

Ausgabe: Juli 2018  
 GMBI 2018 S. 962 [Nr. 50–53]  
 Änderung: GMBI 2021 S. 1002 [Nr. 46]

<b>Technische Regeln          zur Arbeitsschutzver-          ordnung zu          künstlicher optischer          Strahlung</b>	<b>TROS          Laserstrahlung</b>	<b>Teil:          Allgemeines</b>
---	---	---------------------------------------

Die Technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Laserstrahlung) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Laserstrahlung wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben.

Diese TROS Laserstrahlung Teil „Allgemeines“ konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung und der Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnungen erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

## Inhalt

- 1 Anwendungsbereich
  - 2 Verantwortung und Beteiligung
  - 3 Gliederung der TROS Laserstrahlung
  - 4 Begriffsbestimmungen und Erläuterungen
  - 5 Der Laserschutzbeauftragte (LSB)
  - 6 Literaturhinweise
- Anhang 1 Grundlagen zur Laserstrahlung
- Anhang 2 Lasertypen und Anwendungen
- Anhang 3 Biologische Wirkung von Laserstrahlung
- Anhang 4 Laserklassen
- Anhang 5 Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen

## **1 Anwendungsbereich**

(1) Diese Technische Regel mit ihren Teilen (Allgemeines, Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung, Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung sowie Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung) dient dem Schutz der Beschäftigten vor direkten Gefährdungen der Augen und der Haut durch Laserstrahlung am Arbeitsplatz und behandelt auch den Schutz vor Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen (z. B. vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr).

(2) Die TROS Laserstrahlung gilt für Laserstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 1 mm.

(3) Der Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung erläutert den Anwendungsbereich der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) und enthält die wesentlichen Begriffe, die bei der Umsetzung der OStrV hinsichtlich Laserstrahlung relevant sind, sowie Angaben zu tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten durch Laserstrahlung.

Hinweis:

Bei Anwendungen, bei denen die Laserstrahlung das Betriebsgelände verlässt, wie z. B. bei der Übertragung von Informationen in Lichtwellenleitern gebunden oder im Freiraum, sind ggf. erforderliche Genehmigungen von zuständigen Behörden (z. B. Polizei, Ordnungsamt, Luftfahrtbehörde) einzuholen.

(4) Unabhängig von den in dieser TROS Laserstrahlung beschriebenen Vorgehensweisen sind vom Arbeitgeber die Beschäftigten oder ihre Interessenvertretung, sofern diese vorhanden ist, aufgrund der einschlägigen Vorschriften zu beteiligen.

## **2 Verantwortung und Beteiligung**

(1) Für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ist der Arbeitgeber verantwortlich. Sofern er nicht selbst über die erforderlichen Kenntnisse verfügt, muss er sich dabei fachkundig beraten lassen (fachkundige Personen nach § 5 OStrV). Der Arbeitgeber hat für den Umgang mit Lasern der Klassen 3R, 3B oder 4 einen Laserschutzbeauftragten (LSB) zu bestellen.

(2) Hinsichtlich der Beteiligungsrechte der betrieblichen Interessenvertretung gelten die Bestimmungen des Betriebsverfassungsgesetzes bzw. der jeweiligen Personalvertretungsgesetze.

## **3 Gliederung der TROS Laserstrahlung**

Die TROS Laserstrahlung gliedert sich in folgende Teile:

1. Teil Allgemeines
2. Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung
3. Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung
4. Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung

## 4 Begriffsbestimmungen und Erläuterungen

Es gelten die in § 2 OStrV festgelegten Begriffe. Im Folgenden werden zu wichtigen Begriffen nähere Erläuterungen gegeben (alphabetische Aufzählung).

### 4.1 Augensicherheitsabstand (NOHD englisch: *Nominal Ocular Hazard Distance*)

(1) Unter dem Augensicherheitsabstand versteht man die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist. Schließt man beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln ein, so wird vom erweiterten Augensicherheitsabstand (ENOHD) gesprochen.

(2) Zur Angabe des Abstandes gehört immer auch die Angabe der Expositionsdauer, die bei der Ermittlung angesetzt wurde.

### 4.2 Ausmaß

(1) Unter dem Ausmaß ist nach § 2 Absatz 9 OStrV die Höhe der Exposition durch Laserstrahlung zu verstehen.

(2) Je nach Wellenlängenbereich und zu vermeidender Wirkung (Schutzziel) wird das Ausmaß durch die Strahlungsgrößen Bestrahlungsstärke, Bestrahlung oder Strahldichte ausgedrückt.

### 4.3 Bestrahlung H

(1) Die Bestrahlung H (oder Energiedichte) ist das Integral der Bestrahlungsstärke E über die Zeit t. Sie ist gegeben durch den Zusammenhang:

$$H = \int_{t_1}^{t_2} E \cdot dt$$

Einheit: J · m<sup>-2</sup> (Joule pro Quadratmeter)

(2) Bei Expositionen an Arbeitsplätzen ist über die Expositionsdauer  $\Delta t = t_2 - t_1$  zu integrieren.

### 4.4 Bestrahlungsstärke E

(1) Die Bestrahlungsstärke E (oder Leistungsdichte) ist die auf eine Fläche fallende Strahlungsleistung dP je Flächeneinheit dA. Sie ist gegeben durch den Zusammenhang:

$$E = \frac{dP}{dA}$$

(2) Bei homogener Verteilung der Strahlungsleistung gilt:

$$E = \frac{P}{A}$$

Einheit: W · m<sup>-2</sup> (Watt pro Quadratmeter)

(3) In der Fachliteratur wird die Strahlungsleistung auch mit dem Formelzeichen  $\phi$ ,  $\varphi$  bzw.  $\phi_e$ ,  $\varphi_e$  bezeichnet.

## 4.5 Betriebszustände

In dieser TROS wird zwischen den Betriebszuständen Normalbetrieb (bestimmungsgemäßer Betrieb, bestimmungsgemäße Verwendung) und vom Normalbetrieb abweichenden Betriebszuständen, die in der Regel mit einer erhöhten Gefährdung verbunden sind, wie z. B. Wartung, Service, Einrichtvorgang, Prüfung, Errichtung und Außerbetriebnahme, unterschieden.

