

## **Fachverband für Strahlenschutz e.V.**

Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)  
für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz

---



# **Leitfaden „Laserstrahlung“**

FS-2011-159-AKNIR

## Vorwort und Impressum

Eines der Hauptziele der Arbeit des Arbeitskreises "Nichtionisierende Strahlung" (AKNIR) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. (FS) ist es, Unterlagen in Form von Leitfäden für die in diesem Arbeitskreis fachlich abgedeckten Themengebiete zu erstellen. Darin werden die physikalischen Grundlagen und der derzeitige wissenschaftliche Erkenntnisstand über die biologischen Wirkungen der einzelnen Teilbereiche vermittelt. Darüber hinaus werden die zulässigen Expositionswerte und durchzuführende Schutzmaßnahmen aufgeführt.

Die Leitfäden sollen sowohl den im Arbeitsschutz tätigen Experten als auch jedermann die notwendigen Hilfestellungen geben, um sich über das jeweilige Thema sachlich zu informieren, eventuell die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, aber auch die mitunter von anderer Seite geschürten Ängste in der Öffentlichkeit vor nichtionisierender Strahlung durch sachliche Informationen zu relativieren, und zwar auf der Grundlage des Standes von Wissenschaft und Technik.

Der vorliegende Leitfaden „Laserstrahlung“ soll allen Interessierten die notwendigen Informationen an die Hand geben, um mit Lasern richtig umgehen zu können.

Der Leitfaden „Laserstrahlung“ wurde vom Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. (Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA) für die Bundesrepublik Deutschland und die Schweiz) erarbeitet.

Dem Arbeitskreis gehören Experten auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlung aus den Niederlanden, Österreich, der Schweiz und Deutschland an.

Der Arbeitskreis Nichtionisierende Strahlung hat außerdem Leitfäden zu folgenden Themen erstellt:

- Sonnenstrahlung
- Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen
- Sichtbare und Infrarote Strahlung
- Lichteinwirkungen auf die Nachbarschaft
- Elektromagnetische Felder
- Infraschall
- Ultraschall

Verfasser: Martin Brose  
Hauke Brüggemeyer  
Max Graf  
Werner Horak  
Hermann Jossen  
Günter Ott  
Hans-Dieter Reidenbach  
Manfred Steinmetz  
Thomas Völker  
Daniela Weiskopf

Stand:03.12.2011

Redaktion und Bezug:

Prof. a. D. Dr. Hans-Dieter Reidenbach  
Sekretär des AKNIR  
Fachhochschule Köln – Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung  
Betzdorfer Str. 2  
50679 Köln  
Telefon: +49 221 - 8275 2003, -2208, Telefax: +49 221 - 885256  
E-Mail: [hans.reidenbach@fh-koeln.de](mailto:hans.reidenbach@fh-koeln.de)

# **Laserstrahlung**

## **Inhaltsverzeichnis:**

1	Beschreibung der Laserstrahlung	4
2	Laserarten und Anwendungen	5
3	Wirkungen auf den Menschen	7
4	Indirekte Wirkungen	15
5	Klasseneinteilung	17
6	Expositionsgrenzwerte	21
7	Messung	39
8.	Schutzmaßnahmen	40
9	Besondere Aspekte beim Einsatz von Lasern in der Medizin	55
10	Besondere Aspekte beim Einsatz von Lasern als Verbraucherprodukte	58
11	Begriffsbestimmungen	61
12	Informationsquellen und Literatur	61
13	Adressen	64

# 1. Beschreibung der Laserstrahlung

Das Wort LASER ist eine Abkürzung für "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" und beschreibt damit den Prozess der "Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung". Ein Laser liefert kohärente, monochromatische Strahlung mit großer Energie- und Leistungsdichte und einer ausgeprägten Richtungscharakteristik, d. h. gebündelte, fast parallele Strahlung ist typisch für diese optische Strahlungsquelle.

Laserstrahlung kann technisch in den nachfolgenden Wellenlängenbereichen der optischen Strahlung zwischen 100 nm und 1 mm realisiert werden:

Wellenlängenbereich	Wellenlänge in nm
Ultraviolett C (UV-C)	100 bis 280
Ultraviolett B (UV-B)	280 bis 315
Ultraviolett A (UV-A) <sup>1</sup>	315 bis 400
Sichtbare Strahlung (VIS) <sup>1</sup>	400 bis 700
Infrarot A (IR-A)	700 bis 1 400
Infrarot B (IR-B)	1 400 bis 3 000
Infrarot C (IR-C)	3 000 bis 1 000 000

Soweit Wellenlängen unterhalb von 100 nm, d. h. im Röntgenbereich, erzeugt werden, fallen sie auf Grund der größeren Photonenenergie in den Regelungsbereich ionisierender Strahlung.

Eine genauere Beschreibung der Laserstrahlung und ihrer Eigenschaften findet sich in der im Abschnitt 12 angegebenen Literatur. Die Einordnung der am häufigsten verwendeten Lasertypen wird in Abbildung 1 verdeutlicht.

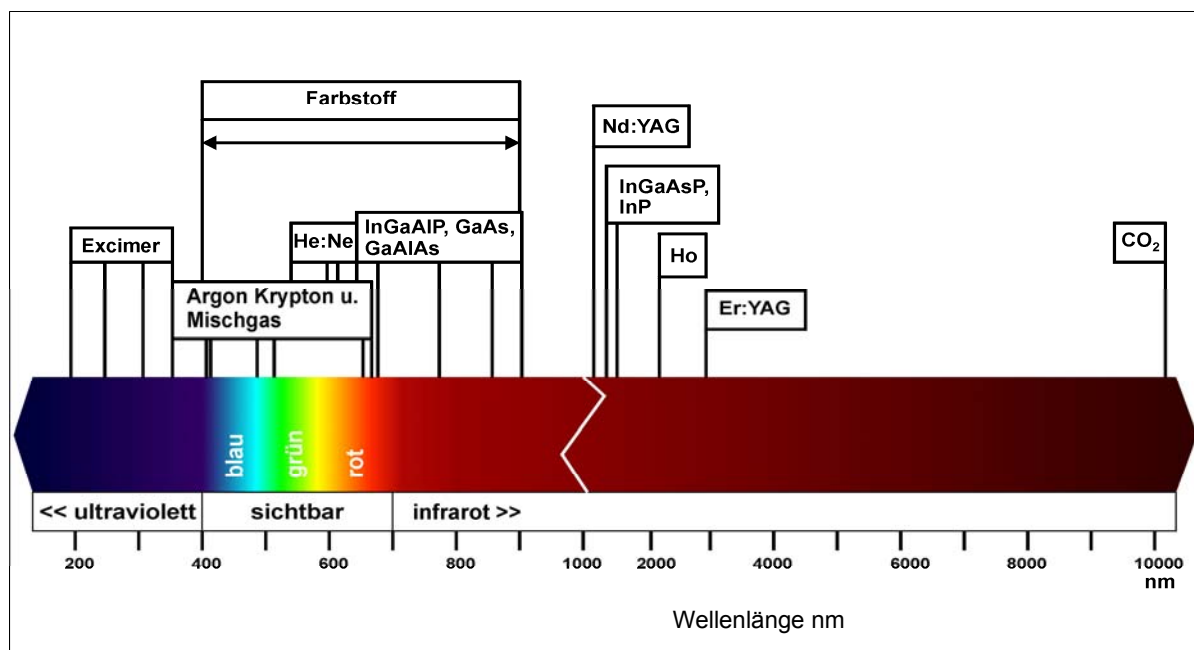


Abbildung 1: Laserarten und Wellenlängen der Laserstrahlung

<sup>1</sup> In diesem Leitfaden weicht die Wellenlängendefinition von den Definitionen für inkohärente Strahlung ab, bei Laserstrahlung wird der sichtbare Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm definiert.

## 2. Laserarten und Anwendungen

1960 gelang es Th. Maiman erstmals, mit einem mit Blitzlicht angeregten (gepumpten) Rubinkristall, einen Festkörperlaser für den sichtbaren Bereich zu realisieren. Seitdem entstanden als Folge intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eine Reihe weiterer Lasertypen. Heute ist eine große Anzahl von Lasern verfügbar, die Laserstrahlung vom Ultraviolett- bis zum Fernen Infrarot-Bereich emittieren.

Lasere werden insbesondere in der Materialbearbeitung, in der Mess- und Prüftechnik, in der Analytik, im Bauwesen, in der Informations- und Kommunikationstechnik, in der medizinischen Diagnostik und Therapie sowie bei Shows und sonstigen Vorführungen eingesetzt. Die Zahl der an Laser-Einrichtungen Beschäftigten und mit dem Betrieb von Lasern befassten Personen hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen.

In den Tabellen 1 und 2 sind die verschiedenen Laserarten mit ihren typischen Kennwerten und Anwendungsbereichen dargestellt.

**Tabelle 1:** Gaslaser (Beispiele)

Lasermedium	Wellenlänge in $\mu\text{m}$	typische Ausgangsleistung in W	typische Ausgangsenergie in J	Anwendungsbereiche
		CW Dauerstrich	Impulsbetrieb	
Stickstoff ( $\text{N}_2$ )	0,3371		$0,12 \cdot 10^{-3}$ $- 10^{-3}$	Pumpen von Farbstofflasern
Excimer (Edelgas-halogenidlaser) ArF KrF XeCl XeF	0,1931 0,2484 0,308 0,351		0,1 - 1	Materialbearbeitung, Spektroskopie, optisches Pumpen von Farbstofflasern, Medizin
Helium-Neon (He:Ne)	dominant bei: 0,6328  weitere Linie: 0,543	$0,5 \cdot 10^{-3}$ - $50 \cdot 10^{-3}$		Messtechnik, Justieren, Holografie
Argon ( $\text{Ar}^+$ )	Linien von 0,3511 bis 0,5287	0,5 - 25		Holografie, Messtechnik, Spektroskopie, Medizin, Pumpen von Farbstofflasern
Krypton ( $\text{Kr}^+$ )	Linien von 0,324 bis 0,858	0,5 - 12		Spektroskopie, Fotolithografie, Pumpen von Farbstofflasern, Medizin
Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	10,6	$1 \cdot 10^2$ - $30 \cdot 10^3$	$1 - 2 \cdot 10^3$	Materialbearbeitung, Lidar, Medizin, Spektroskopie

**Tabelle 2:** Festkörper-, Halbleiter- und Farbstofflaser (Beispiele)

LasermEDIUM	Wellenlänge in $\mu\text{m}$	typische Ausgangsleistung in W	typische Ausgangsenergie in J	Anwendungsbereiche
		Dauerstrichbetrieb (CW)	Impulsbetrieb	
Rubin ( $\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ )	0,694		0,1 - 300	Medizin, Lidar, Materialbearbeitung
Neodym-Glas (Nd:Glas)	1,062		$7 \cdot 10^{-3}$ - 300	Materialbearbeitung, Plasmaforschung, Fotochemie
Neodym-YAG (2. Harmonische)	1,064 (0,532)	1- 3 000 (0,5 - 30)	0,05 - 10	Materialbearbeitung, Medizin
Alexandrit	0,755		0,1 – 1	Medizin
Diodenlaser (allgemein)	0,38 – 2,0			
ZnSSe / ZnSe / CdZnSe InGaN AlGaIn / GaN InGaIn AlGaInP / GaAs, InGaAs / GaAs InGaAsP / InP GaInSn GaInSb / GaSb Pb-Chalkogenide	0,25 - 0,36 0,30 - 0,4 0,39 - 0,41 0,4 - 0,5 0,515 - 0,535 0,6 - 0,7 0,7 - 0,88 0,9 - 1,1 1,3 - 1,55 2,1 - 4,0 2,6 - 30	$3 \cdot 10^{-3}$ - 1		Optische Informationsübertragung, optische Plattenspeicher (Audio, Video), Laserdrucker, Messtechnik, Pumpen von Festkörperlaser, Medizin
Farbstoffe (allgemein)	0,31-1,28	0,1-3	$2,5 \cdot 10^{-3}$ - 5	Materialbearbeitung, Medizin, Spektroskopie

Lasere, die mit einer Strahlungsdauer von mehr als 0,25 s strahlen, werden als Dauerstrichlaser (CW: "continuous wave") bezeichnet.

Impulslaser erzeugen je nach Typ und Anwendung Impulse im Bereich von Femtosekunden bis 0,25 s.

Die Impulswiederholffrequenzen sind von Lasertyp zu Lasertyp bei den unterschiedlichen Betriebsweisen verschieden.

### 3. Wirkungen auf den Menschen

#### 3.1 Grundlagen der Wirkmechanismen

Die Wirkungen der Laserstrahlung auf biologisches Gewebe werden einerseits durch die "optischen" Eigenschaften des Gewebes, wie z. B. Reflexion, Streuung und Absorption, und zum anderen durch die physikalischen Eigenschaften der Laser, wie dessen Wellenlänge und Impulswiederholfrequenz bestimmt. Die Wirkung hängt hauptsächlich von der Bestrahlungsstärke bzw. der Bestrahlung am Auftreffort und der Bestrahlungsdauer ab.

Grundsätzlich verläuft die Wirkung von Laserstrahlung auf organisches (biologisches) Gewebe wie auf anorganische Materie. Darüber hinaus resultieren aus der lebenden Materie ganz spezifische Prozesse bezüglich des zeitlichen Verlaufs und des Ausmaßes der Wirkung. Ein Teil der Strahlung wird an der Grenzfläche des biologischen Gewebes zur Umgebung reflektiert. Dabei kann die Reflexion zwischen vollständig gerichtet und vollständig diffus erfolgen. Insbesondere bestimmen Laser-Wellenlänge, Oberflächenbeschaffenheit und Zustand des jeweiligen Gewebes die Reflexion. So wird z. B. die Reflexion von hellen Gewebereichen im Vergleich zu pigmentierten Bereichen im sichtbaren Spektralbereich größer sein. Im UV- und IR-Bereich kann die Reflexion vom visuellen Eindruck abweichen.

Ein Großteil der Laserstrahlung wird aus der Gewebeoberfläche rückgestreut (hauptsächlich zwischen 400 nm und 1400 nm). Dabei können Reflexionsgrade von über 40 % erreicht werden. Aber auch in tieferen Gewebeschichten kann an Strukturinhomogenitäten mit unterschiedlichen Brechzahlen Rückstreuung erfolgen. Im Gewebe tritt weder reine Absorption noch reine Streuung auf, sondern eine Kombination beider Prozesse. Bei alleiniger Absorption würde die Bestrahlungsstärke exponentiell nach dem Lambert-Beerschen Gesetz abnehmen. Bei zusätzlicher Streuung kann die Leistungsdichte in den oberen Gewebeschichten sogar größer als die der einfallenden Laserstrahlung unmittelbar unter der Oberfläche sein. Ursache dafür ist eine Überlagerung der einfallenden mit der aus tieferen Gewebeschichten rückgestreuten Laserstrahlung (Albedo-Effekt). Gewebereaktionen etwas unterhalb der Oberfläche können daher stärker sein als unmittelbar an der Oberfläche.

Streuung tritt im sichtbaren Bereich und im IR-A entweder als Rayleigh-Streuung an Teilchen bzw. Strukturen auf, die klein gegen die Wellenlänge sind oder als Mie-Streuung, wenn die Streuteilchen bzw. -bereiche größere Abmessungen als die Wellenlänge besitzen. In biologischem Gewebe kann von sehr vielen elementaren Streuprozessen (typisch in der Größenordnung 100 bis 1000) ausgegangen werden, bis die Energie des Photons der eindringenden Strahlung im Gewebe absorbiert wird.

Im Allgemeinen wird Laserstrahlung schon in den oberen Gewebeschichten, d. h. im Millimeter-Bereich, so weit abgeschwächt bzw. absorbiert, dass sie in den darunterliegenden Schichten keine Reaktionen hervorrufen kann. Dabei geht auch deren Kohärenz verloren.

Die Wellenlängenabhängigkeit der Gewebeabsorption ist durch die unterschiedlichen "optischen" Eigenschaften der Bestandteile des Gewebes gegeben. Absorption von Laserstrahlung in biologischem Gewebe bzw. in seinen Bestandteilen erfolgt im UV-Bereich überwiegend als Elektronenanregung und im IR-Bereich überwiegend als Anregung von Molekülschwingungen. Makroskopisch äußert sich ersteres in fotochemischen Reaktionen und letzteres in einer Temperaturerhöhung des betreffenden Gewebes.

Die sehr hohe Absorption der Laserstrahlung im Gewebe bei Wellenlängen unterhalb von ca. 300 nm wird durch Wasser, Hämoglobin und Melanin verursacht, die Absorption der beiden Letztgenannten setzt sich auch bis in das Sichtbare fort. Ab etwa 700 nm nimmt die Wasserabsorption zum fernen Infrarot hin ständig zu, wobei Wasser bei ca. 3  $\mu\text{m}$  und bei ca. 6  $\mu\text{m}$  Absorptionsmaxima hat, bei denen die Eindringtiefe der Strahlung besonders klein ist. Daher kann durch CO<sub>2</sub>- (10,6  $\mu\text{m}$ ) und Er-YAG-Laser (2,94  $\mu\text{m}$ ), aber auch durch Excimer-Laser ( $\leq 355$  nm), Gewebe bereits bei relativ kleinen Bestrahlungswerten von der Oberfläche abgetragen werden.

Im Wellenlängenbereich von 700 nm bis ca. 1200 nm ist die Absorption der Strahlung im Gewebe noch relativ klein, d. h. in diesem Bereich dringt Laserstrahlung (z. B. beim GaAs- und beim Nd:YAG-Laser) vergleichsweise tief in das Gewebe ein, und die zugeführte Energie verteilt sich auf ein größeres Volumen und bewirkt bei ausreichender Bestrahlung eine relativ ausgedehnte Gewebe-Koagulation.

Im sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums können unter Verwendung spezieller Wellenlängen, abgestimmt auf die Absorptionsbänder körpereigener Pigmente bzw. zugeführter körperfremder Chromophore (z. B. Hämatoporphyrin u.a.), gezielt elektronische Übergänge angeregt und dadurch fotodynamische Reaktionen bewirkt werden.

Neben der im Gewebe absorbierten optischen Energie (abhängig von den optischen Eigenschaften des Gewebes in Verbindung mit der Wellenlänge und der Bestrahlungsstärke) bestimmt die Bestrahlungs- bzw. Einwirkungsstärke die sich anschließenden Gewebereaktionen. Infolge der thermischen Relaxationszeiten der Gewebe können mit kleinerer Impulsdauer im Gewebe sog. nichtthermische Prozesse (z. B. Fotoablation, Fotodisruption) hervorgerufen werden. Die thermischen Zeitkonstanten hängen von der Größe der bestrahlten Fläche, dem Durchblutungszustand und der Art des Gewebes ab.

Aus der jeweiligen Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) bzw. Energiedichte (Bestrahlung) und der Bestrahlungsdauer (Emissions- bzw. Einwirkungsstärke) ergibt sich ein breites Spektrum von Wirkungen im biologischen Gewebe, das von fotochemischen über photothermische bis zu fotoionisierenden (fotophysikalischen) Prozessen reicht (siehe Abb. 2).

Mit Laserstrahlung kleiner Bestrahlungsstärke im Bereich  $< 1 \text{ W/cm}^2$  ( $1 \text{ W/cm}^2 = 10 \text{ kW/m}^2$ ) und für bestimmte Wellenlängen können auf der Haut reversible Prozesse wie Foto-Stimulation oder fotochemische Reaktionen (Bestrahlungszeiten größer als ca. 1 s) hervorgerufen werden.

Werden größere Leistungsdichten im Bereich von ca.  $10 \text{ W/cm}^2$  bis  $10^5 \text{ W/cm}^2$  bei Bestrahlungsdauern von Millisekunden bis zu einigen Sekunden appliziert, erwärmt sich das Gewebe (Denaturieren, d. h. Koagulation von Eiweiß und Nekrose von Zellen, bei über  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  Verdampfen (Vaporisation)).

