Laser betrachtet.

A 1.4 Diffuse Reflexion:

Veränderung der räumlichen Verteilung eines Strahlenbündels nach der Streuung durch eine Oberfläche oder eine Substanz in viele Richtungen. Ein vollkommen diffus streuendes Material zerstört jede Korrelation zwischen den Richtungen der einfallenden und der reflektierten Strahlung.

In der Regel tritt diffus und gerichtet reflektierte Strahlung nur zusammen auf.

A 1.5 Direkter Blick in den Strahl:

Alle Sehbedingungen, bei denen das Auge einem direkten oder einem spiegelnd reflektierten Laserstrahl ausgesetzt ist, im Gegensatz zur Betrachtung von z.B. diffusen Reflexionen.

A 1.6 Einwirkungsdauer:

Die Zeitdauer eines Impulses, einer Impulsfolge oder einer Daueremission von Laserstrahlung, welche auf den menschlichen Körper einwirkt.

A 1.7 Emissionsdauer:

Die zeitliche Dauer eines Impulses, einer Impulsfolge oder des Dauerbetriebes, in welcher der Zugang zu Laserstrahlung möglich ist, wenn die Lasereinrichtung betrieben, gewartet oder in Stand gesetzt wird.

Für eine Impulsfolge ist dies die Dauer zwischen dem ersten halben Spitzenwert des führenden Impulses und dem letzten halben Spitzenwert des abschließenden Impulses.

A 1.8 Empfangswinkel:

Der ebene Winkel innerhalb dessen ein Empfänger auf optische Strahlung anspricht, wird üblicherweise in Radian gemessen. Dieser Empfangswinkel kann durch Blenden oder optische Elemente vor dem Empfänger eingestellt werden. Der Empfangswinkel wird manchmal auch Gesichtsfeld genannt.

Empfangswinkel zur Ermittlung fotochemischer Gefährdungen: Für die Ermittlung der fotochemischen Gefährdung wird ein Grenzempfangswinkel γ_p zur Messung festgelegt. Der Winkel γ_p hängt biologisch mit den Augenbewegungen zusammen und hängt nicht von der Winkelausdehnung der Quelle ab. Ist die Winkelausdehnung der Quelle kleiner als der Grenzempfangswinkel, braucht der tatsächliche Empfangswinkel nicht beschränkt zu

werden. Ist die Winkelausdehnung der Quelle größer als der Grenzempfangswinkel, muss der Empfangswinkel beschränkt werden und die Quelle nach Stellen mit erhöhter lokaler Strahldichte abgesucht werden. Wird der Empfangswinkel zur Messung nicht auf ein bestimmtes Maß beschränkt, kann die Gefährdung überschätzt werden.

Symbol: γ_p

A 1.9 Energiedichte:

An einem Punkt der Oberfläche der Quotient aus der Strahlungsenergie, die auf ein Oberflächenelement trifft, das diesen Punkt enthält und der Fläche dieses Elementes.

Symbol: H ;
$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt$$

SI-Einheit: Joule je Quadratmeter ($J \cdot m^{-2}$)

A 1.10 Gebündelter Strahl:

Ein „paralleles“ Strahlenbündel mit sehr geringer Winkeldivergenz oder -konvergenz.

A 1.11 Grenzwert für fotochemische Gefährdung:

Ein MZB-Wert, der hergeleitet wurde, um Menschen vor den fotochemischen Wirkungen zu schützen (z.B. Fotoretinitis – ein fotochemischer Netzhautschaden auf Grund von Bestrahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 600 nm).

A 1.12 Grenzwert für thermische Gefährdung:

Ein MZB-Wert, der hergeleitet wurde, um Menschen vor schädlichen thermischen Wirkungen zu schützen, im Gegensatz zu einer fotochemischen Schädigung.

A 1.13 Größter Grenzwinkel (α_{max}):

Wert der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle, von dem ab die MZB-Werte und die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) unabhängig von der Größe der Strahlenquelle werden.

A 1.14 Impulsdauer:

Zeitintervall zwischen den Halbwerten der Spitzenleistung in der ansteigenden und -abfallenden Flanke eines Impulses.

A 1.15 Impulslaser:

Laser, der seine Energie in Form eines Einzelimpulses oder einer Impulsfolge abgibt. Dabei ist die Zeitdauer eines Impulses kleiner als 0,25 s.

A 1.16 Inspektion:

Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes.

A 1.17 Instandhaltung:

Gesamtheit der Maßnahmen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes.

A 1.18 Instandsetzung:

Maßnahmen zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes.

A 1.19 Kleine Quelle:

Eine Quelle, deren Winkelausdehnung α kleiner als oder gleich dem kleinsten Grenzwinkel α_{\min} ist.

A 1.20 Kleinster Grenzwinkel (α_{\min}):

Der Wert der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle, von dem ab die Quelle als ausgedehnte Quelle angesehen wird. Die MZB-Werte und die GZS (Grenzwerte zugänglicher Strahlung) sind unabhängig von der Größe der Strahlenquelle für Winkelausdehnungen, die kleiner als α_{\min} sind.