### 4.5.1 Normalbetrieb

Betrieb einer Laser-Einrichtung im gesamten Funktionsbereich, ohne z. B. Wartung und Service.

### 4.5.2 Wartung

Durchführung der Justierungen oder Vorgänge, die in den vom Hersteller mit der Laser-Einrichtung gelieferten Informationen für den Benutzer beschrieben sind und vom Benutzer ausgeführt werden, um die vorgesehene Funktion der Laser-Einrichtung sicherzustellen. Normalbetrieb und Service sind hierbei nicht enthalten. Nach den Herstellervorgaben darf bei der Wartung von Laser-Einrichtungen der Klassen 1, 1M, 2, 2M und 3R Strahlung der Klasse 3B und 4 nicht zugänglich werden. Bei der Wartung von Laser-Einrichtungen der Klasse 3B darf Strahlung der Klasse 4 nicht zugänglich werden.

Hinweis:

In der Literatur wird für die Wartung von Laserbearbeitungsmaschinen auch der Begriff „(vorbeugende) Instandhaltung“ benutzt (siehe z. B. DIN EN ISO 11553-1 [4]).

### 4.5.3 Service

Durchführung von Einrichtungs- oder Justierarbeiten, die in den Service-Unterlagen des Herstellers beschrieben sind und die in irgendeiner Art die Leistungsfähigkeit der Laser-Einrichtung beeinflussen können.

Hinweis:

In der Literatur wird für Service von Laserbearbeitungsmaschinen auch der Begriff „korrigierende Instandhaltung“ benutzt (siehe z. B. DIN EN ISO 11553-1 [4]).

## 4.6 Blick in eine ausgedehnte Quelle

Der Blick in eine ausgedehnte Quelle ist die Sehbedingung, bei der das Auge die scheinbare Quelle im Expositionsabstand (nicht kleiner als 100 mm) unter einem Winkel sieht, der größer als die kleinste Winkelausdehnung (Grenzwinkel)  $\alpha_{\min}$  ist. Beispiele sind der Blick auf diffuse Reflexionen und auf bestimmte Anordnungen von Laserdioden.

## 4.7 Dauerstrichlaser (*continuous-wave* (cw-)Laser)

Ein Dauerstrichlaser ist ein Laser mit kontinuierlicher Ausgangsleistung, der über einen Zeitraum von mindestens 0,25 s strahlt.

#### 4.8 Diffuse Reflexion

Unter diffuser Reflexion versteht man die Veränderung der räumlichen Verteilung eines Strahlungsbündels nach der Streuung durch eine Oberfläche oder eine Substanz in viele Richtungen. Ein vollkommen diffus streuendes Material zerstört jede Korrelation zwischen den Richtungen der einfallenden und der reflektierten Strahlung.

Hinweis:

In der Regel tritt diffus und gerichtet reflektierte Strahlung zusammen auf. Je geringer die Oberflächenrauigkeit und je größer der Einfallswinkel, desto höher ist der Anteil gerichteter reflektierter Strahlung (abhängig von der Wellenlänge).

#### 4.9 Direkter Blick in den Strahl

Der direkte Blick in den Strahl umfasst alle Sehbedingungen, bei denen das Auge einem direkten oder einem spiegelnd reflektierten Laserstrahl ausgesetzt ist, im Gegensatz zur Betrachtung von z. B. diffusen Reflexionen.

#### 4.10 Empfangswinkel $\gamma$

Der Empfangswinkel  $\gamma$  ist der ebene Winkel, innerhalb dessen ein Empfänger (optisches Messgerät) auf optische Strahlung anspricht, manchmal auch Messgesichtsfeld oder FOV (*field of view*) genannt. Der Empfangswinkel  $\gamma$  kann durch Blenden oder optische Elemente eingestellt werden. Die im Teil 2 der TROS Laserstrahlung verwendete Einheit für  $\gamma$  ist Milliradian (mrad).

#### 4.11 Exposition

Exposition im Sinne dieser TROS Laserstrahlung ist die Einwirkung von Laserstrahlung auf die Augen oder die Haut.

#### 4.12 Expositionsdauer $\Delta t$

Die Expositionsdauer  $\Delta t$  ist – im Unterschied zur täglichen Arbeitszeit – die tatsächliche Dauer der Einwirkung von Laserstrahlung auf die Augen oder die Haut während der Arbeitszeit. Sie ist Grundlage für die Ermittlung der Expositionsgrenzwerte.

#### 4.13 Expositionsgrenzwert (EGW)

Die Expositionsgrenzwerte nach § 2 Absatz 5 OStrV sind maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung. Diese sind im Anhang 4 Abschnitt A4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ aufgeführt.

Hinweis 1:

Der EGW ist das maximale Ausmaß der Laserstrahlung, dem das Auge oder die Haut ausgesetzt werden kann, ohne dass damit akute Gesundheitsschädigungen gemäß Tabelle A3.1 des Anhangs 3 dieser TROS verbunden sind. Zum Schutz vor langfristigen Schädigungen durch die kanzerogene Wirkung von UV-Strahlung ist das Minimierungsgebot nach § 7 OStrV besonders zu beachten.

Hinweis 2:

In anderen Schriften wird der Begriff „Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)“ für den EGW verwendet. Die Werte können sich unterscheiden.

**Hinweis 3:**

Auch bei täglichen Expositionsdauern von über 30 000 s (8 h 20 min) gilt der jeweilige Expositionsgrenzwert von 30 000 s (siehe Teil 2, Anhang 4 Abschnitt A4.1, Tabellen A4.4 und A4.5).

**4.14 Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen**

Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen sind alle negativen Auswirkungen von Laserstrahlung auf die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten, die nicht durch die Expositionsgrenzwerte für die Augen und die Haut abgedeckt sind. Dazu gehören z. B. vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr, Entstehung von Gefahrstoffen sowie alle möglichen Auswirkungen, die sich durch das Zusammenwirken von Laserstrahlung und fotosensibilisierenden chemischen Stoffen am Arbeitsplatz ergeben können.