Bei größeren Leistungsdichten von  $10^6 \text{ W/cm}^2$  bis  $10^{10} \text{ W/cm}^2$  und Bestrahlungsdauern im  $\mu\text{s}$ -Bereich und kleiner, werden sogenannte nicht-thermische Reaktionen initiiert, d. h. es kommt zur Abtragung von Gewebe mit nahezu keiner oder minimaler thermischer Belastung des umliegenden Gewebes. Die Nekrosezonen liegen dabei in der Größenordnung von Zellen ( $\mu\text{m}$ -Bereich).

Bei sehr kleinen Applikationszeiten mit Leistungsdichten bis zu  $10^{12} \text{ W/cm}^2$  entsteht ein sogenannter optischer Durchbruch, d. h. die elektrischen Feldstärken im Einwirkungsbereich der Laserstrahlung sind mit  $10^6 \text{ V/cm}$  bis  $10^8 \text{ V/cm}$  in der Größenordnung der atomaren bzw. intramolekularen Coulombfelder. Hierdurch entsteht ein Mikroplasma im Gewebe, d. h. die Atome werden ionisiert, und es bildet sich eine sehr große Dichte freier Elektronen. Die Expansion dieses Mikroplasmas bewirkt einen akustischen Druckimpuls (Stoßwelle), der harte Stoffe zerstören kann. Dieser Prozess wird z. B. bei der Laserlithotripsie (Nierenstein-, Harnstein-, Speichelsteinzertrümmerung) ausgenutzt.

Auch bei einzelnen Laserimpulsen kleiner Impulsdauer kann bei großer Impuls-Wiederholfrequenz und entsprechend vergrößerter mittlerer Leistung ein thermischer Effekt entstehen, bei dem sich große Nekrosezonen ausbilden können (ca. 0,5 mm).

Trotz unterschiedlicher Gewebereaktionen kann man feststellen, dass zum Erreichen von Gewebeschäden jeweils ungefähr die gleiche Energiedichte (ca.  $1 \text{ J/cm}^2$  bis  $100 \text{ J/cm}^2$ )

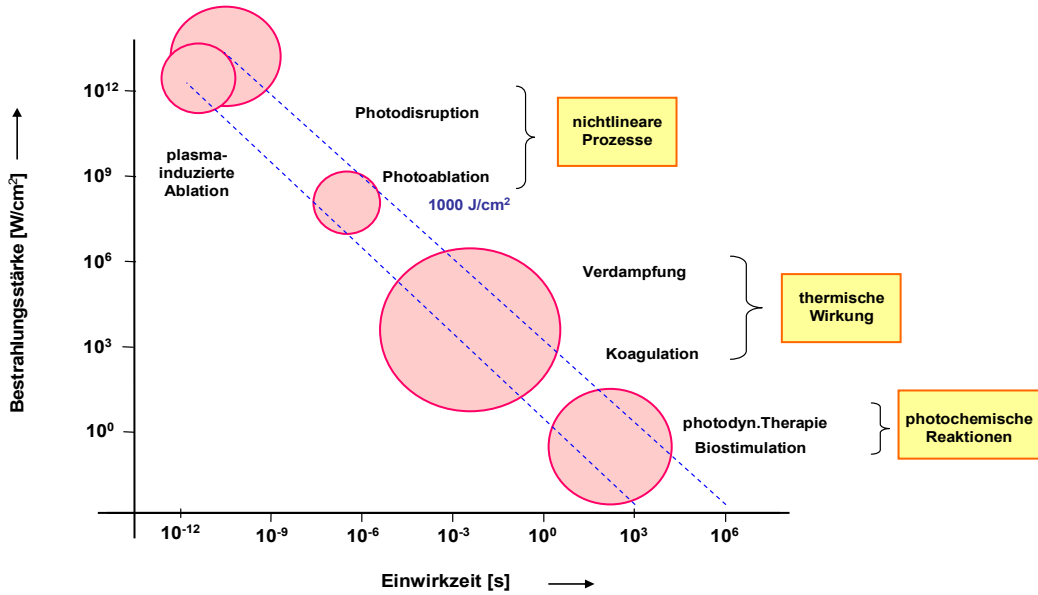
---

<sup>\*) Umrechnung  $1 \text{ W/cm}^2 = 10^3 \text{ mW/cm}^2 = 10 \text{ mW/mm}^2 = 10 \text{ kW/m}^2 = 10^4 \text{ W/m}^2$</sup>



erforderlich ist. Je nach Einwirkdauer tritt aber ein anderer Gewebeschaden auf.

Abbildung 2 gibt eine Übersicht verschiedener Wirkungen von Laserstrahlung auf biologisches Gewebe (Merkblatt M 080).



Wirkung		
fotochemisch	fotothermisch	fotoionisierend
<b>Fotodynamische Therapie</b> t= 10...1000 s CW < 100 mW ≤ 50mW/cm <sup>2</sup>	<b>Fotothermolyse</b> -hyperthermie -koagulation *) -karbonisation*) -vaporisation*) t= 1ms...1s Quasi-CW *)1...100 W >1...100 W/cm <sup>2</sup>	<b>Fotoablation*)</b> -disruption**) -fragmentation**) *) 10ns.....10 µs **) 10 ps... 10 ns

Abbildung 2: Wirkungen von Laserstrahlung auf biologisches Gewebe

### 3.2 Gefährdungen des Auges

Das Auge ist in besonderem Maße der Aufgabe angepasst, optische Strahlung zwischen 400 nm und 700 nm zu empfangen und umzuwandeln.

Laserstrahlung im Ultravioletten und im fernen Infrarot (IR-C) gefährdet insbesondere die Hornhaut, während Laserstrahlung im Sichtbaren und im nahen Infrarot (IR-A) bis zur Netzhaut gelangt. Mögliche Prozesse bei Einwirkung von Laserstrahlung auf das Auge sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3: Prozesse und Auswirkungen auf Auge und Haut**

Spektralbereich	Auge	Haut
Ultraviolett C (UVC) 100 nm bis 280 nm	Fotokeratitis und Fotokonjunktivitis Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Präkanzerose Erythem (Sonnenbrand) Karzinome
Ultraviolett B (UVB) 280 nm bis 315 nm	Fotokeratitis und Fotokonjunktivitis Kataraktbildung Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Verstärkte Pigmentierung (Spätpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem (Sonnenbrand) Präkanzerosen Karzinome
Ultraviolett A (UVA) 315 nm bis 400 nm	Kataraktbildung Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Bräunung (Sofortpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem (Sonnenbrand) Karzinome
sichtbare Strahlung (VIS) 400 nm bis 700 nm	Fotochemische und Fothermische Schädigung der Netzhaut (Retina)	Verbrennungen Fotosensitive Reaktionen
Infrarot A (nahes Infrarot) 700 nm bis 1 400 nm	Katarakt, Verbrennung der Netzhaut (Retina) (fothermische Schädigung) Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen
Infrarot B 1 400 nm bis 3 000 nm	Katarakt, Verbrennungen der Hornhaut (Kornea)	Blasenbildung auf der Haut Verbrennungen
Infrarot C (fernes Infrarot) 3 000 nm bis 1 mm	Verbrennungen der Hornhaut (Kornea), (fothermische Schädigung)	Verbrennungen

Laserstrahlung im Sichtbaren und nahen Infrarot, d. h. zwischen 400 nm und 1400 nm, gefährdet das Auge besonders, da in der Netzhaut (Retina) und in der dünnen darunter liegenden, stark pigmentierten Gewebeschicht (Pigmentepithel), sehr große Bestrahlungsstärken auftreten können. Die Zunahme der Bestrahlungsstärke von der Hornhaut bis zur Netzhaut ist etwa gleich dem Verhältnis der Pupillenfläche zur Fläche des Bildes auf der Netzhaut. Diese Zunahme entsteht dadurch, dass die Laserstrahlung, die durch die Pupille tritt, nahezu "punktförmig" auf der Netzhaut abgebildet werden kann.

Die Pupille ist eine variable Öffnung, deren Durchmesser bis zu ca. 8 mm betragen kann, wenn sie in einem jungen Auge vollständig aufgeweitet ist. In der Laserschutzpraxis wird von einem maximalen Pupillendurchmesser von 7 mm ausgegangen. Das Bild auf der Netzhaut, das diesem Pupillenzustand entspricht, kann einen Durchmesser zwischen 10 µm und 20 µm besitzen. Deshalb steigt die Bestrahlungsstärke zwischen Hornhaut und Netzhaut um

einen Faktor  $1,2 \cdot 10^5$  bis  $5 \cdot 10^5$ . Bei einer Zunahme um den Faktor von  $5 \cdot 10^5$  erhöht sich die Bestrahlungsstärke daher von z. B.  $25 \text{ W/m}^2$  auf der Hornhaut auf einen Wert von  $1,25 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$  auf der Netzhaut.

Laserstrahlung aus dem Wellenlängenbereich unterhalb von 300 nm und oberhalb von 3 000 nm wird vorwiegend in der Hornhaut absorbiert. Strahlung zwischen 300 nm und 3 000 nm dringt mehr oder weniger tief in die Linse oder in den Glaskörper ein, d. h. je nach Wellenlängenbereich und Ort der Wechselwirkung können verschiedene Arten der Augenschäden auftreten.

Bei den Schäden im UV-B- und UV-C-Bereich handelt es sich vorwiegend um Fotokeratitis, also eine Hornhaut-Entzündung. Anzeichen dafür sind Bindehautentzündung (Fotokonjunktivitis) mit Tränen, Fotophobie und einem Gefühl wie Sand in den Augen. Diese Effekte entwickeln sich in den nächsten 24 Stunden nach einer UV-Überexposition und sind meist mit unangenehmen bis hin zu großen Schmerzen verbunden, die bis zu 24 Stunden anhalten können. Im Allgemeinen verschwinden alle diese Effekte innerhalb von 48 Stunden. Bleibende Schäden sind aber nicht auszuschließen.

Das Aktionsspektrum (Wirkungsfunktion) von UV-Strahlung auf die Hornhaut hat ein Maximum im Bereich von 260 nm bis 280 nm entsprechend dem ersten Absorptionsband der aromatischen Aminosäuren der Proteine und der Basen der Nukleinsäuren. Dies ist daher der empfindlichste Wellenlängenbereich für eine Schädigung der Hornhaut.

Bei Bestrahlung des Auges im UV-A Bereich ist die Augenhornhaut und vor allem die Augenlinse betroffen. Dies kann zu einer irreversiblen Eintrübung der Augenlinse führen (Grauer Star, Katarakt).

Im sichtbaren Spektralbereich verursachen insbesondere zwei Wirkmechanismen eine Schädigung. So besitzt die Wirkfunktion fotochemischer Prozesse im kurzwelligen Teil, und zwar im Bereich von 435 nm bis 440 nm ein Maximum, während im langwelligeren Teil die thermische Wirkung für einen Schaden auf der Netzhaut maßgeblich ist.

Wird Laserstrahlung auf die Netzhaut fokussiert, dann wird nur ein Bruchteil (bis zu 5 %) durch die Sehpigmente in den Stäbchen und Zapfen aufgenommen. Der Großteil wird in der darunter liegenden Pigmentschicht vom Melanin absorbiert. Eine Laserbestrahlung kann dabei örtliche Aufheizungen und Verbrennungen von Pigmentepithel und Sehzellen erzeugen.

Läsionen, wie z. B. Verbrennungen, können zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Sehvermögens führen. Abhängig von der Exposition kann ein Ausfall an Sehvermögen bestehen bleiben.

Eine Abnahme des Sehvermögens wird üblicherweise vom Betroffenen selbst subjektiv nur dann wahrgenommen, wenn die zentrale Region (Makula lutea, "Gelber Fleck") betroffen ist, welche als der wichtigste Teil der Netzhaut für das schärfste Sehen und für das Farbsehen verantwortlich ist. Dieser Teil der Netzhaut wird benutzt, wenn man "direkt auf etwas blickt". Ein Schaden in diesem Bereich erscheint anfänglich als trüber weißer Fleck, der den zentralen Sehbereich verdeckt und in zwei oder mehr Wochen zu einem dunklen Fleck werden kann.

Größere Schäden im "Gesichtsfeld" führen zu ernsten bleibenden Beeinträchtigungen (Visus- bzw. Sehschärfeverlust). Trifft die fokussierte Laserstrahlung das Nervengewebe im blinden Fleck, so kann die Beeinträchtigung des Sehvermögens bis zur Blindheit reichen. Kleine periphere Läsionen bleiben dagegen meist unbemerkt und können sogar bei einer systematischen Augenuntersuchung kaum gefunden werden.

Die Stufen der Retinaschädigungen reichen oberhalb des Schwellwertes von kaum identifizierbaren Schäden über sichtbare Ödeme (Wassereinschwemmungen), Koagulationen und

Verbrennungen, Kraterbildung und Ausstoß von Retinamaterial in den Glaskörper bis zu massiven, ausgedehnten Blutungen in den Augapfel.

Die Stufen der Retinaschädigungen reichen oberhalb des Schwellwertes von kaum identifizierbaren Schäden über sichtbare Ödeme (Wassereinschwemmungen), Koagulationen und Verbrennungen, Kraterbildung und Ausstoß von Retinamaterial in den Glaskörper bis zu massiven, ausgedehnten Blutungen in den Augapfel.

Infrarotstrahlung wirkt, außer bei Impulsen kleiner Bestrahlungsdauer, rein thermisch, wobei aber für den Ort maximaler Wirkung noch die wellenlängenabhängige Absorption berücksichtigt werden muss. Da Strahlung mit Wellenlängen oberhalb von ca. 1 200 nm zunehmend vom Wasser in den vorderen Augenmedien absorbiert wird, erreicht nur noch wenig Strahlung die Netzhaut, d. h. außer Netzhautläsionen treten vermehrt Schäden in der Iris und in der Linse auf in Form von Katarakten (Grauer Star).

Bei Wellenlängen oberhalb von ca. 1,8 µm erfolgt die Absorption überwiegend in einer relativ dünnen Schicht der Hornhaut. Bei sehr kleiner Einwirkungsdauer bei gleichzeitig großer Leistungsdichte kann Ablation an der Oberfläche auftreten.

### **3.2.1 Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Lidschlussreflex und zu Abwendungsreaktionen**

In Vorschriften, Normen und Regeln wurden die Laserklassifizierung und das Sicherheitskonzept für Laser der Klasse 2 und der früheren Laserklasse 3A (für sichtbare Laserstrahlung, d. h. im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm) jahrelang im Wesentlichen auf der Basis von Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes oder gar nur auf dem Lidschlussreflex begründet. Auch nach Einführung der Laserklasse 2M und für diejenigen Laser der Klasse 3R, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, wurde davon ausgegangen, dass eine kurzzeitige Exposition von maximal 0,25 s durch physiologische Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes sichergestellt sei und das bisherige Sicherheitskonzept beibehalten.

Dabei war allerdings bereits in Untersuchungen an mehr als 1 400 Probanden unter Labor- und Feldbedingungen gezeigt worden, dass nur in etwa 16 % bis 20 % der Fälle ein Lidschlussreflex auftritt, wenn Menschen mit einem typischen Laser der Klasse 2 bestrahlt wurden. Die Untersuchungen waren mit Laserwellenlängen bei 670 nm, 635 nm und 532 nm sowie mit hellen LEDs im roten und blauen Spektralbereich durchgeführt worden, da zu diesem Zeitpunkt LEDs noch unter die Laserklassifizierungsregeln fielen.

Außer einer gewissen Wellenlängenabhängigkeit, die zeigte, dass bei 532 nm mehr Lidschlussreflexe ausgelöst wurden als bei längerwelliger roter Laserstrahlung, konnte eine Abhängigkeit als Funktion der Bildgröße auf der Netzhaut, nicht aber bezüglich des Alters oder des Tragens von Sehhilfen gefunden werden.

Dass auch andere Abwendungsreaktionen, wie Kopf- und Augenbewegungen sowie das Schließen der Augen, nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der physiologischen Schutzreaktionen beitragen, konnte anschließend an fast 1 200 Personen nachgewiesen werden, da diese Reaktionen mit weniger als 10 % noch seltener als der Lidschlussreflex auftraten. Auch bei diesen Untersuchungen wurden die Versuchsteilnehmer in Labor- und Feldversuchen mit höchstens 80 % des maximal zulässigen Bestrahlungswertes exponiert. Dabei war deren Kopf frei beweglich, damit Abwendungsreaktionen ungehindert erfolgen konnten. Im Einzelnen kamen Laser in einem Scannersystem, auf einer optischen Bank mit Zieleinrichtung oder in einem speziellen Eye-Tracker zum Einsatz. Außerdem wurden auch Leistungs-LED und ein LED-Array als Lichtquellen eingesetzt.

Bei allen bislang vorliegenden Untersuchungen an insgesamt 2 650 Personen zeigten lediglich 18,53 % einen Lidschlussreflex und nur 6,19 % eine andere Abwendungsreaktion.

Somit können keine gesicherten Aussagen zum Schutz der Augen durch den Lidschlussreflex und Abwendungsreaktionen im Sinne der Prävention gemacht werden.

Andererseits muss aber auch berücksichtigt werden, dass trotz fehlender oder nicht ausreichender Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes bei unbewusster kurzzeitiger Exposition keine eindeutigen Beweise für Augenschäden vorliegen.

Beim bewussten Blick in den Strahl eines Lasers der Klassen 2 oder 3A steigt aber mit zunehmender Expositionsdauer das Risiko eines Augenschadens. Selbst eine mit einer Exposition verbundene starke Blendung führt nicht unbedingt zu Abwendungsreaktionen und somit nicht zur Verkürzung der Expositionsdauer.

Um dennoch Laser der Klasse 2 und 2M nicht als gefährlich einstufen zu müssen, wurde ein aktives Schutzkonzept evaluiert. Hierzu wurde in Feldversuchen an mehr als 200 Personen gezeigt, dass durch eine Handlungsanweisung zur Ausführung aktiver Schutzreaktionen, nämlich durch sofortiges Schließen der Augen und durch eine bewusste Bewegung des Kopfes, immerhin bis zu 80 % der exponierten Personen einen Schutz gegenüber Laserstrahlung innerhalb von etwa 2 Sekunden erzielen konnten, also eine deutliche Steigerung des Schutzes möglich ist.

Diese wissenschaftlichen Erkenntnisse und die Aufforderung zu aktiven Schutzreaktionen sollten sich daher auch in den Benutzerinformationen der entsprechenden Laserstrahlquellen finden.

Inzwischen wird in der 2. Ausgabe der Norm DIN EN 60825-1 auf die vorstehenden Zusammenhänge im informativen Anhang zur Beschreibung der Laserklassen hingewiesen. Dort steht:

- Benutzer werden durch die Kennzeichnung angewiesen, nicht in den Strahl zu blicken, d. h. aktive Schutzreaktionen auszuführen durch Bewegen des Kopfes oder Schließen der Augen und durch Vermeiden längeren absichtlichen Blickens in den Strahl.

Auch in den Durchführungsanweisungen zur Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung (BGV B 2) heißt es in diesem Zusammenhang „Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes oder von anderen Abwendungsreaktionen 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 und sich sofort abwenden.“ Darüber hinaus wird auf die Berufsgenossenschaftliche Information BGI 5092 verwiesen, in der eine Auslegung von Laser-Justierbrillen auf eine Zeitdauer (Beobachtungszeit) von 2 s auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse empfohlen wird.

### **3.2.2 Auswirkung durch Blendung**

Bereits Laser der Klasse 1 können durch ihre Blendwirkung ein hohes sekundäres Gefahrenpotenzial besitzen. Wie nach dem Blick in andere helle Lichtquellen, z. B. Sonne oder Scheinwerfer, können temporär eingeschränktes Sehvermögen und Nachbilder je nach Situation zu Irritationen, Belästigungen, Beeinträchtigungen und sogar zu Unfällen führen. Grad und Abklingzeit sind nicht einfach quantifizierbar. Sie hängen jedoch maßgeblich vom Helligkeitsunterschied zwischen Blendlichtquelle und Umgebung und von den Expositionsparametern wie Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) und Expositionsdauer ab.