A 1.21 Maximale Ausgangsstrahlung:

Die maximale Strahlungsleistung bzw. die maximale Strahlungsenergie pro Impuls der gesamten zugänglichen Strahlung, die eine Lasereinrichtung in irgendeine Richtung bei Nutzung aller apparativen Möglichkeiten zu einer beliebigen Zeit nach der Herstellung abgeben kann.

A 1.22 Messblende:

Die kreisförmige Fläche, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden müssen.

A 1.23 Modenkopplung:

Mechanismus oder eine Erscheinung innerhalb eines Laserresonators, welcher zur Erzeugung eines Zuges sehr kurzer Impulse führt. Diese Erscheinung kann absichtlich herbeigeführt werden oder auch spontan als „selbstständige Modenkopplung“ vorkommen. Die dabei auftretenden Spitzenleistungen können beträchtlich höher sein als die mittlere Leistung.

A 1.24 Optische Dichte:

Logarithmus zur Basis 10 (Briggscher Logarithmus) des reziproken Wertes des Transmissionsgrades.

Symbol: D ; $D = -\log_{10} \tau$

A 1.25 Reflexionsgrad:

Verhältnis der reflektierten Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung unter gegebenen Bedingungen.

Symbol: ρ

SI-Einheit: 1

A 1.26 Richtungsveränderliche Laserstrahlung (scanning):

Laserstrahlung, die bezüglich eines festen Bezugssystems eine mit der Zeit variierende Richtung, einen zeitlich veränderlichen Ursprungsort oder zeitlich veränderliche Ausbreitungsparameter hat.

A 1.27 Steckverbinder für fernbediente Sicherheitsverriegelung:

Steckverbinder, der es ermöglicht, externe Steuerelemente anzuschließen, die von anderen Bauteilen der Laser-Einrichtung getrennt aufgestellt sind.

A 1.28 Sicherheitsverriegelung:

Selbsttätige Vorrichtung, die mit dem Schutzgehäuse einer Laser-Einrichtung verbunden ist mit dem Ziel, den Zugang zur Laserstrahlung der Klasse 3R, 3B oder Klasse 4 zu verhindern, wenn dieser Teil des Gehäuses entfernt ist.

A 1.29 Scheinbare Quelle:

Das wirkliche oder scheinbare Objekt, welches das kleinstmögliche Bild auf der Netzhaut erzeugt.

Die Definition der scheinbaren Quelle wird verwendet, um den scheinbaren Ursprung der Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm zu bestimmen, unter der Annahme, dass sich die scheinbare Quelle im Akkomodationsbereich des Auges (≥ 100 mm) befindet. Im Grenzfall verschwindender Divergenz, d.h. im Fall des ideal kollimierten Strahls, liegt die scheinbare Quelle im Unendlichen.

Die Definition der scheinbaren Quelle wird im erweiterten Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4000 nm verwendet, da eine Bündelung durch übliche Linsen in diesem Bereich möglich sein könnte.

A 1.30 Schutzabdeckung:

Vorrichtung, die verhindert, dass Menschen Laserstrahlung ausgesetzt werden, ausgenommen in Fällen, in denen der Zugang zur Strahlung für die vorgesehene Funktion der Anlage notwendig ist.

A 1.31 Schutzgehäuse:

Jene Teile einer Laser-Einrichtung (einschließlich Einrichtungen mit gekapselten Lasern), die dafür vorgesehen sind, zugängliche Strahlung zu verhindern, welche die vorgeschriebenen Grenzwerte der zugänglichen Strahlung (GZS) übersteigt (gewöhnlich vom Hersteller angebracht).

A 1.32 Sicherheitsabstand (engl.: nominal ocular hazard distance – NOHD):

Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Grenzwert der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) der Hornhaut des Auges ist. Schließt man beim Sicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom „erweiterten Sicherheitsabstand“ gesprochen.

A 1.33 Sichtbare Strahlung (Licht):

Jede optische Strahlung, die unmittelbar eine direkte Lichtempfindung im Auge hervorrufen kann.

In dieser GUV-Information bedeutet dies die elektromagnetische Strahlung, deren monochromatische Komponenten im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 700 nm liegen.

A 1.34 Spiegelnde Reflexion:

Reflexion an einer Fläche, bei der die Korrelation zwischen den einfallenden und reflektierten Strahlenbündeln aufrechterhalten wird, wie bei der Reflexion an einem Spiegel.

A 1.35 Strahl:

Laserstrahlung, die durch Richtung, Divergenz, Durchmesser oder Ablenkeigenschaften charakterisiert werden kann. Gestreute Strahlung von einer nicht spiegelnden Reflexion wird nicht als Strahl angesehen.

A 1.36 Strahlaufweiter:

Eine Kombination optischer Elemente, die den Durchmesser eines Laserstrahlenbündels vergrößert.