**Hinweis:**

Gefährdungen durch die Laser-Einrichtung selbst, wie z. B. elektrische Gefährdungen, werden in dieser TROS nicht behandelt.

**4.15 Gekapselte Laser-Einrichtung**

Eine gekapselte Laser-Einrichtung ist eine Laser-Einrichtung, die aufgrund von Konstruktionsmerkmalen, die die zugängliche Laserstrahlung begrenzen, einer niedrigeren Klasse zugeordnet ist, als es den eigentlichen Werten des eingebauten Lasers entspricht. Die Kapselung wird im Text dieser TROS Laserstrahlung auch als Einhausung bezeichnet.

**Hinweis:**

Die Definition entspricht der Definition der DIN EN 60825-1 [1]. Deren Klassifizierungssystem basiert auf der zugänglichen Strahlung, die von der Laser-Einrichtung als verwendungsfertiges Produkt ausgeht, z. B. kann durch die Kapselung ein Laser der Klasse 4 in die niedrigere Klasse 3B oder ein Laser der Klasse 3R in die Klasse 2 eingestuft werden. Bei Materialbearbeitungslasern wird häufig durch Kapselung die Klasse 1 angestrebt.

**4.16 Gesamt-Strahlungsleistung  $P_0$  und Pulsspitzenleistung  $P_P$** 

- (1)  $P_0$  ist die von einem Dauerstrichlaser ausgestrahlte Gesamt-Strahlungsleistung oder die mittlere Strahlungsleistung eines wiederholt gepulsten Lasers.
- (2)  $P_P$  ist die Pulsspitzenleistung, d. h. die maximale Strahlungsleistung innerhalb eines Impulses eines gepulsten Lasers.

**4.17 Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS)**

Der Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) ist der Maximalwert der zugänglichen Strahlung, der gemäß DIN EN 60825-1 innerhalb einer bestimmten Laserklasse zugelassen ist. Es gilt jeweils der GZS der zum Zeitpunkt der Klassifizierung des Lasers gültigen Norm.

**4.18 Größter Grenzwinkel  $\alpha_{\max}$** 

Der größte Grenzwinkel  $\alpha_{\max}$  ist der Wert der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle, von dem ab die Expositionsgrenzwerte und die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung unabhängig von der Größe der Strahlungsquelle werden.

#### **4.19 Impulsdauer**

Die Impulsdauer ist das Zeitintervall zwischen den Halbwerten der Spitzenleistung in der ansteigenden und abfallenden Flanke eines Impulses.

#### **4.20 Impulslaser**

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

#### **4.21 Kleine Quelle**

Eine kleine Quelle ist eine Quelle, deren Winkelausdehnung  $\alpha$  kleiner oder gleich dem kleinsten Grenzwinkel  $\alpha_{\min}$  ist.

#### **4.22 Kleinster Grenzwinkel $\alpha_{\min}$**

Der kleinste Grenzwinkel  $\alpha_{\min}$  ist der Wert der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle, von dem ab die Quelle als ausgedehnte Quelle angesehen wird. Die Expositionsgrenzwerte und die Grenzwerte zugänglicher Strahlung sind unabhängig von der Größe der Strahlungsquelle für Winkelausdehnungen, die kleiner als  $\alpha_{\min}$  sind.

#### **4.23 Laserbereich**

Der Laserbereich ist der Bereich, in welchem die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können.

Hinweis:

Der Laserbereich muss sich nicht mit dem Arbeitsbereich decken.

#### **4.24 Laser-Einrichtungen**

Laser-Einrichtungen sind Geräte, Anlagen oder Versuchsaufbauten, mit denen Laserstrahlung erzeugt, übertragen oder angewendet wird.

Hinweis:

Laser-Einrichtungen können aus einer oder mehreren Laserstrahlungsquellen bestehen. In der Praxis findet man Begriffe wie Lasermaschine, Laseranlage usw.

#### **4.25 Laserklassen**

Die Laserklassen sind im Anhang 4 dieser TROS Laserstrahlung erläutert.

#### **4.26 Laserstrahlung**

Laserstrahlung ist jede elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich zwischen 100 nm und 1 mm, die als Ergebnis kontrollierter stimulierter Emission entsteht (siehe auch Anhang 1 dieser TROS Laserstrahlung).

#### **4.27 Lichtwellenleiter-Kommunikationssystem (LWLKS)**

Ein Lichtwellenleiter-Kommunikationssystem (LWLKS) ist ein verwendungsfertiges durchgehendes System zur Erzeugung, Übertragung und zum Empfang von optischer Strahlung aus Lasern, Licht emittierenden Dioden (LED) oder optischen Verstärkern, in dem die Übertragung durch Lichtwellenleiter für Kommunikations- oder Steuerungszwecke geschieht.

#### 4.28 Mögliche Gefährdung

Eine mögliche Gefährdung nach § 1 Absatz 1 OStrV liegt vor, wenn eine Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung nach Anhang 4 der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ nicht ausgeschlossen werden kann.

#### 4.29 Optische Dichte D

Logarithmus zur Basis 10 des reziproken Wertes des Transmissionsgrades  $\tau$ :

$$D = \log_{10} \frac{1}{\tau} = -\log_{10} \tau$$

#### 4.30 Optische Strahlung

(1) Optische Strahlung nach § 2 Absatz 1 OStrV ist jede elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm. Das Spektrum der optischen Strahlung wird unterteilt in ultraviolette (UV-)Strahlung, sichtbare Strahlung und infrarote (IR-)Strahlung (siehe Abbildung 1).