Es wurden z. B. Nachbilddauern bis 300 Sekunden ermittelt, wenn das Auge im Fleck schärfsten Sehens (Fovea) mit einem Laserstrahl eines He-Ne-Lasers bei einer Wellenlänge von 632,8 nm und mit einer Leistung von weniger als 30 µW während 10 Sekunden bestrahlt wurde.

In den hierbei durchgeführten Versuchen konnte gezeigt werden, dass der Blendwinkel und damit der Ort des Auftreffens des Laserstrahls auf der Netzhaut einen bedeutenden Einfluss

auf die Blendung, deren Bewertung und auf die Nachbilddauer haben. Darüber hinaus wurde ermittelt, dass die Nachbilddauer logarithmisch mit der Laserstrahlenergie ansteigt und damit auch die entsprechende Auswirkung auf die Sehfunktionen. Als Faustregel lässt sich festhalten, dass die effektive Sehfunktionsbeeinträchtigung etwa 10 % bis 30 % der Nachbilddauer beträgt, was bei Klasse 1 Lasern bei einer Expositionsdauer von 1 s und bei einem Klasse 2 Laser bei 0,25 s für etwa 10 s bis 30 s eine vorübergehende, aber während dieser Zeitdauer bedeutsame Sehfunktionsstörung beinhalten könnte. Die in dieser Phase vorliegenden Sehstörungen könnten bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten, wie beim Arbeiten mit Maschinen oder in großer Höhe, mit Hochspannung oder beim Fahren bzw. Fliegen, zu besonderer Sorge Anlass geben und müssen in eine Risikobewertung mit einbezogen werden, und zwar auch dann, wenn lediglich Laser der Klasse 1 zum Einsatz kommen.

Zum Vergleich hinsichtlich des Effektes und der Auswirkung einer Blendung durch Laserstrahlung kann auch folgende Erkenntnis dienen: Eine Exposition durch einen grünen Laserstrahl (532 nm) bei einer Leistung von ca. 40  $\mu$ W, d. h. 10% des Grenzwertes für einen Laser der Klasse 1, für eine Zeitdauer von nur 0,5 s ist hinsichtlich der Sehbeeinträchtigung beim Lesen eines Textes vergleichbar mit einem Blick in die Sonne für eine Zeitdauer von 1 s und eine kurzzeitige Exposition von einer Viertelsekunde mit einem grünen Laserstrahl bei einer Leistung von 60% der Klasse 2, also 0,6 mW, entspricht dem Blick in die Sonne für immerhin ca. 3 s. Das gleiche Sehhandicap würde sich auch beim Blick in einen roten Laserstrahl eines Klasse-1-Lasers mit maximal erlaubter Leistung bei einer Zeitdauer von nur 1 s ergeben. Untersuchungen haben gezeigt, dass ein 1 bis 3 Sekunden dauernder Blick in die Sonne zu einer Sehbeeinträchtigung beim Lesen von 3 bis 11 Sekunden, also von etwa dreifacher Dauer, führt.

### **3.3 Gefährdungen an der Haut**

Die Haut kann zwischen 400 nm und 1 400 nm wesentlich größeren Expositionen standhalten als das Auge, da erstens deren Reflexion größer ist und zweitens - im Vergleich zum Auge - die Haut keine fokussierende Eigenschaft besitzt. Die biologische Wirkung der Bestrahlung der Haut mit Laserstrahlung im UV-, VIS- und im IR-Spektralbereich kann entsprechend der Leistungsdichte und der Einwirkungsdauer variieren zwischen einem schwachen Sonnenbrand (Verbrennung 1. Grades, Erythem) und schwerer Blasenbildung (Verbrennung 2. Grades). Ascheartige Verkohlungen (Verbrennung 3. Grades) sieht man vorwiegend in Geweben mit großer Absorption nach sehr kleiner Bestrahlungsdauer mit Laserstrahlung großer Pulsleistung. Mögliche Prozesse und Auswirkungen bei Einwirkung von Laserstrahlung auf die Haut sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Im Allgemeinen kann man sagen, dass Schäden durch Laserstrahlung an der Haut gut ausheilen, soweit sie nicht von Laserstrahlung aus dem UV-Bereich stammen.

Die Wirkung im ultravioletten Spektralbereich von Laserstrahlung entspricht weitgehend der bekannten Wirkung inkohärenter UV-Strahlung, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass abgesehen von Streustrahlung die Einwirkung von Laserstrahlung auf die Haut meist ein lokales Ereignis darstellt, während bei sonstiger UV-Strahlung die Haut dagegen großflächig bestrahlt wird.

Die Wirkung von inkohärenter UV-Strahlung auf die Haut wird ausführlich im Leitfaden „Ultraviolettstrahlung“ behandelt.

#### **4. Indirekte (Sekundär) Wirkungen**

Die Laserstrahlung ist hinsichtlich ihrer Wirkungen auf Augen und Haut bei den meisten Laseranwendungen das wesentliche Gefahrenpotential, aber daneben existieren in einigen Fällen weitere. Bezüglich der Einwirkung auf den Menschen können diese direkter oder indirekter Natur sein. Indirekt bedeutet, dass z. B. die Strahlung erst auf ein brennbares Material oder auf eine explosible Atmosphäre einwirkt und diese dann das Gefahrenpotential darstellt. Weiterhin kann das Gefahrenpotential direkt aus dem Laser selbst kommen, z. B. wenn er gefährliche Stoffe enthält, oder Rauch und Sekundärstrahlung entstehen aus der Art der Anwendung, z. B. beim Schneiden und Schweißen entsprechender Materialien.

Als Gefahrenpotentiale sind zu berücksichtigen:

- elektrische Ströme und Spannungen
- elektromagnetische Strahlung im Hochfrequenzbereich, einschließlich Mikrowellen
- nichtkohärente optische Strahlung, Pumpstrahlung, Sekundärstrahlung beim Schneiden und Schweißen, einschließlich UV-Strahlung
- Röntgenstrahlung
- explosible Atmosphären und brennbare Stoffe
- verwendete, freiwerdende oder entstehende infektiöse, gefährliche oder krebserzeugende Stoffe.

##### **4.1 Elektrische Ströme und Spannungen**

Überwiegend wird die Laserstrahlung aus elektrischer Energie erzeugt. Der großen Vielfalt der Laserprozesse und Anregungsmechanismen steht eine entsprechende Vielgestaltigkeit der elektrischen Ausführungen gegenüber. Die Anforderungen an die Ausrüstung sind, so weit für die Laser-Einrichtung keine spezifische Geräte-Sicherheitsnorm vorliegt, der DIN EN 61010-1 "Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte, Teil 1: Allgemeine Anforderungen" zu entnehmen; sonst den speziellen zutreffenden Gerätenormen. Insbesondere sind die Maschinenrichtlinie und die Betriebssicherheitsverordnung zu beachten.

##### **4.2 Inkohärente Optische Strahlung**

Neben der Laserstrahlung können im optischen Bereich auch nicht-kohärente Pumpstrahlung sowie Sekundärstrahlung beim Schneiden und Schweißen auftreten.

Der blaue Anteil und das Ultraviolett des Wellenlängenspektrums sind besonders zu beachten, da sie - unabhängig davon, ob sie kohärent oder nicht kohärent sind - zu besonderen biologischen, aber auch chemischen Zersetzungsprozessen befähigt sind.

Die Gefährdung durch infrarote und sichtbare Strahlung wird im Leitfaden "Sichtbare und Infrarot-Strahlung" dargestellt.

##### **4.3 Blendung**

Sichtbare Laserstrahlung besitzt außer dem Potenzial zur dauerhaften Schädigung der Netzhaut auch die Fähigkeit der vorübergehenden Blendung. Es kann bereits mehr oder weniger deutlich unterhalb der Klassengrenzwerte der Laser der Klassen 2, 2M, 1M und 1 durch den Strahl einer solchen Lasereinrichtung zum Erschrecken und zu Irritationen, zum Auftreten von länger anhaltenden Nachbildern und gegebenenfalls auch zur Blitzblindheit kommen, und zwar besonders bei niedriger Umgebungshelligkeit. Hieraus können sich indirekte Folgen für die Sicherheit ergeben, die von vorübergehender Störung des Sehvermögens und von Blendungsreaktionen herrühren. Siehe hierzu auch unter Abschnitt 3.2.2.

#### **4.4 Röntgenstrahlung**

Noch gibt es kommerziell keine leistungsfähigen Röntgenlaser. Röntgenstrahlung kann jedoch in Lasern auch zur Vorionisierung des Gases benutzt werden. In diesem Fall unterliegt das Gerät der Röntgenverordnung. Ferner kann bei extrem großen Leistungsdichten (z. B. Femtosekundenlasern) ebenfalls ionisierende Strahlung auftreten.

Zur Vorionisation in Blitzlampen kommen in Einzelfällen radioaktive Stoffe zum Einsatz

#### **4.5 Explosible Atmosphären und brennbare Stoffe**

Mit dem Einsatz leistungsfähiger Laser ist auch immer eine latente Brand- und Explosionsgefahr verbunden. Besondere Vorsicht ist beim Einsatz von Lasern in sauerstoffangereicherter Luft geboten. Unter diesen Bedingungen besitzen Stoffe eine wesentlich höhere Zündfähigkeit.

Befinden sich in einem Raum zündfähige Gemische, so muss beim Lasereinsatz der Explosionsschutz beachtet werden. Näheres dazu findet sich in den Explosionsschutz-Richtlinien.

#### **4.6 Toxische oder infektiöse Stoffe**

Lasere können toxische oder gesundheitsschädliche Gase und Flüssigkeiten als Laser-Medium enthalten.

Bei Anwendungen von Laserstrahlung können außerdem toxische und möglicherweise karzinogene Stoffe usw. entstehen oder freierwerden, insbesondere dann, wenn Stoffe bearbeitet werden, die vorher nie solchen extremen und sehr schnell ablaufenden thermischen Belastungen und chemischen Reaktionen ausgesetzt waren. Ähnliche Schadstoffe können auch bei Fehlfunktionen oder Störungen entstehen, z. B. toxische Stoffe bei der Zerstörung von optischen Komponenten.

Für die Arbeitssicherheit sind überwiegend die Schadstoffe von Bedeutung, die in die Umgebungsluft am Arbeitsplatz entweichen. Beim Laserschneiden und -schweißen müssen neben CO<sub>2</sub> und CO auch nitrose Gase, Fluorwasserstoff, Ozon, Phosgen und Chlorwasserstoff als Pyrolyseprodukte betrachtet werden.

Gegebenenfalls ist die Einhaltung bestimmter Grenzwerte gemäß der Gefahrstoffverordnung erforderlich, z. B.:

- Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz "Luftgrenzwerte", siehe "Technische Regeln für Gefahrstoffe" (TRGS 900)
- Biologische Grenzwerte (TRGS 903)
- Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe (TRGS 905)
- Luftrückführung beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 560).

Sofern diese Grenzwerte nicht sicher eingehalten werden können, müssen die Maßnahmen nach Abschnitt 4 der GefStoffV ergriffen werden, wozu auch die Installation einer Absaugvorrichtung gehört. Die Möglichkeit der Freisetzung von infektiösem Material im Rahmen der Laser-Chirurgie hängt vom Gewebe ab und sollte durch geeignete Bauelemente, Absaugungs- und Filtertechnik erfasst werden.



## **Für Österreich gilt:**

- Die Grenzwerte am Arbeitsplatz sind in der GKV 2007 (Grenzwerteverordnung 2007 [Langtitel: Verordnung über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe]) zu finden
- Die biologischen Grenzwerte sind in Anlage 2 der VGÜ 2008 (Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz) enthalten.

## **4.7 Elektromagnetische Felder und Strahlung**

Elektromagnetische Störstrahlung muss nach den Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz an Arbeitsplätzen mit Exposition durch elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder betrachtet werden. Maßgebend hierfür ist die Unfallverhütungsvorschrift BGV B 11 "Elektromagnetische Felder". Die Wirkungen elektromagnetischer Felder werden ausführlich im Leitfaden „Elektromagnetische Felder“ behandelt.

## **5. Klasseneinteilung**

Die Zuordnung von Lasereinrichtungen zu verschiedenen Laserklassen soll für den Benutzer die mögliche Gefährdung sofort ersichtlich machen, damit er vereinfacht abschätzen kann, welche Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind. Daher ist die Zuordnung so gewählt, dass in der Regel mit zunehmender Klassennummer auch die Gefährdung, die von einer Laserstrahlquelle ausgeht, größer wird und deshalb auch die Schutzmaßnahmen umfangreicher werden. Die Grenzwerte für die einzelnen Klassen nennt man "Grenzwerte zugänglicher Strahlung" (GZS).

Die GZS sind hierbei so gewählt, dass die maximal zulässigen Bestrahlungswerte (MZW-Werte) bezogen auf die jeweilige Zeitbasis (30 000 s oder 100 s, d. h. wenn absichtliche und langzeitige oder nur zufällige und kurzzeitige Beobachtung der Laserstrahlung Voraussetzung ist) bei der Laser-Klasse 1 nicht überschritten werden können.

Die Klassifizierung nach DIN EN 60825-1:2008-05 übernimmt der Hersteller. Hierbei wird die Prüfung der Laserklasse nach einer vernünftigerweise vorhersehbaren Einfehler-Bedingung ausgeführt.

Die Klassen können wie folgt beschrieben werden, die genauen Definitionen sind in der DIN EN 60825-1 zu finden. Die Beschreibung entspricht derjenigen in den aktualisierten Durchführungsanweisungen der BGV B 2 (Stand: April 2007).

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

### *Anmerkung:*

*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.*

**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.

*Anmerkung:*

*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.*

**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.

*Anmerkung:*

*Bei Lasereinrichtungen der Klasse 2 ist das Auge bei zufälliger, kurzzeitiger Einwirkung der Laserstrahlung, d. h. bei Einwirkungsdauern 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 erfolgt. Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes zum Schutz der Augen darf nicht ausgegangen werden, wie neuere Untersuchungen gezeigt haben. 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 kleinen Quellen,  $C_6 = 1$ ).*

*Benutzer werden durch die Kennzeichnung angewiesen, nicht in den Strahl zu blicken, das heißt aktive Schutzreaktionen auszuführen, durch Bewegung des Kopfes und Schließen der Augen und durch das Vermeiden längeren absichtlichen Blickens in den Strahl.*

**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.

*Anmerkung:*

*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.*

*Benutzer werden durch die Kennzeichnung angewiesen, nicht in den Strahl zu blicken, das heißt aktive Schutzreaktionen auszuführen, durch Bewegung des Kopfes und Schließen der Augen und durch das Vermeiden längeren absichtlichen Blickens in den Strahl.*

**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 Einwirkungs-  
dauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbe-  
strahlung, ungefährlich.

*Anmerkung:*

*Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A handelt es sich um Laser, die gemäß der vor 2001  
geltenden 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 ver-  
kleinern, besteht bei Lasereinrichtungen der Klasse 3A, die nur im sichtbaren Spektral-  
bereich 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.*

*Benutzer werden durch die Kennzeichnung im sichtbaren Spektralbereich angewiesen, nicht  
in den Strahl zu blicken, das heißt aktive Schutzreaktionen auszuführen, durch Bewegung  
des Kopfes und Schließen der Augen und durch das Vermeiden längerer absichtlichen  
Blickens in den Strahl.*

**Klasse 3R:** Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm  
bis 10<sup>6</sup> 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.

*Anmerkung:*

*Lasereinrichtungen der Klasse 3R sind für das Auge potenziell gefährlich wie Laserein-  
richtungen der Klasse 3B. Das Risiko eines Augenschadens ist dadurch geringer, 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 kleinen Quellen,  $C_6 = 1$ ) im Wellenlängenbereich 400 nm  
bis 700 nm.*

*Laser der Klasse 3R sollten nur dann eingesetzt werden, wenn ein direkter Blick in den  
Strahl unwahrscheinlich ist.*

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

*Anmerkung:*

*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 und keine gerichteten Strahlenteile können ins Auge treffen.*

*Bei vielen Diffusoren ist aber mit gerichteten Strahlenteilen zu rechnen.*

*Bei Lasereinrichtungen der Klasse 3B sind i.a. die Werte der maximal zulässigen Bestrahlung (MZB) für die Haut überschritten.*

**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.

*Anmerkung:*

*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“ (BGV B 2).*

## **ANSI Z136**

- Seit der Änderung der ANSI Z136.1–2007 gibt es eine Annäherung des amerikanischen Standards für den sicheren Umgang mit Lasern bzgl. der Laserklassifizierung zur IEC 60825 bzw. DIN EN 60825. Dennoch finden sich z.B. immer noch in Betrieben Laser die mit den Klassen IIIa bzw. 3a und IIIb bzw. 3b gekennzeichnet sind. Laser der Klasse 3a werden nach der neuen Fassung der ANSI Z136 je nach Wellenlänge in die Klassen 2M und 3R eingestuft. Die Laserklasse 3b entspricht in der Regel der Klasse 3B. Diese sind der Klassifizierung nach DIN EN 60825 gleichzusetzen. Dennoch wird hier noch einmal beschrieben, wie die Klasse 3a definiert war:
- Klasse 3a: Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge gefährlich, wenn der Strahldurchmesser durch optische Instrumente verkleinert werden kann. Wenn keine Gefährdung durch die Verwendung von optischen Instrumenten vorliegt, ist die zugängliche Laserstrahlung im sichtbaren Bereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer ( $\leq 0,25$  s) und bei anderen Wellenlängen auch bei längerer Bestrahlungsdauer, ungefährlich.
- Ebenfalls wurden in der ANSI Z136 die Laserklassen 1M und 2M eingeführt, deren Definition der IEC 60825-1 bzw. DIN EN 60825-1 entspricht.

## 6. Expositionsgrenzwerte

### 6.1 Allgemeines

Zur Zeit der Drucklegung gibt es in Deutschland zwei Expositionsgrenzwerte, die eingehalten werden müssen. Die Expositionsgrenzwerte gemäß der Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung (MZB-Werte) und die der OStrV. Beide Grenzwerte sollten eingehalten werden. Leider enthalten die veröffentlichten Expositionsgrenzwerte der OStrV noch einige Unzulänglichkeiten und Ungenauigkeiten, es ist zu hoffen, dass die EG eine entsprechend korrigierte Fassung in den nächsten Jahren veröffentlichen wird, bis dahin sollten, auch wenn die Unfallverhütungsvorschrift zurückgezogen wird, die entsprechenden Grenzwerte (MZB-Werte) zusätzlich beachtet werden.

### 6.2 Expositionsgrenzwerte gemäß OStrV (entsprechend EG RL 2006/25/EG Anhang II)

#### Definitionen

Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für optische Strahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von der Wellenlänge und der Dauer der von der Quelle ausgehenden Strahlung ab; die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten (EGW) der Tabellen 5 bis 7 zu vergleichen. Für die jeweilige Laserstrahlenquelle können mehrere Expositionswerte und entsprechende Expositionsgrenzwerte relevant sein.

Die in den Tabellen 5 bis 7 als Berechnungsfaktoren verwendeten Koeffizienten sind in Tabelle 8, die Korrekturfaktoren für wiederholte Exposition sind in Tabelle 9 aufgeführt.

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

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

#### Anmerkungen:

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

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

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

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

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

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

- $\gamma$  *Grenzeingangswinkel*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];
- $\gamma_m$  *Messeingangswinkel*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];
- $\alpha$  *Winkelausdehnung einer Quelle*, ausgedrückt in Milliradian [mrad];  
*Grenzblende*: die kreisförmige Fläche, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden;
- G *integrierte Strahldichte*: das Integral der Strahldichte über eine bestimmte Expositionsdauer, ausgedrückt als Strahlungsenergie je Flächeneinheit einer Abstrahlfläche je Einheitsraumwinkel der Emission, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter pro Steradian [ $\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ].