A 1.37 Strahldivergenz:

Die Strahldivergenz ist der ebene Winkel im Fernfeld, der durch den Kegel des Strahldurchmessers festgelegt ist. Wenn die Strahldurchmesser an zwei im Abstand r voneinander liegenden Punkten d_{63} und d'_{63} betragen, ist die Divergenz:

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{d_{63} - d'_{63}}{2r} \right)$$

SI-Einheit: rad

A 1.38 Strahldurchmesser (Strahlbreite):

Der Strahldurchmesser d_u an einem Punkt im Raum ist der Durchmesser des kleinsten Kreises, der $u\%$ der gesamten Strahlungsleistung (oder Energie) umfasst. In dieser GUV-Information wird d_{63} benutzt.

Für ein Gaußsches Strahlbündel entspricht d_{63} den Punkten, an denen die Bestrahlungsstärke auf $1/e$ des Maximalwertes in der Mitte fällt.

A 1.39 Strahlungsenergie:

Zeitintegral der Strahlungsleistung über eine bestimmte Zeitdauer Δt .

Symbol: Q ;
$$Q = \int_{\Delta t} P dt$$

SI-Einheit: Joule (J)

A 1.40 Strahlungsleistung:

In Form von Strahlung ausgesandte, durchgelassene oder empfangene Leistung.

Symbol: P oder ϕ ; $P = \frac{dQ}{dt}$

SI-Einheit: Watt (W)

A 1.41 Transmissionsgrad:

Verhältnis der durchgelassenen Strahlungsleistung zur auffallenden Strahlungsleistung.

Symbol: τ

SI-Einheit: 1

A 1.42 Wartung:

Maßnahmen zur Bewahrung des Soll-Zustandes.

A 1.43 Winkelausdehnung (α):

Der Winkel unter dem die scheinbare Quelle von einem Raumpunkt aus erscheint. In dieser GUV-Information wird die Winkelausdehnung von einem Punkt in 100 mm Abstand von der scheinbaren Quelle aus bestimmt (oder am Austrittsfenster oder der Linse des Gerätes, falls die scheinbare Quelle in einem Abstand größer als 100 mm innerhalb des Fensters oder der Linse liegt). Für eine Analyse der maximal zulässigen Bestrahlung ist die Winkelausdehnung durch den Beobachtungsabstand von der scheinbaren Quelle bestimmt, aber durch keinen geringeren Abstand als 100 mm.

Die Winkelausdehnung einer scheinbaren Quelle ist nur im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm, dem Bereich für die Gefährdung des Auges, anwendbar.

Die Winkelausdehnung der Quelle sollte nicht mit der Divergenz des Strahls verwechselt werden.

A 1.44 Zugänglichkeit:

- a) Möglichkeit, einen Körperteil einer gefährlichen Laserstrahlung, die von einer Austrittsöffnung ausgeht, auszusetzen, oder die Möglichkeit für einen geraden Prüfkörper mit 12 mm Durchmesser und bis 80 mm Länge, Laserstrahlung der Klasse 2, 2M oder 3R zu empfangen, oder

- b) für Laserstrahlung in einem Gehäuse mit höheren Werten als in a) die Möglichkeit, für einen Teil des Körpers der Gefahr einer gefährlichen Strahlung aus dem Inneren des Gehäuses durch Öffnungen im Schutzgehäuse ausgesetzt zu sein, die an einer eingeführten glatten Oberfläche reflektiert wird.

Anhang 2

Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)

Der Fachausschuss „Elektrotechnik“ der Berufsgenossenschaftlichen Zentrale für Sicherheit und Gesundheit (BGZ) des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften hat mit seiner Stellungnahme vom 7. Dezember 2001 festgelegt, dass bis zum Erscheinen einer neuen Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) die neuen MZB-Werte der DIN EN 60 825-1 (VDE 0837 Teil 1): 2001-11 angewendet werden dürfen. Bestehende Berechnungen der MZB-Werte und daraus festgelegte Laserbereiche auf Grund der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20) müssen nicht neu bestimmt werden.

Im Folgenden sind die neuen MZB-Werte und ihre Berechnung dargestellt.

A 2.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Werte für die maximal zulässige Bestrahlung (MZB) sind für die Benutzer so festgelegt, dass sie unterhalb der bekannten Gefahrenpegel liegen. Sie basieren auf den besten zur Verfügung stehenden Informationen aus experimentellen Studien. Die MZB-Werte sollten als Richtwerte bei der Kontrolle von Bestrahlungen angesehen werden; sie stellen keine präzise definierte Abgrenzung zwischen sicheren und gefährlichen Pegeln dar. In jedem Fall muss die Einwirkung der Laserstrahlung so gering wie möglich sein. Wenn ein Laser Strahlung bei mehreren sehr unterschiedlichen Wellenlängen emittiert, oder wenn einer kontinuierlichen Strahlung Impulse überlagert sind, können die Berechnungen der Gefährdung kompliziert sein.

Im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 600 nm wird für Expositionsdauern über 10 s zwischen fotochemischen und thermischen Wirkungen unterschieden.