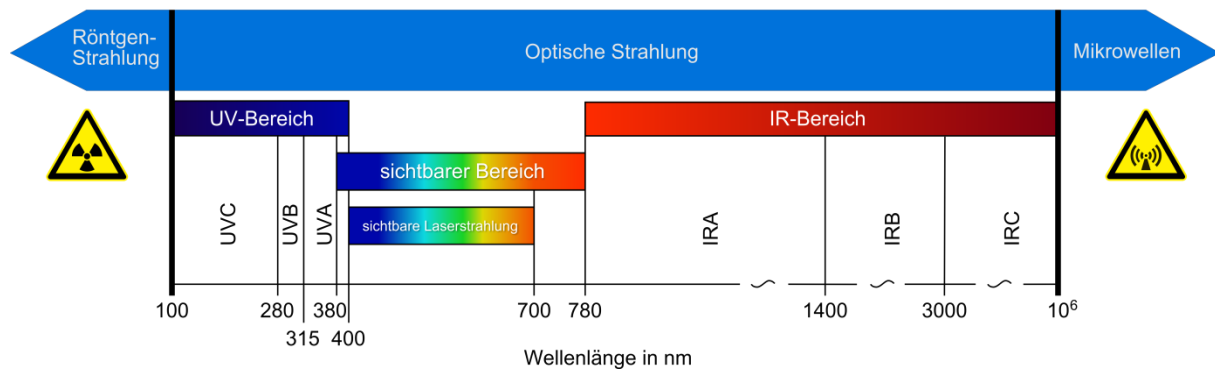


Abb. 1 Spektralbereiche der optischen Strahlung

(2) In der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) wurde für die langwellige Grenze des UV-A-Bereiches der Wert von 400 nm aus den Basis-Dokumenten der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP, englisch für Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung) übernommen. In anderen Dokumenten (z. B. in einigen Normen) wird diese Grenze entweder mit 380 nm oder mit 400 nm angegeben. Diese Unterscheidung bei der Angabe von unterschiedlichen Wellenlängenbereichen spielt jedoch bei der Anwendung der OStrV keine Rolle. Die Expositionsgrenzwerte sind hinsichtlich der Wellenlängengrenzen eindeutig definiert.

#### 4.31 Reflexionsgrad $\rho$

Der Reflexionsgrad  $\rho$  ist das Verhältnis der reflektierten Strahlungsleistung zur einfallenden Strahlungsleistung unter den gegebenen Bedingungen.

#### 4.32 Richtungsveränderliche Laserstrahlung (Scanning)

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



Hinweis:

Die Strahlung wird in der Regel wie ein Impulslaser mit einer feststehenden 7-mm-Blende, die das Auge simuliert, bewertet.

#### **4.33 Scheinbare Quelle**

Die „scheinbare Quelle“ ist die wirkliche oder scheinbare Laserstrahlungsquelle, welche die kleinstmögliche Abbildung auf der Netzhaut erzeugt bzw. erzeugen kann.

Hinweis:

Die Definition der scheinbaren Quelle wird verwendet, um den scheinbaren Ursprung der Laserstrahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm unter der Annahme zu bestimmen, dass sich die scheinbare Quelle im Akkommodationsbereich des Auges ( $\geq 100$  mm) befindet. Im Grenzfall verschwindender Divergenz, d. h. im Fall des ideal kollimierten Strahls, liegt die scheinbare Quelle im Unendlichen. Die Definition der scheinbaren Quelle wird im erweiterten Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm verwendet, da eine Bündelung durch übliche Linsen in diesem Bereich möglich ist.

#### **4.34 Schutzabschirmung**

Eine Schutzabschirmung ist eine Vorrichtung, die eine Gefährdung von Beschäftigten durch Laserstrahlung verhindern soll. Schutzabschirmungen haben in der Regel nur eine begrenzte Standzeit.

#### **4.35 Schutzgehäuse**

Ein Schutzgehäuse ist ein Teil einer Laser-Einrichtung (einschließlich Einrichtungen mit gekapselten Lasern), das dafür vorgesehen ist, den Zugang zu Laserstrahlung zu verhindern, welche die vorgeschriebenen Grenzwerte der zugänglichen Strahlung übersteigt (gewöhnlich vom Hersteller angebracht).

#### **4.36 Sicherheitsverriegelung**

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

#### **4.37 Sichtbare Laserstrahlung**

Sichtbare Laserstrahlung ist jede Laserstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 700 nm.

Hinweis:

Für breitbandige inkohärente Quellen wird die sichtbare Strahlung nach OStrV im Wellenlängenbereich von 380 nm und 780 nm definiert.

#### **4.38 Spiegelnde Reflexion**

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

#### 4.39 Strahl

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

#### 4.40 Strahldichte L

(1) Die Strahldichte L nach § 2 Absatz 8 OStrV ist der Strahlungsfluss oder die Strahlungsleistung P je Raumwinkel  $\Omega$  je Fläche  $A \cdot \cos \varepsilon$  (siehe Abbildung 2). Dies gilt bei homogener Verteilung der Strahlungsleistung. Die Strahldichte L ist gegeben durch den Zusammenhang:

$$L = \frac{P}{\Omega \cdot A \cdot \cos \varepsilon}$$

Einheit:  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$  (Watt pro Quadratmeter und Steradian)

(2) Durch  $\cos \varepsilon$  wird das Kosinusetz berücksichtigt, da bei der Ermittlung der Strahldichte die projizierte Fläche einzusetzen ist, d. h. die Fläche, die bei Betrachtung der Fläche unter einem Winkel  $\varepsilon$  gegenüber der Flächennormalen mit dem Kosinus von  $\varepsilon$  abnimmt. Bei  $\varepsilon = 0$  gilt:

$$L = \frac{P}{\Omega \cdot A}$$

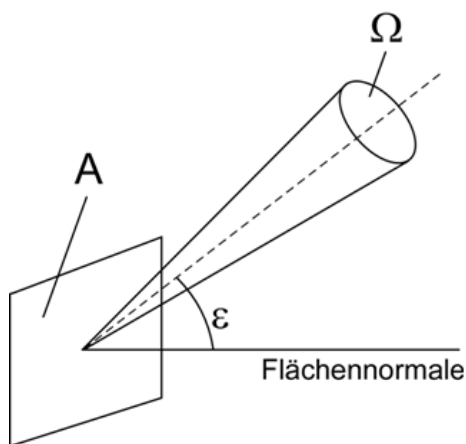


Abb. 2 Strahldichte L unter einem Winkel  $\varepsilon$

#### 4.41 Strahldivergenz $\varphi$

Die Strahldivergenz wird definiert als der ebene Winkel im Fernfeld, der durch den Kegel des Strahldurchmessers festgelegt ist. Wenn die Strahldurchmesser an zwei im Abstand r voneinander liegenden Punkten  $d_{63}$  und  $d'_{63}$  betragen, wird die Strahldivergenz  $\varphi_{63}$  (im Folgenden mit  $\varphi$  bezeichnet):

$$\varphi = 2 \cdot \arctan \frac{d_{63} - d'_{63}}{2 \cdot r}$$

Einheit: rad (Radiant)