**Tabelle 4: Strahlungsgefährdung**

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

**Tabelle 5:** Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlen - Kurze Expositionsdauer < 10 s

Wellenlänge [nm]		Öffnung	Dauer [s]											
			$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^1$					
UV-C	180 - 280	1 mm für $t < 0,3$ s; $1,5 \cdot t^{0,375}$ für $0,3 < t < 10$ s	$E = 3 \cdot 10^{10} \cdot [W m^{-2}]$ Siehe Fußnote <sup>c</sup>						H = 30 [J m <sup>-2</sup> ]					
	280 - 302								H = 40 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 2,6 \cdot 10^{-9}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	303								H = 60 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 1,3 \cdot 10^{-8}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	304								H = 100 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 1,0 \cdot 10^{-7}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	305								H = 160 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 6,7 \cdot 10^{-7}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	306								H = 250 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 4,0 \cdot 10^{-6}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	307								H = 400 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 2,6 \cdot 10^{-5}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	308								H = 630 [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 1,6 \cdot 10^{-4}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	309								H = 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 1,0 \cdot 10^{-3}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	310								H = 1,6 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 6,7 \cdot 10^{-3}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	311								H = 2,5 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 4,0 \cdot 10^{-2}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	312								H = 4,0 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 2,6 \cdot 10^{-1}$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	313								H = 6,3 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]; Fußnote <sup>d</sup>		wenn $t < 1,6 \cdot 10^0$ dann $H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ] Siehe			
	314													
UV-A	315 - 400		H = 5,6 · 10 <sup>3</sup> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]											
Sichtbar und IR-A	400 - 700	7 mm	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	H = 5 · 10 <sup>-3</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		H = 18 · t <sup>0,75</sup> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]							
	700 - 1 050		$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_A C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	H = 5 · 10 <sup>-3</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]		H = 18 · t <sup>0,75</sup> C <sub>A</sub> C <sub>E</sub> [J m <sup>-2</sup> ]							

	1 050- 1 400		$H = 1,5 \cdot 10^{-3} C_C C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_C C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E$ [J m <sup>-2</sup> ]	
IR-B und IR-C	1 400 - 1 500	S. Fußnote <sup>b</sup>	$E = 10^{12}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Siehe Fußnote <sup>c</sup>	$H = 10^3$ [J m <sup>-2</sup> ]		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ]
	1 500 - 1 800		$E = 10^{13}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Siehe Fußnote <sup>c</sup>	$H = 10^4$ [J m <sup>-2</sup> ]		
	1 800 - 2 600		$E = 10^{12}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Siehe Fußnote <sup>c</sup>	$H = 10^3$ [J m <sup>-2</sup> ]		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ]
	2 600 - 10 <sup>6</sup>		$E = 10^{11}$ [W m <sup>-2</sup> ]	Siehe Fußnote <sup>c</sup>	$H = 100$ [J m <sup>-2</sup> ]	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m <sup>-2</sup> ]	

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

<sup>b</sup> Wenn  $1\,400 \leq \lambda < 10^5$  nm: Öffnungsdurchmesser = 1 mm bei  $t \leq 0,3$  s und  $1,5 t^{0,375}$  mm bei  $0,3 \text{ s} < t < 10$  s; wenn  $10^5 \leq \lambda < 10^6$  nm:  
Öffnungsdurchmesser = 11 mm.

<sup>c</sup> Mangels Daten für diese Impulslängen empfiehlt die ICNIRP, als Grenzwert für die Bestrahlungsstärke 1 ns zu verwenden.

<sup>d</sup> Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern von Impulsen, die innerhalb eines Intervalls  $T_{\min}$  (siehe Tabelle 9) liegen, aufaddiert werden, und der daraus resultierende Zeitwert muss in der Formel  $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$  für  $t$  eingesetzt werden.



**Tabelle 6:** Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber Laserstrahlen - Lange Expositionsdauer  $\geq 10$  s

Wellenlänge <sup>a</sup> [nm]		Öffnung	Dauer [s]			
			$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$	
UV-C	180 - 280	3,5 mm	H = 30 [J m <sup>-2</sup> ]			
UV-B	280 - 302		H = 40 [J m <sup>-2</sup> ]			
	303		H = 60 [J m <sup>-2</sup> ]			
	304		H = 100 [J m <sup>-2</sup> ]			
	305		H = 160 [J m <sup>-2</sup> ]			
	306		H = 250 [J m <sup>-2</sup> ]			
	307		H = 400 [J m <sup>-2</sup> ]			
	308		H = 630 [J m <sup>-2</sup> ]			
	309		H = 1,0 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
	310		H = 1,6 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
	311		H = 2,5 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
	312		H = 4,0 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
	313		H = 6,3 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
	314		H = 10 <sup>4</sup> [J m <sup>-2</sup> ]			
UV-A	315 - 400	H = 10 <sup>4</sup> [J m <sup>-2</sup> ]				
Sichtbar 400 - 700	400 - 600 Fotochemisch <sup>b</sup> Netzhaut- schädigung	7 mm	H = 100 C <sub>B</sub> [J m <sup>-2</sup> ] ( $\gamma = 11$ mrad) <sup>d</sup>	E = 1 C <sub>B</sub> [W m <sup>-2</sup> ]; ( $\gamma = 1,1 t^{0,5}$ mrad) <sup>d</sup>		E = 1 C <sub>B</sub> [W m <sup>-2</sup> ] ( $\gamma = 110$ mrad) <sup>d</sup>
	400 - 700 Thermisch <sup>b</sup> Netzhaut- schädigung		wenn $\alpha < 1,5$ mrad dann E = 10 [W m <sup>-2</sup> ] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T_2$ dann H = 18 C <sub>E</sub> t <sup>0,75</sup> [J m <sup>-2</sup> ] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T_2$ dann E = 18 C <sub>E</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ]			
IR-A	700 - 1 400	7 mm	wenn $\alpha < 1,5$ mrad dann E = 10 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> [W m <sup>-2</sup> ] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t \leq T_2$ dann H = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> t <sup>0,75</sup> [J m <sup>-2</sup> ] wenn $\alpha > 1,5$ mrad und $t > T_2$ dann E = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> C <sub>E</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ] (maximal 1 000 W m <sup>-2</sup> )			
IR-B und IR-C	1 400 - 10 <sup>6</sup>	siehe <sup>c</sup>	E = 1 000 [W m <sup>-2</sup> ] Empfehlung für große Strahldurchmesser ab 10 mm und für lange Zeiten sollten E <sub>red</sub> = 100 [W m <sup>-2</sup> ] nicht überschritten werden können.			

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

- b Bei kleinen Quellen mit einem Öffnungswinkel von 1,5 mrad oder weniger sind die beiden Grenzwerte für sichtbare Strahlung E von 400 nm bis 600 nm zu reduzieren auf die thermischen Grenzwerte für  $10\text{s} \leq t < T_1$  und auf die fotochemischen Grenzwerte für längere Zeiten. Zu  $T_1$  und  $T_2$  siehe Tabelle 8. Der Grenzwert für fotochemische Netzhautgefährdung kann auch ausgedrückt werden als Integral der Strahldichte über die Zeit  $G = 10^6 C_B [\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$ , wobei Folgendes gilt:  $t > 10\text{s}$  bis zu  $t = 10000\text{ s}$  und  $L = 100 C_B [\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}]$  bei  $t > 10000\text{ s}$ . Zur Messung von G und L ist  $\gamma_m$  als Mittelung des Gesichtsfelds zu verwenden. Die offizielle Grenze zwischen sichtbar und Infrarot ist 780 nm (entsprechend der Definition der CIE). Die Spalte mit den Bezeichnungen für die Wellenlängenbänder dient lediglich der besseren Übersicht. (Die Bezeichnung G wird vom CEN verwendet, die Bezeichnung  $L_t$  von der CIE und die Bezeichnung  $L_p$  von der IEC und dem CENELEC.)
- c Für die Wellenlänge  $1400 - 10^5\text{ nm}$ : Öffnungsdurchmesser = 3,5 mm; für die Wellenlänge  $10^5 - 10^6\text{ nm}$ : Öffnungsdurchmesser = 11 mm.
- d Für Messungen des Expositionswertes ist  $\gamma$  wie folgt zu berücksichtigen: Wenn  $\alpha$  (Öffnungswinkel einer Quelle)  $> \gamma$  (Grenzkegelwinkel, in eckigen Klammern in der entsprechenden Spalte angegeben), dann sollte das Messgesichtsfeld  $\gamma_m$  den Wert  $\gamma$  erhalten. (Bei Verwendung eines größeren Messgesichtsfelds würde die Gefährdung zu hoch angesetzt.) Wenn  $\alpha < \gamma$ , dann muss das Messgesichtsfeld  $\gamma_m$  groß genug sein, um die Quelle einzuschließen; es ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als  $\gamma$ .

**Tabelle 7: Grenzwerte für die Exposition der Haut gegenüber Laserstrahlen**

Wellenlänge <sup>a</sup> [nm]		Öffnung	Dauer [s]					
			< 10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> - 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> - 3 · 10 <sup>4</sup>
UV (A, B, C)	180-400	3,5mm	E = 3 · 10 <sup>10</sup> [W m <sup>-2</sup> ]			Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge		
Sicht- bar und IR-A	400-700	3,5mm	E = 2 · 10 <sup>11</sup> [W m <sup>-2</sup> ]	H=200 C <sub>A</sub> [J m <sup>-2</sup> ]	H = 1,1 · 10 <sup>4</sup> C <sub>A</sub> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ]	E = 2 · 10 <sup>3</sup> C <sub>A</sub> [W m <sup>-2</sup> ]		
	700 -1 400		E = 2 · 10 <sup>11</sup> C <sub>A</sub> [W m <sup>-2</sup> ]					
IR-B und IR-C	1 400-1 500		E = 10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ]	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
	1 500-1 800		E = 10 <sup>13</sup> [W m <sup>-2</sup> ]					
	1 800-2 600	E = 10 <sup>12</sup> [W m <sup>-2</sup> ]						
2 600-10 <sup>6</sup>	E = 10 <sup>11</sup> [W m <sup>-2</sup> ]							

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

**Tabelle 8: Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter**

Parameter nach ICNIRP	Gültiger Spektralbereich [nm]	Wert
C <sub>A</sub>	$\lambda < 700$	C <sub>A</sub> = 1,0
	700 – 1 050	C <sub>A</sub> = 10 <sup>0,002(λ - 700)</sup>
	1 050 – 1 400	C <sub>A</sub> = 5,0
C <sub>B</sub>	400 – 450	C <sub>B</sub> = 1,0
	450 – 700	C <sub>B</sub> = 10 <sup>0,02(λ - 450)</sup>
C <sub>C</sub>	700 – 1 150	C <sub>C</sub> = 1,0
	1 150 – 1 200	C <sub>C</sub> = 10 <sup>0,018(λ - 1150)</sup>
	1 200 – 1 400	C <sub>C</sub> = 8,0
T <sub>1</sub>	$\lambda < 450$	T <sub>1</sub> = 10 s
	450 – 500	T <sub>1</sub> = 10 · [10 <sup>0,02(λ - 450)</sup> ] s
	$\lambda > 500$	T <sub>1</sub> = 100 s
Parameter nach ICNIRP	Biologische Wirkung	Wert
α <sub>min</sub>	alle thermischen Wirkungen	α <sub>min</sub> = 1,5 mrad
Parameter nach ICNIRP	Gültiger Winkelbereich [mrad]	Wert
C <sub>E</sub>	$\alpha < \alpha_{\min}$	C <sub>E</sub> = 1,0
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	C <sub>E</sub> = α / α <sub>min</sub>
	$\alpha > 100$	C <sub>E</sub> = α <sup>2</sup> / (α <sub>min</sub> · α <sub>max</sub> ) mrad bei α <sub>max</sub> = 100 mrad Empfehlung: C <sub>E</sub> sollte den Wert 66,6 nicht überschreiten, dies entspricht anderen bisherigen Empfehlungen
T <sub>2</sub>	$\alpha < 1,5$	T <sub>2</sub> = 10 s
	$1,5 < \alpha < 100$	T <sub>2</sub> = 10 · [10 <sup>(α - 1,5) / 98,5</sup> ] s
	$\alpha > 100$	T <sub>2</sub> = 100 s
Parameter nach ICNIRP	Gültige Expositionsdauer [s]	Wert
γ	t ≤ 100	γ = 11 [mrad]
	100 < t < 10 <sup>4</sup>	γ = 1,1 · t <sup>0,5</sup> [mrad]
	t > 10 <sup>4</sup>	γ = 110 [mrad]

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

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

**Tabelle 9: Parameter**

Parameter	Gültiger Spektralbereich (nm)	Wert
$T_{min}$	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9} \text{ s} (= 1 \text{ ns})$
	$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 18 \text{ }\mu\text{s})$
	$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s} (= 50 \text{ }\mu\text{s})$
	$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	$T_{min} = 10 \text{ s}$
	$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s} (= 1 \text{ ms})$
	$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7} \text{ s} (= 100 \text{ ns})$

## **6.3 MZB-Werte nach Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung (BGV B2)**

Anhang 2 der BGV B2 (Stand 2011 in der Fassung von 2007)

### **Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)**

Im Folgenden sind die MZB-Werte und ihre Berechnung auf der Grundlage der DIN EN 60825-1:2003-10 dargestellt.

Bestehende Berechnungen der MZB-Werte und daraus festgelegte Laserbereiche auf Grund früherer Ausgaben der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B2) müssen nicht neu bestimmt werden.

#### **6.3.1 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 stehende 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 15 bis 18 angenommen werden, wenn:

- a) die Impulsdauer oder Einwirkungsdauer innerhalb einer Größenordnung liegen  
und
- b) die Spektralbereiche in Tabelle 10 durch die Symbole (A) für die Einwirkung auf das Auge und (H) für die Einwirkung auf die Haut dargestellt – als additiv gekennzeichnet sind. Dabei darf die Summe der Quotienten aus der jeweiligen Bestrahlung und dem zugehörigen MZB-Wert nicht größer als 1 sein.

**Tabelle 10: 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	Sichtbar und IR-A 400 nm bis 1 400 nm	IR-B und IR-C 1 400 nm bis 10 <sup>6</sup> 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 <sup>6</sup> 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 1 400 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).

### 6.3.2 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 1 400 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  $\alpha_{\min}$  ist, wobei  $\alpha_{\min}$  gleich 1,5 mrad ist.

#### 6.3.2.1 Der Korrekturfaktor $C_6$

Tabelle 11: Parameter  $C_6$

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

#### 6.3.2.2 $\alpha_{\min}$ und $\alpha_{\max}$

Tabelle 12: Werte für  $\alpha_{\min}$  und  $\alpha_{\max}$

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

### 6.3.3 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 15 und 16 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  $MZB_{Impulsfolge}$  verglichen werden, so wie es im Folgenden angegeben ist*

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

*Dabei ist:*

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

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

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

In manchen Fällen kann dieser Wert unter den MZB-Wert für Dauerbetrieb fallen, der bei gleicher Spitzenleistung und der Anwendung der gleichen Emissions-Zeitdauer 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  $T_2$  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 13) 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.*



**Tabelle 13:** Zeiten  $T_i$  unterhalb deren 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
$1800 \text{ nm} \leq \lambda < 2600 \text{ nm}$	$10^{-3}$
$2600 \text{ nm} \leq \lambda < 10^6 \text{ nm}$	$10^{-7}$

*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.*

### 6.3.4 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 14 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.

*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.*

### 6.3.5 Messbedingungen

#### 6.3.5.1 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 14 entsprechen.

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

**Tabelle 14:** Blendendurchmesser für die Messung der Bestrahlungsstärke und der Bestrahlung durch Laser

Wellenlängenbereich nm	Blendendurchmesser für	
	Auge mm	Haut mm
180 bis 400	1	3,5
400 bis 1400	7	3,5
$\geq 1400$ 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

### 6.3.5.2 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  $\gamma_p$

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

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

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

Ist die Winkelausdehnung  $\alpha$  der Quelle größer als der angegebene Grenzempfangswinkel  $\gamma_p$ , sollte der Empfangswinkel nicht größer als die Werte sein, die für  $\gamma_p$  festgelegt sind. Ist die Winkelausdehnung  $\alpha$  der Quelle kleiner als der angegebene Grenzempfangswinkel  $\gamma_p$ , muss der Empfangswinkel die betrachtete Quelle voll erfassen, braucht im Übrigen aber nicht genau definiert zu sein, d.h. der Empfangswinkel braucht nicht auf  $\gamma_p$  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  $\alpha$  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  $\alpha_{\max}$  (0,1 rad) sein. In dem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1400 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.

### 6.3.6 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).

### 6.3.7 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 15: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung<sup>abc</sup> (Einwirkungsdauer von  $10^{-13}$  s bis 10 s)

Einwirkungsdauer Wellenlänge $\lambda$ in nm 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
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 1050	$1,5 \cdot 10^{-4} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$	$18 t^{0,75} C_4 C_6 J \cdot m^{-2}$			
1050 bis 1400	$1,5 \cdot 10^{-3} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$		$90 t^{0,75} C_6 C_7 J \cdot m^{-2}$		
1400 bis 1500	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$			$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$	
1500 bis 1800	$10^{13} W \cdot m^{-2}$		$10^4 J \cdot m^{-2}$				
1800 bis 2600	$10^{12} W \cdot m^{-2}$		$10^3 J \cdot m^{-2}$			$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$	
2600 bis $10^6$	$10^{11} W \cdot m^{-2}$		$100 J \cdot m^{-2}$	$5 600 t^{0,25} J \cdot m^{-2}$			

<sup>a</sup> Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle

<sup>b</sup> Die MZB für Einwirkungsauern 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 Einwirkungsauern unter  $10^{-13}$  s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei  $10^{-13}$  s gelten.

<sup>c</sup> Der Winkel  $\gamma_p$  ist der Grenzeinfallswinkel für das Messinstrument.

<sup>d</sup> 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  $100 \cdot C_3 J \cdot m^{-2}$  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 Einwirkungsauern über 1 s zu verwenden.

Tabelle 16: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Hornhaut bei direkter Bestrahlung durch Laserstrahlung<sup>abc</sup> (Einwirkungsdauer von 10 s bis  $3 \cdot 10^4$  s)

Einwirkungsdauer in s	10 bis $10^2$	$10^2$ bis $10^3$	$10^3$ bis $10^4$	$10^4$ bis $3 \cdot 10^4$
180 bis 302,5	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
302,5 bis 315	$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
315 bis 400	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400 bis 700	fotochemische Gefährdung der Netzhaut			
	400 bis 600 $\text{m}^2$	$100 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma = 11 \text{ mrad}$	$1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma_p = 1,1 t^{0,5} \text{ mrad}$	$1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\gamma = 110 \text{ mrad}$
	und <sup>d</sup>			
400 bis 700	thermische Gefährdung der Netzhaut			
	400 bis 700 $\text{m}^2$	$(t \leq T_2)$ $18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$(t > T_2)$ $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}: 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ $\alpha > 1,5 \text{ mrad}: 18 C_6 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 bis 1050	$(t > T_2)$ $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}: 10 C_4 C_7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ $\alpha > 1,5 \text{ mrad}: 18 C_4 C_6 C_7 T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1050 bis 1400	$(t \leq T_2)$ $18 t^{0,75} C_4 C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
1400 bis 1500	$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1500 bis 1800				
1800 bis 2600				
2600 bis $10^6$				

<sup>a</sup> Für Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle

<sup>b</sup> Die MZB für Einwirkungsauern 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 Einwirkungsauern unter  $10^{-13}$  s sind der äquivalenten Bestrahlungsstärke gleichzusetzen, die für die MZB bei  $10^{-13}$  s gelten.

<sup>c</sup> Der Winkel ist  $\gamma_p$  ist der Grenzempfangswinkel für das Messinstrument.