Diese sind zunächst getrennt zu bewerten. Der restriktivere Wert ist hierbei zu verwenden.

Bei Bestrahlung mit mehreren Wellenlängen sollte ein additiver Effekt auf einer proportionalen Basis der spektralen Wirksamkeit entsprechend den MZB-Werten von den Tabellen 6a, 6b und 7 angenommen werden, wenn:

- a) die Impulsdauer oder Einwirkungsdauer innerhalb einer Größenordnung liegen
und
- b) die Spektralbereiche in Tabelle 1 – durch die Symbole (A) für die Einwirkung auf das Auge und (H) für die Einwirkung auf die Haut dargestellt – als additiv gekennzeichnet

zeichnet sind. Dabei darf die Summe der Quotienten aus der jeweiligen Bestrahlung und dem zugehörigen MZB-Wert nicht größer als 1 sein.

Tabelle 1: Additivität der Wirkungen am Auge (A) und an der Haut (H) in verschiedenen Spektralbereichen

Spektralbereich	UV-C und UV-B 180 nm bis 315 nm	UV-A 315 nm bis 400 nm	Sichtbares u. IR-A 400 nm bis 1 400 nm	IR-B und IR-C 1 400 nm bis 10 ⁶ nm
UV-C und UV-B 180 nm bis 315 nm	A H			
UV-A 315 nm bis 400 nm		A H	H	A H
Sichtbar und IR-A 400 nm bis 1 400 nm		H	A H	H
IR-B und IR-C 1 400 nm bis 10 ⁶ nm		A H	H	A H

Werden die Grenzwerte für das Auge (MZB) für Zeitbasen und Einwirkungsauern über 10 s bewertet, sind die additiven fotochemischen Wirkungen (400 nm bis 600 nm) und die additiven thermischen Wirkungen (400 nm bis 1400 nm) unabhängig voneinander zu untersuchen und der restriktivere Wert zu verwenden.

Wo die ausgestrahlten Wellenlängen nicht als additiv aufgezeigt sind, sind die Gefahren getrennt zu bewerten. Für Wellenlängen, bei denen die Wirkung als additiv bezeichnet ist, bei denen die Impulsdauern oder Einwirkungszeiten aber nicht von gleicher Größenordnung sind, ist extreme Vorsicht erforderlich (z.B. im Fall gleichzeitiger Einwirkung von gepulster und kontinuierlicher Strahlung).

A 2.2 Laser als ausgedehnte Quellen:

Die folgenden Korrekturen zu den MZB-Werten für kleine Quellen sind in den meisten Fällen auf die Beobachtung diffuser Reflexionen und von LED beschränkt; in einigen

Fällen könnten sie auch für Laseranordnungen oder ausgedehnte Quellen bei Lasereinrichtungen, die gestreute Strahlung erzeugen, gelten.

Für Laserstrahlung von ausgedehnten Quellen, z.B. Beobachten von diffusen Reflexionen, im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 nm werden die 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.

A 2.2.1 Tabelle 2:

Der Korrekturfaktor C_6 ergibt sich aus dieser Tabelle.

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

A 2.2.2 Tabelle 3:

Diese Tabelle enthält α_{\min} und α_{\max} .

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

A 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.

- a) Die Bestrahlung durch jeden Einzelimpuls einer Impulsfolge darf nicht den MZB-Wert für einen Einzelimpuls überschreiten.
- b) 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.

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 $MZB_{Impulsfolge}$ verglichen werden, so wie es im Folgenden angegeben ist:

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

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

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

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

In manchen Fällen kann dieser Wert unter die MZB für Dauerbetrieb fallen, die bei gleicher Spitzenleistung und gleicher Zeitbasis 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 1400 nm T_2 (siehe Tabelle 8) und 10 s für längere Wellenlängen.

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

Treten während der Zeitdauer T_1 (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_1 geltenden MZB addiert, falls alle einzelnen Impulsdauern größer als 10^{-9} s sind.

Tabelle 4: Zeiten T_i unterhalb denen die Impulsgruppen aufsummiert werden

Wellenlänge	T_i in s
$400 \text{ nm} \leq \lambda < 1050 \text{ nm}$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1050 \text{ nm} \leq \lambda < 1400 \text{ nm}$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1400 \text{ nm} \leq \lambda < 1500 \text{ nm}$	10^{-3}
$1500 \text{ nm} \leq \lambda < 1800 \text{ nm}$	10
$1800 \text{ nm} \leq \lambda < 2600 \text{ nm}$	10^{-3}
$2600 \text{ nm} \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$	10^{-7}

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

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 Energien 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.

A 2.4 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 1400 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.

Die Werte für die Bestrahlung der Augen im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm sind mit einer Messblende von 7 mm Durchmesser (Pupille) zu bestimmen. Der MZB-Wert darf nicht korrigiert werden, um kleinere Pupillendurchmesser zu berücksichtigen.