#### 4.42 Strahldurchmesser $d_u$

Der Strahldurchmesser (Strahlbreite)  $d_u$  an einem Punkt im Raum ist der Durchmesser des kleinsten Kreises, der  $u$  % der gesamten Strahlungsleistung (oder Energie) umfasst. In dieser TROS wird  $d_{63}$  benutzt. Für ein Gauß'sches Strahlenbündel entspricht  $d_{63}$  den Punkten, an denen die Bestrahlungsstärke auf  $1/e$  des Maximalwertes gefallen ist.

#### 4.43 Strahlungsenergie $Q$

Die Strahlungsenergie  $Q$  ist das Zeitintegral der Strahlungsleistung  $P$  über eine bestimmte Zeitdauer  $\Delta t = t_2 - t_1$ :

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt$$

Einheit: J (Joule)

#### 4.44 Strahlungsleistung $P$

Die Strahlungsleistung  $P$  ist die in Form von Strahlung ausgesandte, durchgelassene oder empfangene Leistung.

$$P = \frac{dQ}{dt}$$

Einheit: W (Watt)

#### 4.45 Tatsächliche Gefährdung

Eine tatsächliche Gefährdung nach § 1 Absatz 1 OStrV liegt durch direkte Einwirkung vor, wenn die Exposition durch Laserstrahlung so hoch ist, dass die Expositionsgrenzwerte ohne die Anwendung von Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung nach § 7 OStrV überschritten werden. Dies gilt z. B. für den direkten Blick in den Laserstrahl einer Laser-Einrichtung der Klasse 3R oder 3B oder bereits bei diffuser Laserstrahlung, wenn diese aus einem Laser der Klasse 4 stammt. Eine tatsächliche Gefährdung kann auch eine Gefährdung durch indirekte Auswirkungen sein (z. B. als Folge einer vorübergehenden Blendung, Brand- oder Explosionsgefahr).

#### 4.46 Transmissionsgrad $\tau$

Der Transmissionsgrad  $\tau$  ist das Verhältnis der durchgelassenen zur einfallenden Strahlungsleistung.

#### 4.47 Überwachung des sicheren Betriebs

Die Überwachung des sicheren Betriebs von Lasereinrichtungen umfasst die Überprüfung und Anwendung von Verfahren und Anweisungen, einschließlich der Wartung der Anlagen, für Verfahren, Einrichtung und zeitlich begrenzte Unterbrechungen. Dafür bestimmt der Arbeitgeber die entsprechenden Prozesse und Aufgaben. Wichtige Elemente der betrieblichen Überwachung sind: Anweisungen, Kontrollen, Instandhaltung, Freigabeverfahren und Kommunikation zwischen Mitarbeitern und externen Firmen.

#### **4.48 Winkelausdehnung $\alpha$**

Die Winkelausdehnung  $\alpha$  ist der Winkel, unter dem die scheinbare Quelle von einem Raumpunkt aus erscheint. In dieser TROS wird die Winkelausdehnung von einem Punkt in 100 mm Abstand von der scheinbaren Quelle aus bestimmt (oder am Austrittsfenster der Linse der Laser-Einrichtung, falls die scheinbare Quelle in einem Abstand größer als 100 mm innerhalb des Fensters oder der Linse liegt). Für eine Analyse der maximal zulässigen Bestrahlung wird die Winkelausdehnung durch den Beobachtungsabstand von der scheinbaren Quelle bestimmt, sofern er mindestens 100 mm beträgt. Die Winkelausdehnung einer scheinbaren Quelle ist nur im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm, dem Bereich für die Gefährdung der Netzhaut, anwendbar.

Hinweis:

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

## **5 Der Laserschutzbeauftragte (LSB)**

### **5.1 Anforderungen und Aufgaben des LSB**

(1) Der LSB verfügt

1. über eine abgeschlossene technische, naturwissenschaftliche, medizinische oder kosmetische Berufsausbildung  
oder
2. über eine vergleichbare, mindestens zweijährige Berufserfahrung.

Der LSB besitzt die notwendigen Erfahrungen und Fachkenntnisse zur Wahrnehmung seiner Aufgaben gemäß § 5 Absatz 2 der OStrV. Die konkreten Anforderungen an diese Erfahrungen und Fachkenntnisse hängen von der Anwendung und Komplexität der Laser-Einrichtung ab, für die er bestellt wird. Der LSB hat bereits eine praktische berufliche Tätigkeit ausgeübt.

Hinweis:

Der LSB kann über die in Abschnitt 5.1 Absatz 1 genannten Anforderungen hinaus zusätzlich nach § 2 Absatz 10 der OStrV fachkundig sein, vgl. auch Abschnitt 3.5 des Teils 1 der TROS Laserstrahlung.

(2) Der LSB hat an einem entsprechenden Lehrgang teilgenommen, die Abschlussprüfung bestanden und besitzt einen Nachweis über die erfolgreiche Teilnahme. Er hält seine Fachkenntnisse durch regelmäßige Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen auf aktuellem Stand.

Hinweis:

Die zeitlichen Abstände zwischen den Fortbildungsmaßnahmen hängen davon ab, inwieweit sich der Stand der Technik im Hinblick auf die eingesetzten Laserprodukte oder die Vorschriften weiterentwickelt haben. Grundsätzlich wird eine eintägige Fortbildung in einem Zeitraum von fünf Jahren als angemessen erachtet.