<sup>d</sup> 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  $100 \cdot C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  für fotochemische Gefährdung ist jedoch für Wellenlängen zwischen 400 nm und 484 nm und für große scheinbare Quellen zwischen 1,5 mrad und 82 mrad bei Einwirkungsauern über 1 s zu verwenden.

Tabelle 17: Maximal zulässige Bestrahlung (MZB) für die Einwirkung von Laserstrahlung auf die Haut <sup>1), 2) 3)</sup>

Einwirkungsdauer $t$ in s		$10^{-9}$ bis $10^{-7}$	$10^{-7}$ bis $10^{-3}$	$10^{-3}$ bis 10	10 bis $10^3$	$10^3$ bis $3 \cdot 10^4$
Wellenlänge $\lambda$ in nm						
180 bis 302,5		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302,5 bis 315	$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_2 \cdot \text{J} \cdot \text{m}^{-2} (t > T_1)$			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	
315 bis 400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} (t \leq T_1)$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400 bis 700	$2 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 bis 1400	$2 \cdot 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,1 \cdot 10^4 C_4 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1400 bis 1500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2 \ 3)}$	
1500 bis 1800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1800 bis 2600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 600 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
2600 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 Korrekturfaktoren und Einheiten siehe Tabelle 18.
- 2) Es gibt nur wenig Erfahrung über die Wirkung bei Einwirkungsauern unter  $10^{-9}$  s. Die MZB-Werte für diese Einwirkungsauern wurden abgeleitet von der Bestrahlung bei  $10^{-9}$ .
- 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 15 und 16**

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 15 und 16 verwendet werden, sind durch die folgenden Beziehungen definiert (siehe Tabelle 18).
3. In den Formeln in den Tabellen 15 und 16 muss die Wellenlänge  $\lambda$  in nm und die Einwirkungsdauer  $t$  in s eingesetzt werden.

**Tabelle 18: Definition der Parameter  $C_x$  und  $T_i$**

Parameter	Spektralbereich nm
$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$	302,5 bis 400
$T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} s$	302,5 bis 315
$C_2 = 10^{0,2 \cdot (\lambda - 295)}$	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
$C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$	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 106
$C_6 = 1$ 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

\*  $T_2 = 10$  s für  $\alpha < 1,5$  mrad und  $T_2 = 100$  s für  $\alpha > 100$  mrad

\*\*  $C_5$  gilt nur für Impulsdauern unter 0,25 s

\*\*\*  $C_6$  gilt nur für gepulste Laser und für Dauerstrichlaser, mit dominierender thermischer Gefährdung (siehe Tabelle 11)

\*\*\*\* Der Grenzempfangswinkel  $\gamma_p$  muss gleich  $\alpha_{\max}$  sein  $\alpha_{\min} = 1,5$  mrad  $\alpha_{\max} = 100$  mrad

N ist die Zahl der Impulse während der anzuwendenden Zeitdauer

## 7. Messung

Die Kenntnis der charakteristischen Strahleigenschaften einer Laserstrahlquelle ist sowohl für deren Anwendung als auch für Sicherheitsanalysen und die Klassifizierung erforderlich. Dazu sind eine oder mehrere der folgenden Eigenschaften sowie weitere, die davon abgeleitet werden, anzugeben:

Wellenlänge/n, Leistung, Energie, Impulsdauer, Impulsfolgefrequenz, Strahlabmessungen, Strahldivergenz, Modenprofil und Betriebsmodus.

Aus diesen Größen können die für die jeweilige Anwendung bzw. Sicherheitsanalyse erforderlichen Größen errechnet werden.

Die Messung der Leistung und Energie von Laserstrahlung ist in den meisten Fällen nicht so einfach, dass man nur ein Messgerät für die Messung dieser Eigenschaften einsetzen kann. Komplikationen treten dadurch auf, dass sonst bei optischen Messungen nicht so große Leistungen und Energien im Strahlungsfeld üblich sind.

Bei Messung und Bewertung von Laserstrahlung sind geeignete Laserleistungs-/ Laserenergiemessgeräte unter Beachtung der festgelegten Messbedingungen zu verwenden. Falls die Daten aus der Klassifizierung für Sicherheitsbetrachtungen nicht ausreichend erscheinen, sollten für Messungen und Bewertungen ggf. Spezialisten hinzugezogen werden (siehe Abschnitt 13, Adressen).

## **8. Schutzmaßnahmen**

### **8.1 Schutzmaßnahmen seitens des Herstellers**

Der Hersteller muss zunächst sein Laserprodukt klassifizieren. In Abhängigkeit von der Laserklasse muss er entsprechende Schutzmaßnahmen ergreifen. Sie beschränken sich naturgemäß auf technische Schutzmaßnahmen sowie auf das Bereitstellen von Information (unter anderem das Anbringen von Warn- und Hinweisschildern und die Sicherheitshinweise in der Gebrauchsanweisung).

#### **8.1.1 Technische Schutzmaßnahmen (Konstruktionsanforderungen) Zugangsabdeckungen, Schutzgehäuse**

Jedes Lasergerät muss ein Schutzgehäuse haben, welches den Austritt von Strahlung verhindert, die nicht für die Funktion des Gerätes notwendig ist. Serviceabdeckungen müssen durch einen Sicherheitsschalter (Interlock) geschützt sein oder müssen so gestaltet sein, dass zur Entfernung Werkzeug notwendig ist. Abdeckplatten müssen abgesichert sein, wenn das Öffnen im bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehen ist.

#### **Fernbediente Sicherheitsverriegelung (Interlock)**

Laser der Klasse 3B und 4 müssen einen Anschluss für fernbediente Sicherheitsverriegelungen besitzen.

#### **Schlüsselschalter**

Laser der Klasse 3B und 4 müssen mit einem Schlüsselschalter ausgestattet sein. Der Begriff „Schlüssel“ umfasst dabei auch Magnetkarten, Ziffernkombinationen, Passwörter.

#### **Emissions-Warneinrichtungen**

Laser der Klasse 3R mit unsichtbarer Strahlung und Laser der Klasse 3B und 4 müssen ein akustisches und/oder optisches Signal abgeben, wenn das Gerät eingeschaltet oder Kondensatoren gepulster Laser geladen werden. Diese Emissionswarneinrichtung muss redundant oder ausfallsicher sein. In der Regel sollte die Leuchtdichte mindestens 200 cd/m<sup>2</sup> in Räumen und 400 cd/m<sup>2</sup> im Freien betragen.

#### **Strahlfänger (Shutter), Strahlabschwächer**

Lasergeräte der Klasse 3B und 4 müssen einen Strahlfänger besitzen, der es dem Benutzer ermöglicht, unabhängig vom Ein- und Ausschalten des Gerätes den Austritt des Strahls zu verhindern.

#### **Steuerung**

Die Steuerungseinrichtungen des Lasers müssen so platziert sein, dass Justage und Betrieb des Lasergerätes möglich ist, ohne einer Laserstrahlung der Klassen 3R, 3B oder 4 ausgesetzt zu sein.

#### **Beobachtungsoptiken**

Sollte das Lasergerät mit einer Beobachtungseinrichtung ausgestattet sein, so ist zu gewährleisten, dass die MZB-Werte beim Blick durch die Beobachtungsoptik nicht überschritten werden können.

#### **Richtungsveränderliche Strahlung (Scan-Laser)**

Scan-Laser dürfen infolge eines Versagens der Ablenkung, Änderung der Scan-Geschwindigkeit oder der Amplitude keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugeordneten Klasse zulassen.



## Kennzeichnung an Strahlaustrittsöffnung

**Laseraustrittsöffnung**

oder

**Austrittsöffnung für Laserstrahlung**

oder

**Bestrahlung vermeiden-  
Austritt von Laserstrahlung**

### Beispiel:

**Vorsicht – Laserstrahlung Klasse 3B, wenn geöffnet**

**Nicht dem Strahl aussetzen**

### 8.1.2 Warn- und Hinweisschild

Gemäß DIN EN 60825-1 müssen alle Warnschilder dauerhaft angebracht, gut lesbar und auch während des Betriebes deutlich sichtbar sein. Text, Umrandung und Symbole müssen (mit Ausnahme der Klasse 1) schwarz auf gelbem Untergrund sein.

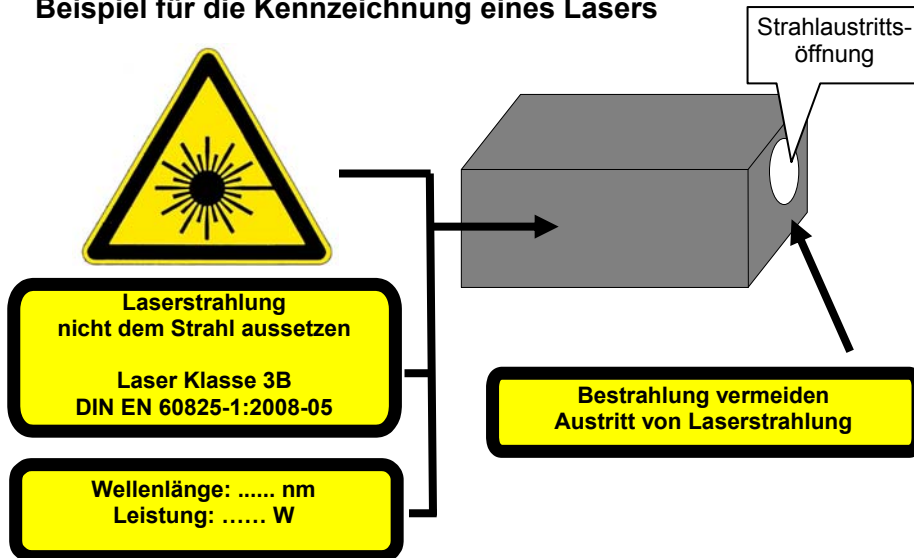
#### *Laserwarnschild*

Bedeutung: Achtung Laserstrahlung. Muss auf allen Lasergeräten der Klasse 2 und höher angebracht sein.

#### *Klassenangabe und Warntext*

Jede Lasereinrichtung ab 2 muss ein Hinweisschild aufgeklebt oder beigelegt haben, das die Laserklasse, den entsprechenden Warntext sowie das Datum der Veröffentlichung der Norm, nach der das Produkt klassifiziert wurde, angibt.

### Beispiel für die Kennzeichnung eines Lasers



#### 8.1.3 Informationen für den Anwender

Folgende Informationen müssen integraler Bestandteil der Gebrauchsanweisung zum Laserprodukt sein:

- a) Anweisungen für den richtigen Zusammenbau, die Wartung und den Betrieb.
- b) Für Laserprodukte der Klassen 1M und 2M sind zusätzliche Warnhinweise hinsichtlich Gefährdungsmöglichkeit erforderlich (welches optische Instrument erhöht die Gefährdung).
- c) Angabe der Strahlparameter (Divergenz, Pulsenergie, Pulsdauer, etc.) einschließlich der Messunsicherheit.
- d) Für gekapselte (eingebaute) Laserprodukte sind alle notwendigen Hinweise bereitzustellen, um einer schädlichen Strahlungsexposition vorzubeugen.
- e) Wenn es relevant ist, sollte der Lasergefahrenbereich für Laserprodukte der Klasse 3B und 4 angegeben sein (bzw. der erweiterte Gefahrenbereich bei 1M oder 2M).
- f) Hinweise über die geeignete Laserschutzbrille.
- g) Lesbare Reproduktion aller Hinweisschilder und Beschreibung der Befestigungsstellen der Warnschilder.
- h) Falls die Warnschilder nicht vom Hersteller befestigt wurden, dann muss er auf diesen Umstand hinweisen und angeben, in welcher Form und Weise sie mitgeliefert wurden.
- i) Hinweis auf die Lage der Laserstrahl-Austrittsöffnungen.
- j) Liste der Bedienungsmöglichkeiten (inkl. Justiereinrichtung) und Verfahrensweisen, inklusive Warnung vor Fehlbedienung und deren Konsequenzen.
- k) Sofern das Laserprodukt seine Energieversorgung nicht enthält, ist die Art der Energieversorgung zu spezifizieren.

## **8.2 Schutzmaßnahmen seitens des Anwenders**

### **8.2.1 Allgemeines**

Bei der Planung von Schutzmaßnahmen ist zu bedenken, wie die Lasereinrichtung eingesetzt wird.

Die Schutzmaßnahmen ergeben sich aus der Gefährdungsbeurteilung gemäß OStrV. Zu beachten ist, ob der Laserstrahl innerhalb eines Gehäuses, eines Raumes, Gebäudes, Betriebsgeländes oder außerhalb des Betriebsgeländes geführt wird. Die folgenden Punkte enthalten wichtige Informationen zur Festlegung der Schutzmaßnahmen beim Betrieb von Lasern. Ist der Laserstrahl außerhalb des Betriebsgeländes zugänglich, ist zusätzlich zu beachten, dass entsprechende Genehmigungen der zuständigen Behörden, wie z.B. Ordnungsamt, Flugsicherungsbehörde einzuholen sind.

Grundsätzlich ist der Laserbereich so klein wie möglich zu halten. Bauliche und konstruktive Schutzmaßnahmen (Tabelle 19) sind vorrangig anzuwenden. Nur wenn der Schutz durch diese Maßnahmen nicht hergestellt werden kann, sind zunächst organisatorische vor persönlichen Schutzmaßnahmen (Tabelle 20) vorzusehen.

### **8.2.2 Vorgehensweise**

Zu Beginn ist zu prüfen, ob der Laserstrahl vollkommen umbaut werden kann, sodass kein Zugang zu Laserstrahlen besteht. Ist dies nicht oder nur unvollständig möglich, ist der Lasergefahrenbereich zu ermitteln, d.h. es sind die Bereiche zu erfassen, in denen die Expositionsgrenzwerte der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) überschritten werden können. Dabei sind neben der direkten Strahlausbreitung auch die Bereiche in denen durch Reflexion und Remission die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können, zu ermitteln. Nach Ermittlung des Lasergefahrenbereiches ist zu prüfen wie der Bereich durch baulich-/technische Maßnahmen verringert werden kann. Maßnahmen können z.B. Begrenzung der Strahlausbreitung durch Strahlenfänger oder Strahlrichtung durch Begrenzungen sein. Der Lasergefahrenbereich ist daraufhin erneut zu ermitteln. Ergibt die Ermittlung, dass Beschäftigte sich bei ihren Tätigkeiten im Lasergefahrenbereich aufhalten müssen, sind weitere Maßnahmen – nach technischen auch organisatorische – zur Verringerung des Lasergefahrenbereiches und eine erneute Ermittlung des Lasergefahrenbereiches vorzusehen. Führt dieses Vorgehen nicht dazu, dass Beschäftigte sich in Lasergefahrenbereichen aufhalten müssen, so sind persönliche Schutzmaßnahmen – Augen- und ggf. Hautschutz vorzusehen.

Außer den Beschäftigten innerhalb eines Unternehmens können auch z.B. bei Anwendungen im Freien, andere Personen in den Lasergefahrenbereich gelangen. Auch für sie ist sicherzustellen, dass zumindest die Expositionswerte der OStrV nicht überschritten werden. Kann der Blick durch optische Geräte mit vergrößernder Wirkung nicht ausgeschlossen werden, ist dies zusätzlich zu berücksichtigen.

### **8.2.3 Betrieb von Lasereinrichtungen in Gebäuden**

#### **Lasereinrichtungen der Klasse 2**

Andauerndes oder wiederholtes direktes Blicken in den Laserstrahl ist zu vermeiden, da nur eine kurzzeitige Exposition (bis 0,25 Sek.), wie sie bei zufälliger Bestrahlung des Auges zustande kommt, ungefährlich ist. Anwesende Personen sind darauf hinzuweisen, nicht in den Laserstrahl zu blicken.

Hinweis: Vom Schutz der Augen durch den Lidschlussreflex kann nicht grundsätzlich ausgegangen werden. Daher sollte man, falls Strahlung ins Auge gelangt, die Augen sofort bewusst schließen und sich abwenden.

## **Lasereinrichtungen der Klasse 1M, 2M und 3A**

Der Laserstrahl darf im Strahlengang mit optischem Gerät vergrößernder Wirkung nur durch ausreichende Laserschutzfilter betrachtet werden. Für Lasereinrichtungen der Klassen 2M und 3A, die Strahlung im sichtbaren Bereich (400 nm bis 700 nm) aussenden, sind darüber hinaus die Schutzbestimmungen für Laser der Klasse 2 zu beachten. Wird der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente (z. B. Lupen, Linsen, Teleskope) verkleinert, besteht eine vergleichbare Gefährdung wie bei Lasern der Klassen 3R und 3B; entsprechende Schutzvorkehrungen sind zu treffen.

## **Lasereinrichtungen der Klasse 3R und 3B**

Während des Laserbetriebs sind die dazu benutzten Räume Lasergefahrenbereiche. In ihnen sind folgende Schutzmaßnahmen zu treffen:

- In den Räumen dürfen sich keine explosionsgefährlichen oder leicht entzündlichen Stoffe befinden.
- Die Eingänge zu den Räumen sollten mit einem Warnzeichen und einem Hinweisschild und mit einer Warnleuchte versehen sein, die während des Laserbetriebs eingeschaltet sein muss. Warnleuchten wurden bisher in der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ nur bei Lasern der Klasse 4 gefordert.
- Türen sind so zu sichern, dass ein unbefugtes oder zufälliges Betreten der Räume während des Laserbetriebs unmöglich ist.
- Fluchttüren müssen mit einem Panikverschluss versehen sein.
- Fußböden, Decken, Wände und Einrichtungen der Räume sollten matte, raue Oberflächen aufweisen.
- Fenster sind beim Laserbetrieb abzudecken.
- Der Laserstrahl ist möglichst abgeschirmt zu führen. Nicht abgeschirmte Laserstrahlen sollen oberhalb typisch: 2,7 oder unterhalb kleiner 0,6 der Augenhöhe verlaufen.
- Die Strahlachse von Lasereinrichtungen ist so zu sichern, dass ein Auswandern des Laserstrahls nicht möglich ist.
- Der Strahlengang ist durch eine diffus reflektierende, temperaturbeständige Zielfläche oder durch Absorber zu begrenzen.
- Gegenstände, die eine unkontrollierte spiegelnde Reflexion hervorrufen können, sind aus der Umgebung des Laserstrahls zu entfernen oder mit nichtreflektierendem Material abzudecken.
- Der Laser darf nicht ausgerichtet werden, wenn das Auge ungeschützt ist.
- Alle Personen, die sich während des Laserbetriebs in den Laserbereichen aufhalten, müssen Laserschutzbrillen tragen, die auf Wellenlänge und Laserleistung abgestimmt sind.
- Jeder Benutzer und jede Benutzerin einer Laser-Schutzbrille hat sich vor deren Gebrauch zu vergewissern, dass an seiner bzw. ihrer Brille keine Veränderungen erkennbar sind (z. B. Sprünge, Farbveränderungen), die den Schutz vor Laserstrahlung beeinträchtigen können. Solche Fehler sind unverzüglich dem bzw. der Laserschutzbeauftragten zu melden.

- Alle im Raum Anwesenden sind so rechtzeitig vor dem Einschalten der Lasereinrichtung zu verständigen, dass sie Gelegenheit haben, die nötigen Vorkehrungen zu treffen. Wird durch technische Einrichtungen an der Lasereinrichtung sicher verhindert, dass Laserstrahlen in den Raum oder in andere Räume gelangen können, entstehen keine Lasergefahrenbereiche und die genannten Schutzvorkehrungen können entfallen.

#### **Lasereinrichtungen der Klasse 4**

Für Lasereinrichtungen der Klasse 4 gelten die gleichen Schutzbestimmungen wie für die Klasse 3B mit der Maßgabe, dass der Laserstrahl grundsätzlich abgeschirmt zu führen ist und die Zielfläche oder der Absorber nicht ungeschützt betrachtet werden kann. Lasereinrichtungen der Klasse 4 sollen fernbedient werden, damit auf diese Weise die Anwesenheit von Personen in der Umgebung der Lasereinrichtung ausgeschlossen ist.