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

Wellenlängenbereich nm	Blendendurchmesser für	
	Augen mm	Haut mm
180 bis 400	1	3,5
≥ 400 bis 1 400	7	3,5
≥ 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
≥ 10 ⁵ bis 10 ⁶	11	11

A 2.5 Messbedingungen:

A 2.5.1 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 4 000 nm ist ein minimaler Messabstand von 100 mm zu verwenden.

A 2.5.2 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_0 :

- für $10 \text{ s} < t \leq 100 \text{ s}$; $\gamma_p = 11 \text{ mrad}$
 für $100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s}$; $\gamma_p = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$
 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.

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.

A 2.5.3 Messung richtungsveränderlicher Laserstrahlung:

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

A 2.6 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.

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

Einwirkungs- dauer in s Wellen- länge λ in nm	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
180 bis 302,5	$3 \cdot 10^{10} \cdot W \cdot m^2$		$30 J \cdot m^{-2}$				
302,5 bis 315			$(t \leq T_1)$ $C_1 J \cdot m^{-2}$	$C_2 J \cdot m^{-2}$ $(t > T_1)$			
315 bis 400			$C_1 J \cdot m^{-2}$				
400 bis 700	$1,5 \cdot 10^{-4} C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} C_6 J \cdot m^{-2}$		$18 t^{0,75} C_6 J \cdot m^{-2}$		
700 bis 1 050	$1,5 \cdot 10^{-4} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$		$18 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$		
1 050 bis 1 400	$1,5 \cdot 10^{-3} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$			$90 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	
1 400 bis 1 500	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$				$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$
1 500 bis 1 800	$10^{13} W \cdot m^{-2}$		$10^4 J \cdot m^{-2}$				
1 800 bis 2 600	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$				$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$
2 600 bis 10^6	$10^{11} W \cdot m^{-2}$		$100 J \cdot m^{-2}$	$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$			

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8.

^b Die MZB für Einwirkungs-dauern unter 10^{-9} und für Wellenlängen unter 400 nm sowie größer als 1 400 nm wurden abgeleitet, indem die äquivalente Bestrahlungsstärke aus den MZB-Werten, die für 10^{-9} s gelten, berechnet wurde. Die MZB für Einwirkungs-dauern unter 10^{-13} s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10^{-13} s gelten.

^c Der Winkel γ_p ist der Grenzempfangswinkel für das Messinstrument.

^d Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zweierlei Grenzwerte, und die Bestrahlung darf keinen der geltenden MZB-Werte überschreiten. Normalerweise gelten die MZB-Werte für fotochemische Netzhautgefährdung für Einwirkungs-dauern über 10 s; der MZB-Wert von $100 \cdot C_3 J \cdot m^2$ für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für Größen scheinbarer Quellen zwischen 1,5 mrad und 82 mrad bei Einwirkungs-dauern 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)

Einwirkungs- dauer in s	Wellen- länge λ in nm	10 bis 10²	10² bis 10³	10³ bis 10⁴	10⁴ bis 3 · 10⁴
180 bis 302,5		30 J · m ⁻²			
302,5 bis 315		C ₂ J · m ⁻²			
315 bis 400		10 ⁴ J · m ⁻²		10 W · m ⁻²	
400 bis 700	400 bis 600 nm	fotochemische Gefährdung der Netzhaut			
		100 C ₃ J · m ⁻² mit $\gamma_p = 11$ mrad	1 C ₃ W · m ⁻² mit $\gamma_p = 1,1 t^{0,5}$ mrad	1 C ₃ W · m ⁻² mit $\gamma_p = 110$ mrad	
		und ^d			
	400 bis 700 nm	thermische Gefährdung der Netzhaut			
	($t \leq T_2$) 18 t ^{0,75} C ₆ J · m ⁻²		$\alpha \leq 1,5$ mrad:	10 W · m ⁻²	
			$\alpha > 1,5$ mrad:	18 C ₆ T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻²	($t > T_2$)
700 bis 1050			$\alpha \leq 1,5$ mrad:	10 C ₄ C ₇ W · m ⁻²	
1050 bis 1400	($t \leq T_2$) 18 t ^{0,75} C ₄ C ₆ C ₇ J · m ⁻²		$\alpha > 1,5$ mrad:	18 C ₄ C ₆ C ₇ T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻²	($t > T_2$)
1400 bis 1500		1000 W · m ⁻²			
1500 bis 1800					
1800 bis 2600					
2600 bis 10 ⁶					

^a Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 8.

^b Die MZB für Einwirkungsauern 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 Einwirkungsauern unter 10⁻¹³ s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei 10⁻¹³ s gelten.

^c Der Winkel γ_p ist der Grenzempfangswinkel für das Messinstrument.

^d Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 600 nm gelten zweierlei Grenzwerte, und die Bestrahlung darf keinen der geltenden MZB-Werte überschreiten. Normalerweise gelten die MZB-Werte für fotochemische Netzhautgefährdung für Einwirkungsauern über 10 s; der MZB-Wert von 100 · C₃ J · m² für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für Größen scheinbarer Quellen zwischen 1,5 mrad und 82 mrad bei Einwirkungsauern über 1 s zu verwenden.