(3) Der LSB ist schriftlich zu bestellen. Mit der Bestellung überträgt der Arbeitgeber ihm konkrete Aufgaben, Befugnisse (z. B. zur Abschaltung der Laser-Anlage bei festgestellten Mängeln) und Pflichten im Hinblick auf den Schutz vor Laserstrahlung. Sind mehrere LSB bestellt, sind durch den Arbeitgeber die Zuständigkeitsbereiche (z. B. zeitlich/räumlich) der einzelnen LSB klar abzugrenzen. Die Verantwortung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und für die Durchführung von Schutzmaßnahmen verbleibt beim Arbeitgeber.

(4) An Arbeitsplätzen mit Laser-Einrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 unterstützt der LSB durch seine Fachkenntnisse den Arbeitgeber bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung sowie bei der Festlegung und Durchführung von Schutzmaßnahmen. Der LSB unterstützt den Arbeitgeber bei der Überwachung des sicheren Betriebs der in seinem Zuständigkeitsbereich vorhandenen Laser-Einrichtungen durch regelmäßige Kontrollen der Schutzmaßnahmen. Art, Umfang und Häufigkeit der Kontrollen sowie die eventuelle Notwendigkeit einer dauerhaften Anwesenheit legt der Arbeitgeber in Abstimmung mit dem LSB in Abhängigkeit vom Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung fest. Stellt der LSB Abweichungen vom sicheren Betrieb fest, hat er den Arbeitgeber zu informieren und auf die Durchsetzung der erforderlichen Maßnahmen zum sicheren Betrieb hinzuwirken. Bei unmittelbarer Gefahr ist gemäß § 9 Absatz 2 Satz 2 ArbSchG zu handeln.

(5) Der LSB arbeitet mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit und dem Betriebsarzt zusammen.

(6) Der LSB kennt ggf. entsprechend der Tätigkeit bzw. eingeschränkt auf den entsprechenden Anwendungsbereich

1. die grundlegenden Regelwerke des Arbeitsschutzes (ArbSchG, OStrV, Unfallverhütungsvorschriften, Technische Regeln, Normen und ggf. spezielle Regelungen zum Laserschutz),
2. die Kenngrößen der Laserstrahlung,
3. die direkten Gefährdungen (direkte und reflektierte Laserstrahlung) und deren unmittelbare biologische Wirkungen sowie die indirekten Gefährdungen (vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefährdung, Lärm, elektrische Gefährdung) bei Arbeitsplätzen mit Anwendung von Laserstrahlung,
4. die grundlegenden Anforderungen an eine Gefährdungsbeurteilung,
5. die Gefährdungsbeurteilungen für die Arbeitsplätze, für die er als LSB benannt ist,
6. die Schutzmaßnahmen (technische, organisatorische und persönliche),
7. seine Rechte und Pflichten als LSB,
8. die Laserklassen gemäß DIN EN 60825-1 [1],
9. die Bedeutung der Expositionsgrenzwerte der OStrV,
10. die Inhalte der Unterweisung nach § 8 OStrV sowie
11. den Ablauf des sicheren Betriebs der Laser-Einrichtungen, für die er bestellt ist und weiß, wie dieser zu überwachen ist.

(7) Im Rahmen seiner Tätigkeit unterstützt der LSB den Arbeitgeber bei der Unterweisung der Beschäftigten.

Hinweis:

Die Aufgaben des und die Anforderungen an den Fachkundigen für die Gefährdungsbeurteilung sowie für Messung/Berechnung sind im Abschnitt 3.5 des Teils 1 der TROS Laserstrahlung beschrieben. Es ist möglich, dass die Funktionen des Fachkundigen für die Gefährdungsbeurteilung und des LSB von ein und derselben Person wahrgenommen werden.

## **5.2 Anforderung an die Kurse und Prüfung**

### **5.2.1 Anforderungen an den Kursveranstalter**

(1) Die Anforderungen an die Kurse und Prüfungen legt der Lehrgangsträger unter Bezugnahme auf Nummer 5.2.3 fest.

(2) Die Prüfungsunterlagen müssen vom Kursveranstalter mindestens fünf Jahre zur Einsicht aufbewahrt werden.

### **5.2.2 Ausbildungsinhalte**

(1) Aufgrund der unterschiedlichen Arten der Anwendung von Laser-Einrichtungen im Betriebsalltag werden zwei Arten von Kursen vorgesehen, über deren erfolgreiche Absolvierung eine Qualifizierung zum LSB erfolgen kann.

(2) Der allgemeine Kurs berechtigt die erfolgreichen Absolventen zur umfassenden anwendungsübergreifenden Wahrnehmung der Funktion des LSB. Vorgesehen sind diese Kurse für größere Firmen und Institutionen mit unterschiedlichen Laseranwendungen und einem umfangreicheren Sicherheitsmanagement.

(3) Darüber hinaus werden anwendungsbezogene Kurse angeboten. Diese Kurse sind zeitlich weniger umfangreich und berechtigen die Absolventen zur Wahrnehmung der Funktion des LSB bei speziellen Anwendungen von Laser-Einrichtungen. Denkbar ist dieses Angebot in den Anwendungsfeldern Kosmetik, Vermessung, Showlaser sowie bei technischen Anwendungen. Der geringere zeitliche Aufwand ergibt sich aufgrund der Anpassung der Lehrgangsinhalte auf den jeweiligen Anwendungsbereich.