Der Betrieb von Lasereinrichtungen der Klasse 4 kann mit erheblichen Brand- und Explosionsgefahren verbunden sein. Zum Auffangen des Laserstrahls eignen sich Schamottziegel oder anderes feuerfestes Material. Dabei ist darauf zu achten, dass bei längerer Bestrahlung keine Verglasung an der Oberfläche eintritt, die zu spiegelnder Reflexion führen kann. Gekühlte, nicht ebene Auffangflächen aus Metall, wie Kegel oder Absorber, sind deshalb vorzuziehen.

Besondere Vorkehrungen können notwendig sein, wenn unerwünschten Reflexionen im Infrarotbereich vorzubeugen ist.

#### **8.2.4 Betrieb von Lasereinrichtungen im Freien**

##### **Lasereinrichtungen der Klasse 2**

Andauerndes oder wiederholtes direktes Blicken in den Laserstrahl ist zu vermeiden. Ungefährlich ist nur eine kurzzeitige Exposition (bis 0,25 Sek.), wie sie bei zufälliger Bestrahlung des Auges zustande kommt. Personen, die in den Bereich des Laserstrahls gelangen können, sind darauf hinzuweisen, dass sie nicht in den Laserstrahl blicken dürfen.

Hinweis: Vom Schutz der Augen durch den Lidschlussreflex kann nicht grundsätzlich ausgegangen werden. Daher sollte man, falls Strahlung ins Auge gelangt, die Augen sofort bewusst schließen und sich abwenden.

##### **Lasereinrichtungen der Klassen 1M, 2M und 3A**

Bei Lasereinrichtungen der Klassen 2M und 3A, die Strahlung im sichtbaren Bereich (400 nm bis 700 nm) aussenden, ist ein andauerndes Blicken in den Laserstrahl zu vermeiden. Ungefährlich ist nur eine kurzzeitige Exposition (bis 0,25 Sek.), wie sie bei zufälliger Bestrahlung des Auges zustande kommt. Weiterhin sind die Schutzbestimmungen für Lasereinrichtungen der Klasse 2 zu beachten.

Lässt sich nicht ausschließen, dass innerhalb der Distanz der erweiterten NOHD (Nominal Ocular Hazard Distance, Sicherheitsdistanz für das Auge) optische Geräte mit vergrößernder Wirkung ohne ausreichende Laserschutzfilter zur Beobachtung benutzt werden oder der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente verkleinert wird, sind für alle Lasereinrichtungen dieser Klassen folgende Schutzvorkehrungen zu treffen:

Der Lasergefahrenbereich im Gelände ist unter Verwendung der erweiterten NOHD festzulegen, wobei bei verschiedenen optischen Geräten vom größten Wert der erweiterten NOHD auszugehen ist. Die Ermittlung der NOHD ist in DIN EN 60825-14 beschrieben.

- Objekte, die eine spiegelnde Reflexion hervorrufen können, sind bei der Festlegung des Lasergefahrenbereiches zu berücksichtigen, ggf. zu entfernen oder mit nicht reflektierendem Material abzudecken. – Der Lasergefahrenbereich ist abzugrenzen und mit Warnzeichen und Hinweisschildern (Anlage xx) so zu kennzeichnen, dass niemand unbeabsichtigt in den Lasergefahrenbereich gelangen kann. Sofern eine Kennzeichnung nicht möglich oder wegen zu kurzer Distanz nicht sinnvoll ist oder durch Kennzeichnung kein ausreichender Schutz Unbeteiligter gewährleistet werden kann, ist der Lasergefahrenbereich lückenlos (z. B. durch das Betriebspersonal, ggf. durch Posten) zu überwachen.
- Bei der Festlegung des Lasergefahrenbereichs ist der wirksame Strahlenkegel um eine horizontale und eine vertikale Pufferzone zu erweitern, weil es beim Ausrichten des Laserstrahls zu Fehlern kommen kann. Diese Pufferzone gehört zum Lasergefahrenbereich und ist bei der Bemessung von Strahlenfänger zu berücksichtigen.
- Im Lasergefahrenbereich darf optisches Gerät mit vergrößernder Wirkung zur Beobachtung nur dann benutzt werden, wenn es mit ausreichenden Laserschutzfiltern versehen ist.
- – Der Laserbetrieb ist durch ein optisches Signal anzuzeigen. Dies hat rechtzeitig vor Inbetriebnahme zu geschehen, damit alle Anwesenden Schutzmaßnahmen treffen können. Das Signal muss während des gesamten Laserbetriebs andauern.

### **Lasereinrichtungen der Klassen 3R und 3B**

- Vor Inbetriebnahme der Lasereinrichtung ist der Lasergefahrenbereich im Gelände festzulegen. Strahlenfänger natürlicher oder künstlicher Art können dabei berücksichtigt werden. Objekte, die spiegelnde Reflexionen hervorrufen können, sind zu berücksichtigen, ggf. zu entfernen oder mit nichtreflektierendem Material abzudecken.
- Wenn der Lasergefahrenbereich sich über das Betriebsgelände hinweg in Bereiche erstreckt, die allgemein zugänglich sind, sind die Auflagen der genehmigenden Stellen einzuhalten. Bereiche, die nicht bestrahlt werden dürfen, sind in DIN EN 60825-12 „Sicherheit von optischen Freiraumkommunikationssystemen“ für die Informationsübertragung benannt.
- Der Lasergefahrenbereich ist abzugrenzen und mit Warnzeichen und Hinweisschildern zu kennzeichnen.
- Es ist so zu kennzeichnen, dass niemand unbeabsichtigt in den Lasergefahrenbereich gelangen kann.
- Ist eine Kennzeichnung nicht möglich oder kann durch die Kennzeichnung kein ausreichender Schutz Unbeteiligter erzielt werden, so ist der Lasergefahrenbereich lückenlos (z. B. durch Posten) zu überwachen.
- Bei der Festlegung des Lasergefahrenbereichs ist der wirksame Strahlenkegel um eine horizontale und eine vertikale Pufferzone zu erweitern, weil es beim Ausrichten des Laserstrahls zu Fehlern kommen kann. Diese Pufferzone gehört zum Lasergefahrenbereich und ist bei der Bemessung von Strahlenfängern zu berücksichtigen.
- Zur Begrenzung des Lasergefahrenbereichs sollen technische Maßnahmen, wie Sperren oder Verriegelungen verwendet werden, die den horizontalen und vertikalen Schwenkbereich der Lasereinrichtungen eingrenzen.
- Im Lasergefahrenbereich darf optisches Gerät mit vergrößernder Wirkung nur dann benutzt werden, wenn es mit ausreichenden Laserschutzfiltern versehen ist.
- Personen, die den Lasergefahrenbereich innerhalb der Grund-NOHD betreten müssen, müssen Laserschutzbrillen tragen, die auf Wellenlänge und Laserleistung abgestimmt sind. Jeder Benutzer und jede Benutzerin einer Laserschutzbrille hat sich vor Gebrauch zu vergewissern, dass an der Brille keine Veränderungen erkennbar sind, die den Schutz vor Laserstrahlung beeinträchtigen können (z. B. Sprünge, Farbveränderungen). Solche Veränderungen sind unverzüglich dem bzw. der Laserschutzbeauftragten zu melden. Soweit in den systemgebundenen

Sicherheitsbestimmungen angegeben, sind zusätzlich Körperschutzmittel zum Schutz der Haut zu verwenden.

- Der Laserbetrieb ist durch ein optisches Signal anzuzeigen. Dies hat rechtzeitig vor Inbetriebnahme zu geschehen, damit alle Anwesenden Schutzmaßnahmen treffen können. Das Signal muss während des gesamten Laserbetriebs andauern.
- Der Laserbetrieb ist einzustellen, sobald sich Fahrzeuge (einschließlich Luft- und Wasserfahrzeuge) oder ungeschützte Personen dem Lasergefahrenbereich nähern.

#### **Lasereinrichtungen der Klasse 4**

Für Lasereinrichtungen der Klasse 4 gelten die gleichen Schutzbestimmungen wie für die Klasse 3B. Zusätzlich sind bei dieser Klasse diffuse Reflexionen sowie Brand- und Explosionsgefahren als Gefahrenquellen zu berücksichtigen.

Während sich Teil 1 der Normenreihe DIN EN 60825 an den Hersteller richtet, sind in Teil 14 (DIN EN 60825 Bbl 14 (VDE 0837 Bbl 14)) empfohlene Schutzmaßnahmen angeführt, die der Anwender umsetzen kann.

**Tabelle 19** : Bauliche und konstruktive Schutzmaßnahmen

Bauliche- /konstruktive Schutzmaßnahmen							
Sicherheitsmaßnahmen	Laser-Einrichtung (Klasse)						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Wände					matt, hell, diffus reflektierend		
Abschirmungen					große spektrale Absorption bei der Wellenlänge der Laser und wirksam gegen Sekundärstrahlung		
Laserbereich					Kennzeichnung der Grenzen		
Strahlwarnung; Emissionswarnanzeige					optisch oder akustisch an den Zugängen; auf dem Laser; bei 3R nur bei unsichtbarer Strahlung		
Not-Aus-Schalter	abhängig von einer produktspezifischen Gefährdungsanalyse (siehe Maschinenrichtlinie Abs. 1.2.4 der Anlage)						
Fernverriegelungs- einrichtung	erforderlich nur, wenn ein Klasse 3B- oder 4-Laser eingebaut ist				an Türkontakt oder zusätzl. NOT-AUS anschließen		
Schutzgehäuse	Laser Klasse 1 anstreben						
Sicherheitsverriegelung					zuverlässige Ausführung ( siehe Merkblatt: Sicherheitsgrenztaster)		
Schlüsselschalter					berechtigter Personenkreis; abziehen, wenn Laser außer Betrieb		
Spezifizierung: Interlock; Not-Aus, Türkontakt (Fernverriegelung)					Kategorisierung des Eingangs für den Interlock, des Türkontaktes und des Not -Aus entsprechend der DIN EN 13849-1		
Beobachtungsoptik und Beobachtungsfenster			Einbau von Laserschutzfiltern; GZS der Klasse 1 einhalten				



**Tabelle 20:** Organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen

Organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen neben der EN 60825-1 : siehe u. a. auch TR 60825-14							
Sicherheits- maßnahmen	Laser-Einrichtung (Klasse)						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Lasieranmeldung	erforderlich, bei Einbau von Lasern der Klasse 3R, 3B oder 4				Anmeldung der Laser-Einrichtung beim zuständigen Unfallversicherungsträger und den für den Arbeitsschutz zuständigen Behörden		
Laserschutzbeauftragter *)	i. a. nicht erforderlich				schriftliche Bestellung*)		
Laserbereich	i. a. nicht erforderlich, wenn die Strahlung von Lasern der Klasse 1, 1M, 2 oder 2M nicht im Arbeits- oder Verkehrsbereich verläuft				Grenzen festlegen, u.U. zeitlich begrenzen; z. B. Wartung mit beweglichen Abschirmungen (siehe auch DIN EN 12254)		
Laserschutzbrillen und Laser-Justierbrillen	nicht erforderlich, wenn nicht absichtlich in den Laserstrahl geblickt werden muss				erforderlich; eventuell Erhöhung der Raumhelligkeit erhöhen		
spezielle Unterweisung	nicht erforderlich	erforderlich; ggf. Bestätigung mit Unterschrift; mindestens jährlich					
Strahlwege		Den Strahl am Ende seines zweckdienlichen Weges blockieren, spiegelnder Reflexionen vermeiden					
<p>*) Der Laserschutzbeauftragte gilt als Sachkundiger, wenn er auf Grund seiner fachlichen Ausbildung oder Erfahrung ausreichende Kenntnisse über die zum Einsatz kommenden Laser erworben hat und so eingehend über die Wirkung der Laserstrahlung, über die Schutzmaßnahmen und Schutzvorschriften unterrichtet ist, dass er die erforderlichen Schutzvorkehrungen beurteilen und auf ihre Wirksamkeit prüfen kann. Der Laserschutzbeauftragte muss erfolgreich an einem Kurs zur Erlangung der Sachkunde für Laserschutzbeauftragte teilgenommen haben. (siehe OStrV)</p>							

Bei in der Medizin eingesetzten Lasern muss zusätzlich das Medizinprodukte-Gesetz und die Medizinprodukte-Betreiberverordnung berücksichtigt werden. Das bedeutet unter anderem, dass bei bestimmten Anwendungen nur bauartzugelassene Geräte benutzt werden dürfen.

### 8.3 Fachkunde und Sachkunde gemäß OStrV

Die neue Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) [1] legt in § 5 „Fachkundige Personen, Laserschutzbeauftragter“ grundsätzlich fest, was die Aufgaben der fachkundigen Personen sind und beschreibt die Aufgaben des sachkundigen Laserschutzbeauftragten. Dazu heißt es in der OStrV:

„(1) Der Arbeitgeber hat sicherzustellen, dass die Gefährdungsbeurteilung, die Messungen und die Berechnungen nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden. Verfügt der Arbeitgeber nicht selbst über die entsprechenden Kenntnisse, hat er sich fachkundig beraten zu lassen.

(2) Vor der Aufnahme des Betriebs von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 hat der Arbeitgeber, sofern er nicht selbst über die erforderliche Sachkunde verfügt, einen sachkundigen Laserschutzbeauftragten schriftlich zu bestellen. Die Sachkunde ist durch die erfolgreiche Teilnahme an einem entsprechenden Lehrgang nachzuweisen. Der Laserschutzbeauftragte hat folgende Aufgaben:

1. die Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen gemäß § 3 Absatz 1 Satz 7;

2. die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasern nach Satz 1.

Bei der Wahrnehmung seiner Aufgaben arbeitet der Laserschutzbeauftragte mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit und dem Betriebsarzt zusammen.“

Übersetzt man die unter Nr. 1 und 2 genannten Aufgaben, so lassen sich diese auch folgendermaßen lesen: „Der Laserschutzbeauftragte hat folgende Aufgaben:

1. die Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung;

2. die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4.“

Sowohl die Fachkunde als auch die Sachkunde müssen in den zur Konkretisierung der OStrV noch zu ermittelnden Technischen Regeln genauer dargelegt werden.

#### 8.3.1 Fachkunde nach Absatz 1 des § 5 OStrV

§ 5 Absatz 1 setzt im wesentlichen Artikel 4 Absatz 2 in Verbindung mit Absatz 1 der Richtlinie 2006/25/EG [2] um. Durch die in der OStrV getroffene Festlegung, dass die Gefährdungsbeurteilung sowie die Messungen und Berechnungen nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden dürfen, wurde die Begrifflichkeit der „befähigten Dienste und Personen“, wie sie ursprünglich in Artikel 4 Absatz 2 der Richtlinie 2006/25/EG benutzt wurde, in der OStrV weder wörtlich noch inhaltlich übernommen.

Nach der OStrV ist grundsätzlich der Arbeitgeber dafür verantwortlich, dass die Expositionsgrenzwerte eingehalten werden. Dies kommt auch sehr deutlich in Artikel 6 Absatz 3 und Artikel 9 Absatz 1 der Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie 89/391/EWG [3] zum Ausdruck, worin es heißt: „nimmt der Arbeitgeber im Falle der Exposition von Arbeitnehmern gegenüber künstlichen Quellen optischer Strahlung eine Bewertung und erforderlichenfalls eine Messung und/oder Berechnung des Ausmaßes der optischen Strahlung vor, der die Arbeitnehmer voraussichtlich ausgesetzt sind, so dass die erforderlichen Maßnahmen zur Beschränkung der Exposition auf die geltenden Grenzwerte ermittelt und angewendet werden können“. [3].

Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, kann der Arbeitgeber zur Erfüllung seiner Pflichten, Aufgaben auch delegieren. Genau diese Intention ist Artikel 4 Absatz 2 der

Richtlinie 89/391/EWG zu entnehmen, wenn dort gefordert wird, dass die Planung und Durchführung der Bewertung, Messung und/oder Berechnung von hierzu befähigten Diensten oder Personen durchgeführt werden müssen. Darüber hinaus muss der Arbeitgeber sicherstellen, dass die für ihn tätig werdenden Personen über die notwendigen Kenntnisse verfügen. Folgerichtig wäre es daher, dass vom Arbeitgeber (Unternehmer) die notwendigen Voraussetzungen zu ermitteln und festzulegen sind, welche Personen mit der Bewertung, Messung und/oder Berechnung zu beauftragen sind. So heißt es denn auch in Artikel 5 Absatz 2 der Richtlinie 89/391/EWG: *„zieht ein Arbeitgeber in Anwendung von Artikel 7 Absatz 3 außerbetriebliche Fachleute (Personen oder Dienste) hinzu, so enthebt ihn dies nicht seiner diesbezüglichen Verantwortung“*. [3]. Die außerbetrieblichen Personen oder Dienste aus 89/391/EWG sind im Zuge der Erstellung der Richtlinie 2006/25/EG gewissermaßen zu befähigten Diensten oder Personen „mutiert“. Dies und die daraus resultierenden Verwechslungen und Verunsicherungen hätte man vermeiden können, wenn es als vertrauensbildende Maßnahme ein ordnendes Begriffsglossar in diesem Regelungsbereich gegeben hätte.

Nach dem Arbeitsschutzgesetz hat der Arbeitgeber bei der Übertragung von Aufgaben auf Beschäftigte je nach Art der Tätigkeiten zu berücksichtigen, ob die Beschäftigten befähigt sind, die für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Aufgabenerfüllung zu beachtenden Bestimmungen und Maßnahmen einzuhalten (s. § 7 Übertragung von Aufgaben, ArbSchG [4]). Darüber hinaus und gleichzeitig wegweisend für die Begrifflichkeit in der OStrV war § 13 „Verantwortliche Personen“ Absatz 2 des ArbSchG. Hiernach kann der Arbeitgeber zuverlässige und fachkundige Personen schriftlich damit beauftragen, ihm obliegende Aufgaben nach diesem Gesetz in eigener Verantwortung wahrzunehmen.

Als Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung im Sinne § 5 Absatz 1 OStrV gelten Personen, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung oder Erfahrungen ausreichende Kenntnisse über Tätigkeiten mit der Exposition durch optische Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen haben und mit den Vorschriften und Regelwerken soweit vertraut sind, dass sie die Arbeitsbedingungen vor Beginn der Tätigkeit beurteilen und die festgelegten Schutzmaßnahmen bewerten und überprüfen können. Umfang und Tiefe der notwendigen Kenntnisse sind häufig in Abhängigkeit von der zu beurteilenden Tätigkeit unterschiedlich.

Es ist sicherlich unstrittig, dass die Fachkunde zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung, für die Messungen und für die Berechnungen anspruchsvoll ist, und zwar insbesondere wegen der unter Umständen sehr komplexen Zusammenhänge soweit es „Nicht-Laserstrahlung“ (inkohärente optische Strahlung, IOS) betrifft. Darüber hinaus gibt es kaum Arbeitsplätze, bei denen eine Gefährdungsbeurteilung bei IOS nicht erforderlich ist. Insofern ergibt sich ein nicht unbeträchtlicher Bedarf an Personen, die entsprechend Absatz 1 die Gefährdungsbeurteilung, die Messungen und die Berechnungen durchführen.

Fachkundige Personen für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung können auch die Fachkraft für Arbeitssicherheit und der Betriebsarzt bei vorliegen entsprechender Kenntnisse sein.

Die Gefährdungsbeurteilung bei Exposition gegenüber optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen verlangt Kenntnisse, wie sie im folgenden aufgeführt sind:

- zu den für die Beurteilung notwendigen Informationsquellen,
- zu den Wirkungen von optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen,
- zu den im Hinblick auf optische Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen relevanten Tätigkeiten im Betrieb,
- zum Vorgehen bei der Beurteilung von Wechsel- oder Kombinationswirkungen von optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen und Warnsignalen,

- zu technischen, organisatorischen und personenbezogenen Schutzmaßnahmen,
- zu alternativen Arbeitsverfahren,
- zur Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen und
- zur Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.