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

Einwirkungs- dauer t in s Wellen- länge λ in nm	$< 10^{-9}$	10^{-9} bis 10^{-7}	10^{-7} bis 10^{-3}	10^{-3} bis 10	10 bis 10^3	10^3 bis $3 \cdot 10^4$
180 bis 302,5	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302,5 bis 315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t \leq T_1)$			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_1)$	
315 bis 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400 bis 700	$2 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 bis 1 400	$2 \cdot 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2\,000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400 bis 1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ 3)}$
1 500 bis 1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1 800 bis 2 600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
2 600 bis 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			

1) Für Korrekturen und Einheiten siehe Tabelle 8.

2) Es gibt nur wenig Erfahrung über die Einwirkungsdauer unter 10^{-9} s. Die MZB-Werte für diese Einwirkungsdauer 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.

Anmerkungen zu den Tabellen 6a, 6b und 7

1. Es gibt nur ein begrenztes Wissen über Effekte von Einwirkungsauern, die kleiner sind als 10^{-9} s. Die MZB-Werte für diese Einwirkungsauern sind aus den Werten abgeleitet worden, die sich für die Bestrahlungsstärke für 10^{-9} s ergeben.
2. Die speziellen Korrekturfaktoren C_1 bis C_7 und die Knickstellen T_1 bis T_2 , die in den Tabellen 6 und 7 verwendet werden, sind durch die folgenden Beziehungen definiert (siehe Tabelle 8).
3. In den Formeln in den Tabellen 6a, 6b und 7 muss die Wellenlänge λ in nm und die Einwirkungsauer t in s eingesetzt werden.

Tabelle 8: Definition der Parameter

Parameter	Spektralbereich nm
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$	302,5 bis 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda-295)} \cdot 10^{-15s}$	302,5 bis 315
$C_2 = 10^{0,2(\lambda-295)}$	302,5 bis 315
$T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha-1,5\text{mrad})/98,5]} \text{ s}^*$	400 bis 1400
$C_3 = 1,0$	400 bis 450
$C_3 = 10^{0,02(\lambda-450)}$	450 bis 600
$C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)}$	700 bis 1050
$C_4 = 5$	1050 bis 1400
$C_5 = N^{-1/4}$ **	400 bis 10^6
$C_6 = 1$ für $\alpha \leq \alpha_{\min}$ ***	400 bis 1400
$C_6 = \alpha/\alpha_{\min}$ für $\alpha_{\min} < \alpha \leq \alpha_{\max}$ ***	400 bis 1400
$C_6 = \alpha_{\max}/\alpha_{\min} = 66,7$ für $\alpha > \alpha_{\max}$ ****/***	400 bis 1400
$C_7 = 1$	700 bis 1150
$C_7 = 10^{0,018(\lambda-1150)}$	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 Grenzempfangswinkel γ_p muss gleich α_{\max} sein</p> <p>$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$</p> <p>$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$</p> <p>$N$ ist die Zahl der Impulse während der anzuwendenden Zeitdauer</p>	

Anhang 3

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 Risikoanalyse durchgeführt werden, um die maximale, vernünftigerweise vorhersehbare Bestrahlung zu bestimmen (siehe auch Anhang B der DIN EN 12 254).

Die folgenden Empfehlungen für die Verwendung von Abschirmungen für Laserarbeitsplätze gelten unter der Annahme regelmäßiger Inspektionen, deren Abstand von einer Risikoanalyse abhängt.

Die Auswahl der Abschirmungen ist in Tabelle 9 angegeben, die Bedeutung der Symbole D, I, R und M zeigt Tabelle 10.