Tab. 1 Beispiel für Inhalt und Dauer der Lehreinheiten (1 LE = 45 min) für allgemeine Kurse bei Anwendung von Laser-Einrichtungen in der Medizin und in der Technik

Inhalt	Laser-Einrichtungen in der Medizin, Umfang in LE	Laser-Einrichtungen in der Technik, Umfang in LE
Physikalische Größen und Eigenschaften der Laserstrahlung	1	1
Biologische Wirkung von Laserstrahlung	2	1
Rechtliche Grundlagen und Regeln der Technik	2	2
Laserklassen, Grenzwerte, Gefährdungen (direkte/indirekte)	2	2
Auswahl und Durchführung von Schutzmaßnahmen	3	3
Aufgaben und Verantwortung des LSB im Betrieb	1	1
Inhalte und Beispiele zur Gefährdungsbeurteilung	2	3
Prüfung	1	1
Lehreinheiten (LE = 45 min) gesamt	<b>14</b>	<b>14</b>
in Zeitstunden:	<b>10,5 h</b>	<b>10,5 h</b>

Tab. 2 Beispiel für Inhalt und Dauer der Lehreinheiten für anwendungsbezogene Kurse

Inhalt	Umfang für anwendungsbezogene Kurse in LE
Physikalische Größen und Eigenschaften der Laserstrahlung	1
Biologische Wirkung von Laserstrahlung	1
Rechtliche Grundlagen und Regeln der Technik	1
Lasersicherheit und -schutz (inkl. indirekte Gefährdungen)	3
Praxis Lasersicherheit: Beispielhafte Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung	1
Aufgaben und Verantwortung des LSB im Betrieb	1
Prüfung	0,5
Lehreinheiten (LE = 45 min) gesamt	<b>8,5</b>
in Zeitstunden:	<b>6,5 h</b>

### 5.2.3 Prüfungen

(1) Die Prüfung am Ende des Kurses in Form eines Multiple-Choice-Tests enthält mindestens 15 Fragen.

(2) In der Regel gilt die Prüfung als bestanden, wenn mindestens 70 % der Fragen richtig beantwortet wurden.

(3) Wurde die schriftliche Prüfung nicht bestanden, aber mindestens 50 % der Fragen richtig beantwortet, kann durch eine erfolgreiche mündliche Prüfung das Lehrgangziel erreicht werden.

(4) Der Teilnehmer, der mit Erfolg an diesem Kurs teilgenommen hat, hat die Fachkenntnisse als LSB gemäß OStrV. Auf der Urkunde ist ggf. zu vermerken, wenn ein gerätespezifischer Kurs durchgeführt wurde und für welche Anwendungen bzw. Laser-Einrichtungen die besonderen Kenntnisse erworben wurden.

### **5.3 Anzahl der Laserschutzbeauftragten**

Für die Überwachung des sicheren Betriebs von Laser-Einrichtungen sind erforderlichenfalls mehrere Laserschutzbeauftragte zu bestellen. Folgende Punkte können die Bestellung mehrerer Laserschutzbeauftragter erfordern:

- Komplexität der Aufgabenstellung (z. B. wechselnde Aufbauten, häufige Justierung, Einsatz von Fremdfirmen, unterschiedliche Fachbereiche u. a. in Krankenhäusern, mobiler Einsatz von Lasern)
- Schichtarbeit, Vertretung bei Abwesenheit
- mehrere Betriebsorte mit Laser-Einrichtungen
- Anzahl der Laser-Einrichtungen mit hoher Gefährdung (z. B. hohe optische Leistung, Strahlengang nicht sichtbar)

## **6 Literaturhinweise**

- [1] DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
- [2] DIN EN 60825-2:2011-06: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)
- [3] DIN EN 60825-4:2011-12: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
- [4] DIN EN ISO 11553-1:2009-03: Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
- [5] Udovicic, L.; Mainusch, F.; Janßen, M.; Ott, G.: Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2013)

### Weitere Literaturquellen

- Sutter, E.: Schutz vor optischer Strahlung, VDE-Verlag, Berlin (2008)
- Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung, Health Protection Agency im Auftrag der EU-Kommission (2010) <http://bookshop.europa.eu/en/non-binding-guide-to-good-practice-for-implementing-directive-2006-25-ec-pbKE3010384/>



## Anhang 1

### Grundlagen zur Laserstrahlung

(1) Das Wort **Laser** ist eine Abkürzung und setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der englischen Bezeichnung **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** zusammen, zu Deutsch: „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“. Dies beschreibt einen physikalischen Vorgang, der zur Erzeugung von Laserstrahlung führt. Dabei werden im ersten Schritt Atome oder Moleküle eines Lasermaterials („aktives Medium“) durch Energiezufuhr angeregt. Diesen Vorgang bezeichnet man als „Pumpen“ (Abbildung A1.1). Als aktives Medium können Gase, Flüssigkeiten oder Festkörper verwendet werden. Die Energiezufuhr kann je nach aktivem Medium durch elektrische Gasentladungen, Blitzlampen, eine angelegte Spannung oder einen Laserstrahl eines anderen Lasers erfolgen. Die angeregten Atome oder Moleküle geben Lichtteilchen (Photonen) ab und kehren dabei wieder in den nicht angeregten Zustand zurück. Treffen diese Photonen auf andere Atome oder Moleküle im angeregten Zustand, so können diese mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ebenfalls Photonen abgeben, die mit den aufgetroffenen Photonen in Frequenz, Phase und Richtung übereinstimmen. Dieser als „stimulierte Emission“ bezeichnete Vorgang läuft in einem optischen Resonator ab. Solch ein Resonator ist z. B. ein Rohr, an dessen beiden Enden je ein Spiegel die Strahlung reflektiert. Diese durchläuft so mehrmals das aktive Medium und regt bei jedem Durchgang weitere Atome oder Moleküle zur Abgabe von Photonen an. Einer der beiden Spiegel ist teildurchlässig (Ausgangsspiegel), sodass ein Teil der Strahlung ausgekoppelt werden kann.