Für die Fachkunde für die Durchführung von Messungen und Berechnungen von optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen kann erwartet werden, dass hier in den zu erstellenden Technischen Regeln ebenfalls eine Konkretisierung zu finden sein wird, insbesondere dahingehend, dass der Arbeitgeber mit der Durchführung nur Personen beauftragen darf, die über die dafür notwendige Fachkunde und die erforderlichen Einrichtungen verfügen. Fachkundige für die Durchführung von Messungen und Berechnungen von optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen besitzen aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung oder Erfahrung ausreichende, dem Stand der Technik entsprechende Kenntnisse in der optischen Messtechnik und über den Einfluss der Produktionsabläufe und Tätigkeiten auf das Messergebnis. Darüber hinaus ist zu empfehlen, dass die erforderliche Fachkunde für die Durchführung von Messungen und Berechnungen von optischer Strahlung aus künstlichen Strahlungsquellen am Arbeitsplatz u. a. durch Teilnahme an einer geeigneten Fortbildungsveranstaltung, von z. B. Technischen Akademien, Unfallversicherungsträgern oder ähnlichen Institutionen, erworben werden kann.

Aus der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung ist allerdings keine Verpflichtung zur Teilnahme an einer Fortbildungsveranstaltung heraus zu lesen, mit der die erforderliche Fachkunde erworben wird oder erst erworben werden muss. Allein der Arbeitgeber steht in der Pflicht, sicherzustellen, dass Personen, die die Gefährdungsbeurteilung, die Messungen und die Berechnungen durchführen, die jeweils erforderliche Fachkunde besitzen. Ein formaler Nachweis wird hier nicht gefordert. Es könnte aber sinnvoll sein, dass z. B. zuständige Fach-Organisationen einen Katalog zu den erforderlichen Fachkundehalten entwickeln und dass dieser dann den entsprechenden Fortbildungsveranstaltungen zugrunde gelegt wird.

Denkbar wäre hierbei auch ein modularer Aufbau, bei dem sich an den Erwerb von Grundkenntnissen („Grundlagenkurs“) zur Durchführung einfacher Gefährdungsbeurteilungen der Erwerb von speziellen Kenntnissen zur Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen mit Bewertung, Messungen und/oder Berechnungen anschließen könnte.

### **8.3.3. Sachkunde nach Absatz 2 des § 5 OStrV**

Durch Beschluss des Bundesrates in seiner 873. Sitzung am 9. Juli 2010 wurde der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung gemäß Artikel 80 Absatz 2 des Grundgesetzes nach Maßgabe von Änderungen zugestimmt, und zwar wurde unter anderem § 4 Absatz 2 auf Veranlassung des Bundesrates mit folgender Begründung eingefügt: „Mit dem Ziel der Deregulierung werden bisherige Forderungen aus Unfallverhütungsvorschriften in die Verordnung über optische Strahlung aufgenommen. Mit der Übernahme der Forderungen aus § 6 der BGV B2 Laserstrahlung kann die berufsgenossenschaftliche Vorschrift zurückgezogen und somit können unnötige Doppelregelungen vermieden werden.“ [5].

Gemäß OStrV „hat der Arbeitgeber vor der Aufnahme des Betriebs von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4, sofern er nicht selbst über die erforderliche Sachkunde verfügt, einen sachkundigen Laserschutzbeauftragten schriftlich zu bestellen. Die Sachkunde ist durch die erfolgreiche Teilnahme an einem entsprechenden Lehrgang nachzuweisen“. [1].

Zur Sachkunde des LSB hat sich der Bundesrat in seiner Begründung ebenfalls geäußert. Hierzu heißt es „Die Anforderungen für die in einem Lehrgang zur Erlangung der erforderlichen Sachkunde zu vermittelnden Inhalte werden in einer technischen Regel beschrieben.“ [5]

Damit kommt zum Ausdruck, dass die Sachkunde des Laserschutzbeauftragten in gewisser Weise mehr ist als die nach Absatz 1 geforderte Fachkunde, denn für diese wird kein Nachweis einer erfolgreichen Teilnahme an einem entsprechenden Lehrgang verlangt. Unbenommen kann aber auch eine fachkundige Person die geforderte Sachkunde eines Laserschutzbeauftragten durch eine Zusatzausbildung in einem entsprechenden Lehrgang erwerben und dann diese Funktion ausüben. Umgekehrt fallen dem Laserschutzbeauftragten nicht die Aufgaben der fachkundigen Person für die Gefährdungsbeurteilung, die Messungen und die Berechnungen zu. Diese Aufgaben sind mithin auch nicht Ausbildungsgegenstände zum Laserschutzbeauftragten.

Der Laserschutzbeauftragte (LSB) nach OStrV hat demnach folgende Aufgaben:

- „1. die Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen gemäß § 3 Absatz 1 Satz 7;
2. die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasern nach Satz 1.“

Dies liest sich unter Heranziehung der entsprechenden Verordnungstextstellen wie folgt:

- „1. die Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung;
2. die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4.“

Insofern erhält der Stand der Technik in Bezug auf entsprechend der Gefährdungsbeurteilung durchzuführende notwendige Schutzmaßnahmen eine exponierte Bedeutung.

Der Stand der Technik wird in § 2 Absatz der OStrV definiert als „der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zum Schutz der Gesundheit und zur Sicherheit der Beschäftigten gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg in der Praxis erprobt worden sind. Gleiches gilt für die Anforderungen an die Arbeitsmedizin und Arbeits(platz)hygiene“.

Der Begriff „Stand der Technik“ ist in Analogie zum Begriffsglossar zu den Regelwerken der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, der Gefahrstoffverordnung, der Biostoffverordnung und – in gewisser Weise auch – des Bundes-Immissionsschutzgesetzes definiert. Hierdurch ist gewährleistet, dass ein einheitlicher Maßstab bei der Anwendung der Vorschriften der Verordnung angesetzt wird. Das Anforderungsniveau bei der Generalklausel „Stand der Technik“ liegt zwischen dem Anforderungsniveau der Generalklausel „allgemein anerkannte Regeln der Technik“ und dem Anforderungsniveau der Generalklausel „Stand von Wissenschaft und Technik“ [6].

Eine davon etwas abweichende Definition findet sich im Handbuch der Rechtsförmlichkeit. Hiernach gilt als Stand der Technik *„der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der nach herrschender Auffassung führender Fachleute das Erreichen des gesetzlich vorgegebenen Zieles gesichert erscheinen lässt. Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen oder vergleichbare Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen müssen sich in der Praxis bewährt haben oder sollten – wenn dies noch*

*nicht der Fall ist – möglichst im Betrieb mit Erfolg erprobt worden sein.“ [6]*

Im Recht der Europäischen Union wird auch die Formulierung „die besten verfügbaren Techniken“ verwendet. Dies entspricht weitgehend der Generalklausel „Stand der Technik“.

Die Generalklausel „Stand von Wissenschaft und Technik“ umschreibt das höchste Anforderungsniveau und wird daher in Fällen mit sehr hohem Gefährdungspotenzial verwendet. *„Stand von Wissenschaft und Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlichster Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die nach Auffassung führender Fachleute aus Wissenschaft und Technik auf der Grundlage neuester wissenschaftlich vertretbarer Erkenntnisse im Hinblick auf das gesetzlich vorgegebene Ziel für erforderlich gehalten werden und das Erreichen dieses Ziels gesichert erscheinen lassen.“ [6]*

Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang, dass z. B. § 4 so formuliert ist, dass Messungen und Berechnungen sowie die dazu notwendigen Messverfahren und –geräte dem Stand der Technik entsprechen. Durch diese Inbezugnahme des Standes der Technik wird die Anknüpfung zu den einschlägigen technischen Normen hergestellt.

Gleichzeitig wird durch die Abstützung der Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen entsprechend dem Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung deutlich, dass dem Laserschutzbeauftragten die Gefährdungsbeurteilung bekannt und transparent ist, da er sonst die entsprechende Unterstützung des Arbeitgebers bei der Durchführung der Schutzmaßnahmen nicht leisten kann.

Die in Absatz 2 in Verbindung mit Absatz 1 enthaltene Höherstellung der Sachkunde im Vergleich zur Fachkunde hat während der Diskussionen insbesondere in den Phasen des Entwurfsstadiums der Verordnung für erhebliches Unverständnis bei vielen Akteuren des Arbeitsschutzes gefunden. Dies ist auch insoweit nachvollziehbar, wie es den Personenkreis betrifft, der sich einigermaßen im Bereich des Strahlenschutzes auskennt, denn hier gibt es eine enge Verknüpfung im „Fachkunderwerb“, der die „Sachkunde und Kurse“ beinhaltet. Sachkunde erwirbt man z. B. durch arbeitstägliche Erfahrung in der Anwendung von Röntgenstrahlen unter Aufsicht eines Fachkundigen. Die Fachkunde – auch hier gibt es je nach Fachgebiet natürlich wieder mehrere, die z. B. unterschiedliche Gebiete der Röntgendiagnostik umfassen – setzt sich zum Schluss zusammen aus der nach dem Strahlenschutzkurs erworbenen Sachkunde und weiteren Kursen. Damit ist in jedem Fall ein Abgleich erforderlich, und zwar insbesondere dann, wenn fachlich beide Themengebiete, d. h. dasjenige der ionisierenden Strahlung – also des Strahlenschutzes – und dasjenige nichtionisierender Strahlung in der betrieblichen Praxis zusammentreffen.

Erst eine genauere Betrachtung der Anforderungen, die nach der OStrV an die fachkundige Person einerseits und an den Laserschutzbeauftragten andererseits gestellt werden, kann hier zur Klarstellung dienen. Hierzu ist aber auch zu reflektieren, welche Aufgaben bisher dem Laserschutzbeauftragten zufielen und welchen bisherigen Status er dabei hatte.

Nach der OStrV trägt der LSB Verantwortung für die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasern nach § 5 Absatz 2 Satz 1, also von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4. Er ist verantwortlich für die Richtigkeit der Beratung und für die Durchführung der notwendigen Schutzmaßnahmen.

Aus der OStrV ergibt sich, dass im Falle von Laserstrahlung, in den Fällen, in denen es erforderlich ist, also beim Einsatz von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4,

ein Laserschutzbeauftragter vorhanden sein muss

und

eine fachkundige Person die Gefährdungsbeurteilung für Laserstrahlung erstellt und dem Arbeitgeber vorschlägt.

Es ist dabei aber auch möglich, dass die fachkundige Person im Falle von Laserstrahlung der oben genannten Laserklassen auch die Funktion eines Laserschutzbeauftragten wahrnimmt, wenn die entsprechenden Voraussetzungen gegeben sind.

In manchen Fällen ist der Arbeitgeber aber gut beraten, wenn er eventuell auch bei Lasern der Klassen 1M und 2M, und zwar dann wenn kollimierte Laserstrahlung vorliegt, einen Laserschutzbeauftragten benennt, denn diese Laser können bei Verwendung optisch sammelnder Instrumente Laserstrahlemissionswerte der Klassen 3R oder 3B ergeben. Dieser Weg würde einer auf der Gefährdungsbeurteilung basierenden Funktionsübertragung entsprechen, wird aber so nicht in der OStrV gefordert.

In keinem Falle darf es aber dazu kommen, dass einer der beiden Zusammenhänge zutrifft: „Befugt, aber nicht befähigt“ oder „Befähigt, aber nicht befugt“.

Entscheidend wird es auch darauf ankommen, wie die Anforderungen an die in einem Lehrgang zur Erlangung der erforderlichen Sachkunde zu vermittelnden Inhalte in einer Technischen Regel gemäß der Bundesratsbegründung für die Festlegung des LSB in der OStrV aussehen.

## **9. Besondere Aspekte beim Einsatz des Lasers in der Medizin**

Schon kurz nach der erstmaligen Konstruktion des Lasers vor gut 50 Jahren wurde der Laser in der Medizin erfolgreich eingesetzt. Heute findet der Laser in nahezu allen medizinischen Disziplinen vielfältige Anwendung, sowohl in der Diagnose als auch in der Therapie. Für die Anwendung von Lasern in der Medizin stehen verschiedene Lasertypen in einem großen Wellenlängenbereich von 193 nm bis 10,6 µm und mit Leistungen von einigen Milliwatt bis 250 W zur Verfügung.

Die Wahl eines geeigneten Lasers für eine medizinische Anwendung wird bestimmt durch (a) die Absorptionscharakteristika des zu zerstörenden Gewebes, (b) die Laserwellenlänge, (c) die zeitlich applizierte Energie (Strahlleistungsdichte, Gewebeoberflächenenergiedichte und Expositionsdauer), sowie (d) dem Applikationsmodus der Energie (CW oder gepulste Strahlung und direkter Kontakt oder kontaktlos mit dem Gewebe).

Gegenüber herkömmlichen nichtkohärenten optischen Strahlenquellen verfügt der Laser über sehr hohe Leistungsdichten und die Fähigkeit, ultrakurze Pulse im Bereich von bis zu  $10^{-15}$ s auszusenden. Auf diese Weise ist es erst möglich geworden, mit einer optischen Strahlenquelle Gewebe schonend abzutragen und Gewebe präzise zu schneiden. Weiterhin ist es möglich, über die Einkoppelung hoher Leistungen in Lichtwellenleiter endoskopisch Anwendungen vornehmen zu können.

Mit einer Laserbehandlung kann der Ort der Applikation exakt bestimmt und das Therapievolumen laufend kontrolliert werden mit einer geringen mechanischen Traumatisierung des umliegenden Gewebes. Welche Einsatzmöglichkeiten der Laser mittlerweile in der Medizin hat, zeigt Tab. 21.

**Tabelle 21: Einsatz gebräuchlicher Laser in verschiedenen Medizindisziplinen (Peng 2008)**

	<b>Lasertypen</b>	<b>Hauptindikationen</b>
Dermatologie	Gepulster Farbstoff, CO <sub>2</sub> , Alexandrit, Argon, Diode, Rubin, Nd:YAG, Excimer,	Gefäßläsionen, benigne und maligne Tumoren, pigmentierte Läsionen, Tattoos, kosmetische Korrekturen
Ophthalmologie	Rubin, Argon, Nd:YAG, Diode, Excimer	diabetische Retinopathie, Hornhautanomalie, altersbedingte Maculadegeneration
Zahnheilkunde	Argon, KTP (Freq.-verdoppelter Nd:YAG), HeNe, Diode, CO <sub>2</sub> , ErCr:YSGG, Er:YAG, Nd:YAG	Karies, Parodontits, entzündete Wurzelkanäle, Weichgewebechirurgie Zahnbleichen
HNO-Heilkunde	CO <sub>2</sub> , KTP, Argon, Nd:YAG, Ho:YAG, Diode	Polypen, Leukoplakie, Stenosen, kapilläre Hämangiome
Gastroenterologie	Nd:YAG, Diode	Hämostase, Gefäßläsionen, Tumorentfernung, Ösophagusdysplasie, Fragmentierung von Gallensteinen
Urologie	Ho:YAG, KTP, gepulster Farbstoff	Lithotripsie, benigne Prostatahyperplasie, Prostata tumor, Harnblasentumor
Gynäkologie	Nd:YAG, CO <sub>2</sub> , KTP, Farbstoff, Diode	Kondylom, Leukoplakie CIN, VIN, VAIN, ektopische Schwangerschaft, Dysmenorrhö, Hysterektomie, Endometriose, Ovarialzysten
Herz-Kreislaufsystem	Argon, Excimer, Ho:YAG, CO <sub>2</sub>	Atherosklerotische Läsionen, Thrombus, transmyokardiale Revaskularisation perkutane myokardiale Revaskularization
Neurochirurgie	CO <sub>2</sub> , Nd:YAG, Diode, Argon	Meningiom, Neurom, Spinaltumor, Metastasen, vaskuläre Fehlbildungen, stereotaktische Neurochirurgie
Orthopädie	Nd:YAG, Ho:YAG	Schneiden/Abtragen von Hart-/Weichgewebe, Knorpelglättung, Knie, Bandscheibenvorfall

Unter "optischer Diagnostik" versteht man eine Technik, mit der ohne Zerstörung die Struktur und Funktion eines Gewebes mittels bildgebender und spektroskopischer Verfahren wie Absorption, Reflexion, elastische Streuung und Raman-Streuung erfasst werden kann. Vorrangige Ziele sind Nachweis von malignem Gewebe, des Weiteren den aktuellen Stoffwechsel, Blutfluss und die aktuelle Medikamentenkonzentration überwachen zu können.

Neue Geräte werden immer kompakter, anwendungsvariabler und preisgünstiger. Femtosekundenlaser mit hohen Leistungsdichten aber geringen Energien werden eine präzise Mikrochirurgie ohne signifikante Gewebeaufheizung ermöglichen. Faserlaser mit unterschiedlichen Wellenlängen im Dauerstrich- oder gepulsten Modus werden ohne den bisher erforderlichen optischen Resonator zur Laserstrahlungserzeugung konstruiert werden



können. Festkörperlaser und zunehmend Halbleiterlaser werden demnächst mit höherer Ausgangsleistung und allen erforderlichen Wellenlängen im sichtbaren und nahen infraroten Bereich zur Verfügung stehen. Diagnostische Laseranwendungen wie in vivo Spektroskopie und bildgebende Systeme werden zukünftig häufiger mit therapeutischen Laseranwendungen kombiniert werden. Aber auch Weiterentwicklungen von leistungsstarken nichtkohärenten Strahlungsquellen, wie z.B. gepulste Blitzlichtlampen und LED werden in einigen Anwendungsbereichen den Laser ersetzen.

Wegen der leichten Zugänglichkeit der Haut hat die Prüfung der Anwendbarkeit des Lasers in der Medizin im dermatologischen Bereich von jeher eine Vorreiterrolle in der Medizin gehabt. Bis in die 90er Jahre standen nur Laser zur Verfügung, deren Wirkung vornehmlich auf dem thermischen Effekt beruhte. Daher waren Behandlungen von Hautläsionen oft mit ungewollten Nebenwirkungen wie z.B. einer Narbenbildung verbunden. Neuentwicklungen der letzten Jahre erlauben es, dass mit einer Vielzahl von Wellenlängen, Puls- und Wiederholraten viel besser auf die Anforderungen der Behandlung unter Schonung der gesunden Haut eingegangen werden kann. Allerdings ermöglicht es, auch nicht speziell ausgebildeten Personen, diese mittlerweile durchaus preisgünstigen Laser für die verschiedensten kosmetischen Korrekturen verwenden zu können. Zur Vermeidung von Behandlungsfehlern und zur Beherrschung von Nebenwirkungen, Begleitreaktionen sowie Allergien sollte die Behandlung jedoch nur unter der direkten Aufsicht von lasererfahrenen Fachärzten durchgeführt werden. Dies setzt ein erfolgreich abgeschlossenes Medizinstudium, eine mehrjährige Facharztausbildung und die umfangreiche Erfahrung mit verschiedenen Lasersystemen voraus.

Die wichtigsten Vorteile einer thermischen Lasertherapie sind eine präzise, blutstillende und sterile Schneidetechnik, geringere Ödem- und Narbenbildung, geringere Schmerzbelastung des Patienten und eine verkürzte Heilung. Die Vorteile der Photodynamischen Therapie liegen bei einer hohen Selektivität und fehlender Toxizität des Photosensitizers in der Kombination der Therapie mit begleitender Diagnose (z.B. Fluoreszenz) und der Wiederholbarkeit trotz begrenzendem Eindringvermögen der Strahlung in das Gewebe. Der Erfolg einer Laseranwendung hängt aber in erster Linie davon ab, inwieweit ein fundiertes Wissen über die Wirkungen von optischer Strahlung auf biologisches Gewebe vorliegt und welcher für das entsprechende Krankheitsbild geeignete Laser einzusetzen ist. Ziel ist es ja im Rahmen einer therapeutischen Behandlung, die applizierte Laserstrahlung nur in dem Maße anzuwenden, dass der beabsichtigte Effekt eintritt und zwar mit minimalen Nebenwirkungen und Langzeitrisiken für den Patienten. Dazu bedarf es eines speziell geschulten Mediziners.