Tabelle 9: Schutzstufen für Laserabschirmungen

Schutzstufe	Maximaler spektraler Transmissionsgrad bei den Laser-Wellenlängen	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	> 315 nm bis 1 400 nm	> 1 400 nm bis 10 ⁶ nm			
		für die Laserbetriebsart / Betriebsdauer in s									
		D	I, R > 10 ⁻⁹ bis 0,25	M	D	D	I, R > 10 ⁻⁹ bis 0,01	M	D	I, R > 10 ⁻⁹ bis 0,1	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
A 1	10 ⁻¹	0,01	3 · 10 ²	3 · 10 ¹¹	10	2,5 · 10 ²	0,05	0,0015	10 ⁴	10 ³	10 ¹²
A 2	10 ⁻²	0,1	3 · 10 ³	3 · 10 ¹²	10 ²	2,5 · 10 ³	0,5	0,015	10 ⁵	10 ⁴	10 ¹³
A 3	10 ⁻³	1	3 · 10 ⁴	3 · 10 ¹³	10 ³	2,5 · 10 ⁴	5	0,15	10 ⁶	10 ⁵	10 ¹⁴
A 4	10 ⁻⁴	10	3 · 10 ⁵	3 · 10 ¹⁴	10 ⁴	2,5 · 10 ⁵	50	1,5	10 ⁷	10 ⁶	10 ¹⁵
A 5	10 ⁻⁵	10 ²	3 · 10 ⁶	3 · 10 ¹⁵	10 ⁵	2,5 · 10 ⁶	5 · 10 ²	15	10 ⁸	10 ⁷	10 ¹⁶
A 6	10 ⁻⁶	10 ³	3 · 10 ⁷	3 · 10 ¹⁶	10 ⁶	2,5 · 10 ⁷	5 · 10 ³	1,5 · 10 ²	10 ⁹	10 ⁸	10 ¹⁷
A 7	10 ⁻⁷	10 ⁴	3 · 10 ⁸	3 · 10 ¹⁷	10 ⁷	2,5 · 10 ⁸	5 · 10 ⁴	1,5 · 10 ³	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ¹⁸
A 8	10 ⁻⁸	10 ⁵	3 · 10 ⁹	3 · 10 ¹⁸	10 ⁸	2,5 · 10 ⁹	5 · 10 ⁵	1,5 · 10 ⁴	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁹
A 9	10 ⁻⁹	10 ⁶	3 · 10 ¹⁰	3 · 10 ¹⁹	10 ⁹	2,5 · 10 ¹⁰	5 · 10 ⁶	1,5 · 10 ⁵	10 ¹²	10 ¹¹	10 ²⁰
A 10	10 ⁻¹⁰	10 ⁷	3 · 10 ¹¹	3 · 10 ²⁰	10 ¹⁰	2,5 · 10 ¹¹	5 · 10 ⁷	1,5 · 10 ⁶	10 ¹³	10 ¹²	10 ²¹

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 9 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 9, die mit D gekennzeichnet ist, verglichen werden. Ergibt sich dabei eine höhere Schutzstufe, so muss diese verwendet werden.

Tabelle 10: Erläuterung der Symbole D, I, R, M

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}

Anhang 4

Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen (nach Abschnitt 5 der DIN EN 60 825-1 [VDE 0837 Teil 1]: 2001-11)

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 Hinweisschild oder in der Nähe am Produkt angebracht werden. In den folgenden Beispielen wird die allgemeine Form „DIN EN 60 825-1: 2001-11“ verwendet.

In der Lichtwellenleitertechnik nach DIN EN 60 825-2 werden die gleichen Hinweisschilder zur Kennzeichnung der Gefährdungsgrade an lösbaren Steckverbindern verwendet. Anstelle des Wortes „Laserklasse“ wird hier der Begriff „Gefährdungsgrad“ verwendet.

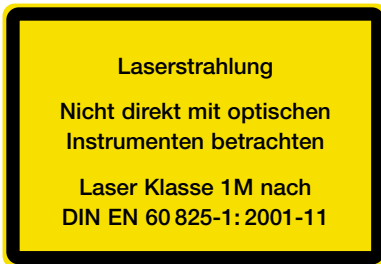
Die Symbole bei den technischen Zusatzangaben sind wie folgt definiert:

E	$W \cdot m^{-2}$	Bestrahlungsstärke
F	Hz	Impulswiederholrfrequenz
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

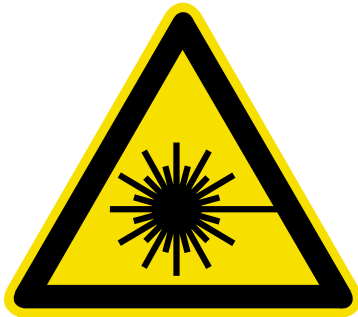


Der Hersteller kann bei Lasern der Klasse 1 und 1M auf die Kennzeichnung auf den Lasereinrichtungen verzichten und diese Aussagen nur in die Benutzerinformation aufnehmen. Die Laser sind dann nicht gekennzeichnet.

Lasereinrichtungen der Klassen 2 bis 4 müssen nach Abschnitt 5,8 DIN EN 60 825-1 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)



Laserstrahlung
 Nicht in den Strahl blicken
 Laser Klasse 2
 nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

Laserstrahlung
 Nicht in den Strahl blicken
 Laser Klasse 2
 nach DIN EN 60 825-1: 2001-11
 $P \leq 1 \text{ mW}$
 $\lambda = 650 \text{ nm}$

$P \leq 1 \text{ mW}$
 $\lambda = 650 \text{ nm}$

4 Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 2M

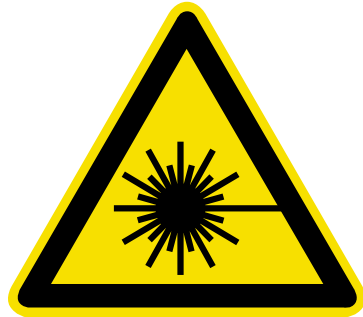


Laserstrahlung
Nicht in den Strahl blicken oder
direkt mit optischen
Instrumenten betrachten
Laser Klasse 2M
nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

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

5 Beispiele einer Kennzeichnung von Lasern der Klasse 3R

- a) Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm c) andere Wellenlängen als a) und b)