Weitere Informationen sind in der FA-Information F 05 des FAET „Betrieb von Laser-Einrichtungen für medizinische und kosmetische Anwendungen“ (Stand: 11/2009)“ der DGUV ([www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)) veröffentlicht.

## 10. Besondere Aspekte beim Einsatz von Lasern als Verbraucherprodukt

### Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)

Lasere finden zunehmend im privaten Bereich Anwendung, z. B. als Laserpointer, Justierlaser, Distanzmessgeräte, Laserwasserwaagen, Laser für Astronomie Zwecke, Motivlaser sowie Distanzmess- und Nivelliergeräte und auch für Showzwecke. Diese werden oftmals von Personen ohne ausreichende Kenntnisse über die Gefährdungen durch Laserstrahlung eingesetzt. Für die Marktaufsicht war es schwierig zu beurteilen, ob von diesen Produkten eine Gefährdung ausgeht, denn es sind auf dem Markt auch Laser höherer Leistung anzutreffen. Daraufhin wurde auf Anregung des Landesinstitutes für Gesundheit und Arbeit des Landes Nordrhein-Westfalen (LIGA.NRW) und auf Initiative der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin nach § 12 Abs. 2 des Geräte- und Produktsicherheitsgesetzes (GPSG) unter Beteiligung von Vertretern der Marktaufsicht, der Berufsgenossenschaft BG ETEM, Herstellern und Experten eine Technische Spezifikation mit dem Titel „Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)“ zur Bewertung von Lasern erstellt.

Lasere-Produkte mit geringer Leistung sind meist nur batteriebetrieben (typischerweise 3 - 12 V) und unterliegen nicht den aufgeführten Verordnungen. Für diese Produkte gelten die grundlegenden Festlegungen nach § 4 Absatz (2) des GPSG und hier findet die technische Spezifikation ihre Anwendung.

Diese technische Spezifikation zur Risikobewertung von Verbraucherprodukten, die Laser sind oder beinhalten, richtet sich an Hersteller, Bevollmächtigte und Einführer. Sie konkretisiert Anforderungen an Laser als bzw. in Verbraucherprodukte(n), damit sowohl bei bestimmungsgemäßer Verwendung als auch bei vorhersehbarer Fehlanwendung die Sicherheit und Gesundheit von Verwendern oder Dritten nicht gefährdet wird.

Der Anwendungsbereich der technischen Spezifikation ist wie folgt festgelegt:

Es dürfen nur nachstehende Laser, die als bzw. in Verbraucherprodukte(n) in den Verkehr gebracht werden:

- die nach der DIN EN 60825-1 klassifiziert sind und
- den Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M entsprechen.

An die Klassen sind für den Hersteller von Laserprodukten bestimmte Anforderungen geknüpft, z. B. an die Konstruktion und an die Benutzerinformation. In der Norm sind für Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M jedoch über die Benutzerinformationen hinaus keine sicherheitstechnischen Anforderungen für die Verbraucherprodukte festgelegt.

Lasere der Klassen 3R, 3B und 4 dürfen nicht als Verbraucherprodukt im Sinne des GPSG zum Einsatz kommen. Bei Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 ist die zugängliche Laserstrahlung gefährlich für das Auge und bei hoher Leistung für die Haut. Solche Laser sind nur unter Anwendung von speziellen Schutzmaßnahmen (s. Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ BGV B2 und Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung) im gewerblichen Bereich einsetzbar, da die Hersteller, ihre Bevollmächtigten und die Einführer von solchen Lasereinrichtungen nicht sicherstellen können, dass diese Produkte sicher zur Anwendung kommen.

Bei der Klassifizierung nach DIN EN 60825-1 sind die ungünstigsten Bedingungen zu berücksichtigen (z. B. volle Batterien, erhöhte Netzspannung von 250 V).

In der Technischen Spezifikation ist festgelegt, dass sie nicht für Produkte gilt, die speziellen europäischen Harmonisierungsrechtsvorschriften und den sie umsetzenden nationalen Rechtsvorschriften unterliegen.

Danach gilt die Technische Spezifikation nicht für:

- Produkte, für die Rechtsverordnungen nach § 3 Abs. 1 GPSG bestehen wie z.B.:
  - Medizinproduktegesetz
  - Niederspannungsverordnung
  - Spielzeugverordnung
  - Maschinenverordnung.
- Produkte, für die harmonisierte Normen bestehen wie z.B.:
  - DIN EN 60065 „Audio-, Video- und ähnliche elektronische Geräte – Sicherheitsanforderungen“
  - DIN EN 62115 „Elektrische Spielzeuge – Sicherheit“
  - DIN EN 60950-1 „Einrichtungen zur Informationstechnik“

Produkte mit Lasern, die in die Klassen 3R, 3B und 4 eingestuft sind, dürfen nicht als Verbraucherprodukte in den Verkehr gebracht werden.

Bei der Laser-Klassifizierung wird die zugängliche Strahlung zu Grunde gelegt. Bei einem gekapselten Laser handelt es sich daher um einen Laser der Klasse 1, der einen Laser höherer Klasse beinhalten kann. In der Benutzerinformation ist hierzu ein Hinweis zu geben, dass ein Laser mit höherer Leistung eingebaut ist. Das Schutzgehäuse darf nur vom Fachpersonal mit speziellem Werkzeug unter Berücksichtigung von besonderen Schutzmaßnahmen entfernt werden. Die Anwendungen liegen im Multi-Millionen-Bereich, da z.B. in jedem PC, CD- Player, DVD-Brenner und in jeder Spielkonsole Laser zum Einsatz kommen. Der Einsatz von eingehausten Lasern wird als sicher angesehen und erfordert keine Verbote oder Prüfungen. Durch Manipulation am Gerät durch den Anwender erlischt in der Regel die Gewährleistung der Sicherheit durch den Hersteller.

Die Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n) wurde vom Ausschuss für technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte ermittelt und im Bundesanzeiger Nr. 97 vom 2. Juli 2010, S. 2290, bekanntgemacht.

[http://www.baua.de/de/Geraete-und-Produktsicherheit/Produktinformationen/pdf/Verzeichnis-2-2.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.baua.de/de/Geraete-und-Produktsicherheit/Produktinformationen/pdf/Verzeichnis-2-2.pdf?__blob=publicationFile)

Die technische Spezifikation wird auf der Homepage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin als Download unter der Adresse:

[http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Optische-Strahlung/pdf/Technische-Spezifikation.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Optische-Strahlung/pdf/Technische-Spezifikation.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

bereitgestellt.

### **Blendung durch Laserpointer**

Gängige Laserpointer können eine geringe Strahldivergenz von knapp über 1 mrad haben. Das heißt, bei einer Divergenz von 1 mrad weitet sich der Strahl mit einem Durchmesser von 1 mm auf einer Entfernung von 1 km auf 1 m auf. Zur Abschätzung der Blendung kann der in der BGI 5007 „Lasereinrichtungen für Show- und Projektionszwecke“ angegebene Wert von 40 µW herangezogen werden. Wichtige Hinweise zur Blendung sind im Forschungsbericht "Untersuchungen zu arbeitsplatzbezogenen Beeinträchtigungen durch Blendung mit optischen Strahlungsquellen" enthalten. Dort sind auch Angaben von geblendeten Piloten zu finden, wonach Blendereignisse bereits bei ca. 0,5 µW aufgetreten sind.

Die Berechnungen zur Reichweite von Lasern, die eine Gefährdung durch Blendung hervorrufen können, sind hierzu sehr aufwendig. Die Reichweite ist von der Laserleistung, der Wellenlänge und der verwendeten Optik abhängig.

Eine grobe Abschätzung zeigen folgende drei Beispiele:

- Laserpointer mit einer Ausgangsleistung von 1 mW verursacht Blendung noch in einem Abstand von etwa 50-100 m.
- Laserpointer mit einer Ausgangsleistung von 50 mW verursacht Blendung noch in einem Abstand von 500-1000 m.
- Laserpointer mit einer Ausgangsleistung von 500 mW verursacht Blendung noch in einem Abstand von bis zu 5 km.

Die Gefährdung kann durch den Einsatz von einfachen Optiken (Linsensysteme) typischerweise um einen Faktor 10 erhöht werden.

Bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten, wie beim Fliegen eines Luftfahrzeugs (Flugzeug oder Hubschrauber) oder beim Lenken von Fahrzeugen (z. B. PKW, LKW, Bus, Straßenbahn, U-Bahn, Zug) kann durch Blendung von Lasern ein erhebliches Gefährdungspotenzial entstehen. Die Verbreitung von Lasern mit zunehmend höheren Leistungen steigt derzeit weiter und stellt eine wachsende potenzielle Gefährdung durch Schädigung der Augen und durch Blendung dar. Dabei kann das Sehvermögens, also insbesondere die Sehschärfe und das Farbsehen, vor allem bei Dunkelheit ganz besonders beeinträchtigt werden.

Die relativ leichte Zugänglichkeit bezüglich handgehaltener Laser (so genannte Laserpointer) relativ hoher Leistungen kann zu einer Veränderung der Sicherheitslage führen. Dabei kann es sich einerseits um unbeabsichtigte und unbedachte Laserstrahlexpositionen handeln; es ist aber auch nicht auszuschließen, dass solche Lasergeräte unkontrolliert oder gar fahrlässig z. B. auf Fahr- bzw. Flugzeuge gerichtet und dann z. B. Piloten oder Fahrzeuglenker mehr oder weniger stark geblendet werden, wie dies bereits wiederholt geschehen ist. Hatte man bis vor ein paar Jahren zunächst nur rote Laserpointer mit allenfalls ein paar Milliwatt an optischer Leistung, so sind heute Laserpointer nicht nur bei der besonders beliebten Farbe grün (532 nm, als frequenzverdoppelte Infrarot-Laser), sondern mittlerweile auch im blauen Wellenlängenbereich bei 445 nm und 405 nm erhältlich. Dabei werden teilweise schon handgehaltene Laser mit Leistungen von bis zu zwei Watt als Verbraucherprodukte illegal im Handel angeboten.

Während sich Flugzeuge im Allgemeinen beim Start und bei der Landung relativ weit weg von Personen befinden, die z. B. mit einem Laser auf Flugzeuge „zielen“ und die von einem Laserstrahl getroffenen Piloten im Cockpit zwar durchaus erschrecken und ablenken können, aber eigentlich keiner Gefährdung durch direkte Einwirkung der Laserstrahlung auf das Auge aussetzen, wenn man einmal von der Verwendung von Laserstrahlung aus Geräten mit Ausgangsleistungen im Wattbereich absieht, so werden sie aber dennoch durch die mit einer Blendung verbundenen Nachbilderscheinungen unter Umständen erheblich im Sehvermögen beeinträchtigt. Zurzeit ist das Wissen um solche Effekte insbesondere soweit es die Wirkung einer Blendung bei Dunkelheit betrifft, noch sehr gering und geeignete Abwehrmaßnahmen fehlen eigentlich.

An Hubschrauber aller Art und Straßen- sowie Schienenfahrzeuge können Personen mit Laserpointern aber meist viel näher herankommen, so dass in diesen Fällen beim Einsatz entsprechend leistungsstarker Geräte zur Blendung eine direkte Schädigung der Augen durch die Laserstrahlung durchaus hinzukommen kann, weil in diesen Fällen der Strahlquerschnitt noch so klein sein kann, dass die Leistungsdichte am Auge für eine Schädigung noch ausreicht, und zwar auch dann, wenn die Exposition nur relativ kurzzeitig erfolgt und das aktive Kopfwegdrehen und Augenschließen unter Umständen nicht mehr ausreichend schützen kann.

## 11. Begriffsbestimmungen

Begriffsbestimmungen können in folgenden Quellen nachgeschlagen werden (siehe auch Abschnitt 12, Informationsquellen und Literatur):

Laserbereich:	Der Bereich in dem die Expositionswerte für Augen und Haut überschritten werden können
NOHD:	(Norminal Ocular Hazard Distance) Sicherheitsabstand im Strahlengang, gemessen vom Strahlaustritt des Lasers bis an die Stelle, wo die Expositionsgrenzwerte unterschritten werden
Grund NOHD:	NOHD bezogen auf Blicken in den Strahl mit bloßen Augen
Erweiterte NOHD:	NOHD bezogen auf das Blicken in den Strahl durch optische Geräte mit vergrößernder Wirkung
Reduzierte NOHD:	NOHD bezogen auf Einstellungen am Gerät durch Anbringen von Zusatzvorrichtungen mit Intensitätsreduzierender Wirkung

## 12. Informationsquellen und Literatur

Die wichtigsten Unterlagen für den sicheren Umgang mit Laserstrahlung sind:

DIN EN 60825-1: "Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 1  
Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen"

Unfallverhütungsvorschrift "Laserstrahlung" (BGV B 2)

Informationsschrift Suva: Achtung, Laserstrahl. 66049.dlen 5031

Merkblatt M 080 der AUVA, [www.auva.at/merkblaetter](http://www.auva.at/merkblaetter)

- [1] Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960)
- [2] Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), ABl. L 114/38 vom 27.4.2006
- [3] Richtlinie 89/391/EWG des Rates vom 12. Juni 1989 über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit, ABl. Nr. L 183 vom 29/06/1989 S. 0001 – 0008
- [4] Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 15 Absatz 89 des Gesetzes vom 5. Februar 2009 (BGBl. I S. 160) geändert worden ist (ArbSchG)
- [5] Bundesrat, Drucksache 262/10 (Beschluss, 873. Sitzung) vom 09.07.10, Beschluss des Bundesrates, Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 2006/25/EG zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung und zur Änderung von Arbeitsschutzverordnungen
- [6] Handbuch der Rechtsförmlichkeit, Empfehlungen des Bundesministeriums der Justiz für die rechtsförmliche Gestaltung von Gesetzen und Rechtsverordnungen, 3. Auflage, BAnz 60 Nr. 160a vom 22. Oktober 2008, Bundesanzeiger Verlag, Köln

Detailliertere Informationen können aus folgenden Quellen gewonnen werden:

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 56 912	Sicherheitstechnische Anforderungen für Showlaser und Showlaser, Anlagen 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 60825-4 (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
DIN ISO 11 553-1	Sicherheit von Maschinen, Laserbearbeitungsmaschinen, Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderung (ISO 11 553-1:2005)
DIN ISO 11 553-2	Sicherheit von Maschinen, Laserbearbeitungsmaschinen; Teil 2 Sicherheitsanforderungen an handgeführte und handbediente Maschinen
DIN 5031-1	"Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik"
DIN 5031-10	"Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik; Teil 10: Fotobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren"
DIN V 18730	„Laser und Laseranlagen; Grundbegriffe der Lasertechnik!

Weitere Verordnungen und Richtlinien:

GPSG (Geräte- und Produktsicherheitsgesetz)

Explosionsschutz-Regeln (BGR 104)

Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Str. 449, 50939 Köln

Medizinproduktegesetz - MPG (BGBl. I S. 1963, v. 2.8.1994)

## Medizinprodukte-Betreiberverordnung

### Röntgenverordnung (RöV):

Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18. Juni 2002; BGBl. Nr. 36 vom 21. Juni 2002

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV): Bundesanzeiger BGBl. I, S. 2721, 1987

Merkblatt für die Auswahl und Anbringung elektromechanischer Verriegelungseinrichtung für Sicherheitsfunktionen (BGI), BG ETEM, Energie Textil Elektro- und Medienerzeugnisse, 50968 Köln, 1993

Bundesgesundheitsamt: Empfehlungen zur Vermeidung gesundheitlicher Strahlenrisiken bei der Anwendung von Soft- und MID-Lasern, Bundesgesundheitsblatt 30 Nr. 1, 1987

Grenzwerte am Arbeitsplatz, SUVA, 1903.d

WHO (World Health Organisation): "Lasers and Optical Radiation", in Environmental Health Criteria, No 23, Genf, 1982

ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection): Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths Between 180 nm and 1,000 µm; Health Physics 71 (1996), 804 – 819 Revision of the Guidelines on Limits of Exposure to Laser radiation at wavelengths between 400 nm and 1.4 µm, Health Physics Vol. 79, No 4, pp 431 - 440, 2000

### Bücher, Zeitschriften und Medien:

Sliney, D.; Wolbarsht, M.: Safety with Lasers and Other Optical Sources, Plenum Press, New York, Ausgabe 1985

Henderson, R.; Schulmeister, K.: Laser Safety, Taylor & Francis Group, New York, London, 2004,

Brunner, W.; Junge, K.: Lasertechnik; Hüthig, Heidelberg 1987

VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien: Lasersicherheit bei der Materialbearbeitung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990

Kneubühl, F./ Sigrist, M.: Laser; Teubner, Stuttgart November 1999 - 5., überarb. u. erg. A.

Sutter, E.: Schutz vor optischer Strahlung – Berlin 3. Auflage; Offenbach: VDE-Verlag, 2008

Berlien, H.-P.; Müller G.: Angewandte Lasermedizin; Ecomed-Verlagsgesellschaft, 1989

Multimedia CD „Lasersicherheit“, CD 5, BG ETEM Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Gustav-Heinemann Ufer 130, 50968 Köln; [www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)

Struve, B.; Becker, W.-J.; Bonfig, K.W.; Höing, K. (Hrsg.): Laser. Grundlagen, Komponenten, Technik; Technik Verlag, Berlin 2001

Reidenbach, H.-D.; Dollinger, K.; Hofmann, J.: Überprüfung der Laserklassifizierung unter Berücksichtigung des Lidschlussreflexes, 1. Auflage. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH 2003

### 13. Adressen

Beratung und Messungen bei Sicherheitsbetrachtungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lasern können durch die folgenden Stellen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) durchgeführt werden:

Fachbereich ETEM der DGUV, Geschäftsstelle: BGETEM Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Gustav-Heinemann Ufer 130, 50968 Köln; [www.bgetem.de](http://www.bgetem.de)

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt,  
Bereich Physik, Postfach, CH-6002 Luzern; [www.suva.ch](http://www.suva.ch)

VDE, Verein Deutscher Elektrotechniker, Prüfstelle,  
Offenbach, Merianstr. 28, 63069 Offenbach; [www.vde.de](http://www.vde.de)

TÜV, Technischer Überwachungsverein der Bundesländer,  
VdTÜV, Postfach 103834, 45145 Essen - [www.tuev-nord.de](http://www.tuev-nord.de) ; [www.tuev-sued.de](http://www.tuev-sued.de)

PTB, Physikalisch Technische Bundesanstalt,  
Laboratorium für Radiometrie, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig;  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,  
Gruppe Anlagen und Verfahrenstechnik, Friedrich-Henkel-Weg 1-25,  
44149 Dortmund; [www.baua.de](http://www.baua.de)

Fachhochschule Köln, Forschungsbereich Medizintechnik und Nichtionisierende Strahlung,  
Betzdorferstr. 2, 50679 Köln; [www.fh-koeln.de](http://www.fh-koeln.de)

freie Sachverständige (Auskunft erteilt die Industrie- und Handelskammer)

Institut für Medizinische Physik und Lasermedizin, Fabeckstr. 60-62, 14195 Berlin;  
[www.medizin.fu-berlin.de](http://www.medizin.fu-berlin.de)

Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Messtechnik an der Universität Ulm, Helmholtzstr. 12, 89081 Ulm; <http://www.ilm-ulm.de>

AUVA, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Abteilung HUB, Adalbert Stifter Str. 65, A-1200 Wien  
Internet: HYPERLINK "<http://www.auva.at>"

Seibersdorf Labor GmbH, A-2444 Seibersdorf  
Internet: HYPERLINK "<http://www.seibersdorf-laboratories.at>"