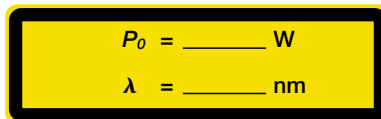
Laserstrahlung
 Direkte Bestrahlung der Augen vermeiden
 Laser Klasse 3R
 nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

Unsichtbare Laserstrahlung
 Nicht dem Strahl aussetzen
 Laser Klasse 3R
 nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

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

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

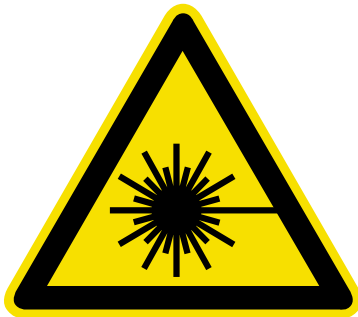
- b) Wellenlänge 700 nm bis 1 400 nm:
auf dem Hinweisschild wird „Laserstrahlung“ durch „Unsichtbare Laserstrahlung“ ersetzt



6 Beispiel einer Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 3B

a) 400 nm bis 700 nm
(z.B. Dauerstrichlaser)

b) sonst (z.B. Impulslaser)



Laserstrahlung
Nicht dem Strahl aussetzen
Laser Klasse 3B
nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

Unsichtbare Laserstrahlung
Nicht dem Strahl aussetzen
Laser Klasse 3B
nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

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

$P_0 \text{ _____} = \text{W}$
 $P_p \text{ _____} = \text{W}$
 $t \text{ _____} = \text{s}$
 $F \text{ _____} = \text{Hz}$
 $\lambda \text{ _____} = \text{nm}$

7 Beispiel 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 60 825-1: 2001-11

Unsichtbare Laserstrahlung
Bestrahlung von Auge oder
Haut durch direkte oder
Streustrahlung vermeiden
Laser Klasse 4
nach DIN EN 60 825-1: 2001-11

$P_0 = 20 \text{ W}$
 $\lambda = 457 \text{ nm} - 514 \text{ nm}$

$P_0 = 100 \text{ W}$
 $P_p = \leq 5,5 \text{ kW}$
 $t = 0,1 \text{ ms} - 20 \text{ ms}$
 $F = \text{Einzelimpuls bis } 300\text{Hz}$
 $\lambda = 1064 \text{ nm}$

Anhang 5

Muster für eine Laseranzeige gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)

Laseranzeige gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (GUV-V B 2, bisher GUV 2.20)	
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: $P =$ _____	
Laserklasse in der Anwendung: _____	
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

Bezugsquellenverzeichnis

Nachstehend sind die Bezugsquellen der in dieser GUV-Information aufgeführten Vorschriften und Regeln zusammengestellt:

1. Gesetze/Verordnungen

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

2. Unfallverhütungsvorschriften/Berufsgenossenschaftliche Vorschriften

Bezugsquelle: Schriften mit GUV-Nummer zu beziehen vom zuständigen Unfallversicherungsträger; Schriften mit BGV- bzw. VBG-Nummer zu beziehen vom Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln

3. Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz, Informationen, Grundsätze, Richtlinien, Sicherheitsregeln, Merkblätter

Bezugsquelle: Schriften mit GUV-Nummer zu beziehen vom zuständigen Unfallversicherungsträger; Schriften mit BGR-/BGI-/BGG- bzw. ZH 1-Nummer zu beziehen vom Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln

4. Merkblatt „Disco-Laser“

Bezugsquelle: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Dynamostraße 7–9, 68165 Mannheim.

5. Merkblatt „Lasengeräte in Diskotheken und bei Show-Veranstaltungen“ des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz

Bezugsquelle: Bayerisches Landesinstitut für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik, Pfarrstraße 3, 80538 München
Internet: http://www.lfas.bayern.de/technischer_as/medizinprodukte_strahlensch/strahlenschutz/LASER/laser.pdf

6. DIN-Normen

Bezugsquelle: Beuth-Verlag GmbH
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

7. VDE-Bestimmungen

Bezugsquelle: VDE-Verlag GmbH
Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

Hinweis:

Seit Oktober 2002 ist das BUK-Regelwerk „Sicherheit und Gesundheitsschutz“ neu strukturiert und mit neuen Bezeichnungen und Bestellnummern versehen. In Abstimmung mit dem Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften wurden sämtliche Veröffentlichungen den Kategorien „Unfallverhütungsvorschriften“, „Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz“, „Informationen“ und „Grundsätze“ zugeordnet.

Bei anstehenden Überarbeitungen oder Nachdrucken werden die Veröffentlichungen auf die neuen Bezeichnungen und Bestellnummern umgestellt. Dabei wird zur Erleichterung für einen Übergangszeitraum von ca. 3 bis 5 Jahren den neuen Bestellnummern die bisherige Bestellnummer angefügt.

Des Weiteren kann die Umstellung auf die neue Bezeichnung und Benummerung einer so genannten Transferliste entnommen werden, die u.a. im Druckschriftenverzeichnis und auf der Homepage des Bundesverbandes der Unfallkassen (www.unfallkassen.de) veröffentlicht ist.