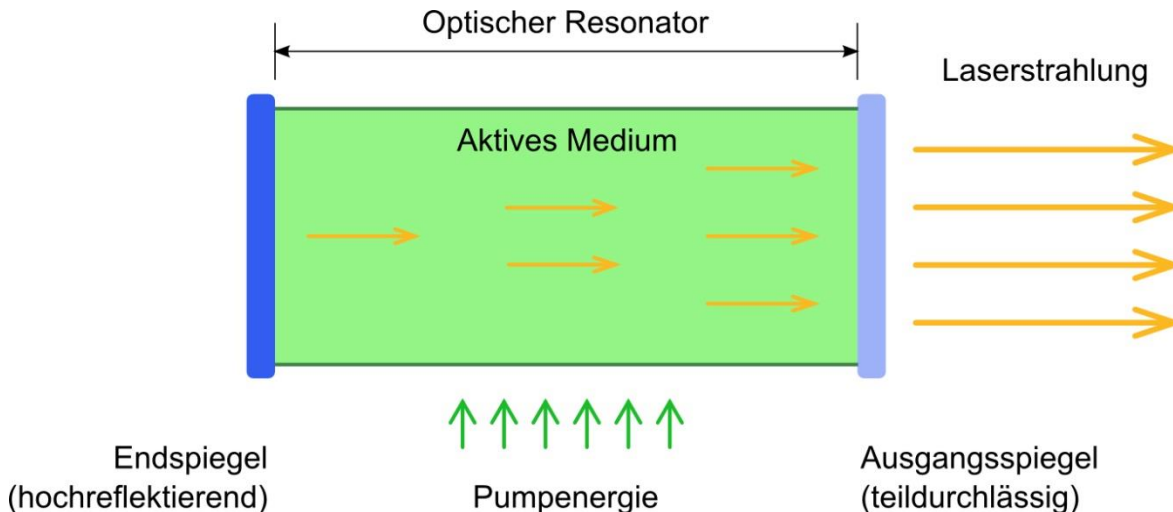


Abb. A1.1 Das Prinzip eines Lasers

(2) Die Laserstrahlung unterscheidet sich von der Strahlung anderer künstlicher Strahlungsquellen, wie z. B. Glühlampen oder Licht emittierenden Dioden (LED), im Wesentlichen durch die folgenden Eigenschaften:

1. **Kohärenz:** zeitlich und räumlich feste Phasenbeziehung der Wellen;
2. **Monochromasie:** die Laserstrahlung weist exakt eine Wellenlänge auf („Einfarbigkeit“, Schmalbandigkeit);
3. **Parallelität:** der Laserstrahl weist eine äußerst geringe Divergenz auf (typische Strahldivergenz  $\varphi = 0,001 \text{ rad} = 1 \text{ mrad}$ ) und
4. **hohe Bestrahlungsstärke:** die Kombination dieser drei Eigenschaften führt dazu, dass ein Laserstrahl ca. 100 mal besser fokussiert werden kann als die Strahlung konventioneller optischer Strahlungsquellen.

(3) Laserstrahlung kann technisch in den Wellenlängenbereichen der optischen Strahlung zwischen 100 nm und 1 mm (Tabelle A1.1) realisiert werden: vom ultravioletten Bereich (UV-Bereich) über die sichtbare optische Strahlung (Licht) bis hin zum Infrarotbereich (IR-Bereich). Soweit Strahlung mit Wellenlängen unterhalb von 100 nm erzeugt wird, gelten die Bestimmungen gemäß dem Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) bzw. der auf Grundlage dieses Gesetzes erlassenen Verordnung.

(4) Laser, die mit einer Strahlungsdauer von mehr als 0,25 s emittieren, werden als Dauerstrichlaser (cw von *continuous wave*) bezeichnet. Impulslaser senden je nach Typ und Anwendung Impulse im Bereich von Femtosekunden bis 0,25 s aus. Die Impulswiederhol frequenzen sind von Lasertyp zu Lasertyp bei den unterschiedlichen Betriebsweisen verschieden.

Tab. A1.1 Wellenlängenbereiche der optischen Strahlung

Wellenlängenbereich	Wellenlänge in nm
Ultraviolett C (UV-C)	100 bis 280
Ultraviolett B (UV-B)	280 bis 315
Ultraviolett A (UV-A)	315 bis 400
Sichtbarer Bereich	380 bis 780
Sichtbare Laserstrahlung	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

## Anhang 2

### Lasertypen und Anwendungen

(1) Je nach verwendetem aktiven Medium gibt es verschiedene Lasertypen: Gas-, Festkörper-, Flüssigkeits- bzw. Farbstofflaser. In den Tabellen A2.1 und A2.2 sowie in Abbildung A2.1 sind die Laserarten mit ihren typischen Kennwerten und Anwendungsgebieten dargestellt.

Tab. A2.1 Gaslaser (Beispiele)

Lasermedium	Wellenlänge in $\mu\text{m}$	Dauerstrichbetrieb Typische Ausgangsleistung in W	Impulsbetrieb Typische Ausgangsenergie in J	Anwendungsbeispiele
Stickstoff ( $\text{N}_2$ )	0,3371		$0,12 \cdot 10^{-3}$ – $1 \cdot 10^{-3}$	optisches Pumpen von Farbstofflasern
Edelgas- Halogenid (Excimer)	ArF 0,1931 KrF 0,2484 XeCl 0,308 XeF 0,351		0,1–1	Materialbearbeitung, Spektroskopie, Medizin, optisches Pumpen von Farbstofflasern
Helium-Neon (He:Ne)	dominante Linie: 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, optisches Pumpen von Farbstofflasern
Krypton ( $\text{Kr}^+$ )	Linien von 0,324 bis 0,858	0,5–12		Spektroskopie, Fotolithografie, optisches Pumpen von Farbstofflasern, Medizin
Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )	10,6	$1 \cdot 10^3$ – $30 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^3$	Materialbearbeitung, LiDAR, Medizin, Spektroskopie

Tab. A2.2 Festkörper-, Halbleiter- und Farbstofflaser (Beispiele)

Lasermedium	Wellenlänge in $\mu\text{m}$	Dauerstrichbetrieb Typische Ausgangsleistung in W	Impulsbetrieb Typische Ausgangsenergie in J	Anwendungsbeispiele
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)	0,25–30	bis 50 000		Materialbearbeitung, Messung
ZnSSe/ZnSe CdZnSe InGaN AlGaIn/GaN InGaN AlGaInP/GaAs InGaAs/GaAs InGaAsP/InP GaInSn GaInSb/GaSb Pb- Chalkogenide	0,25–0,36 0,3–0,4 0,39–0,41 0,4–0,5 0,515–0,535 0,6–0,7 0,7–0,88 0,9–1,1 1,3–1,5 2,1–4 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

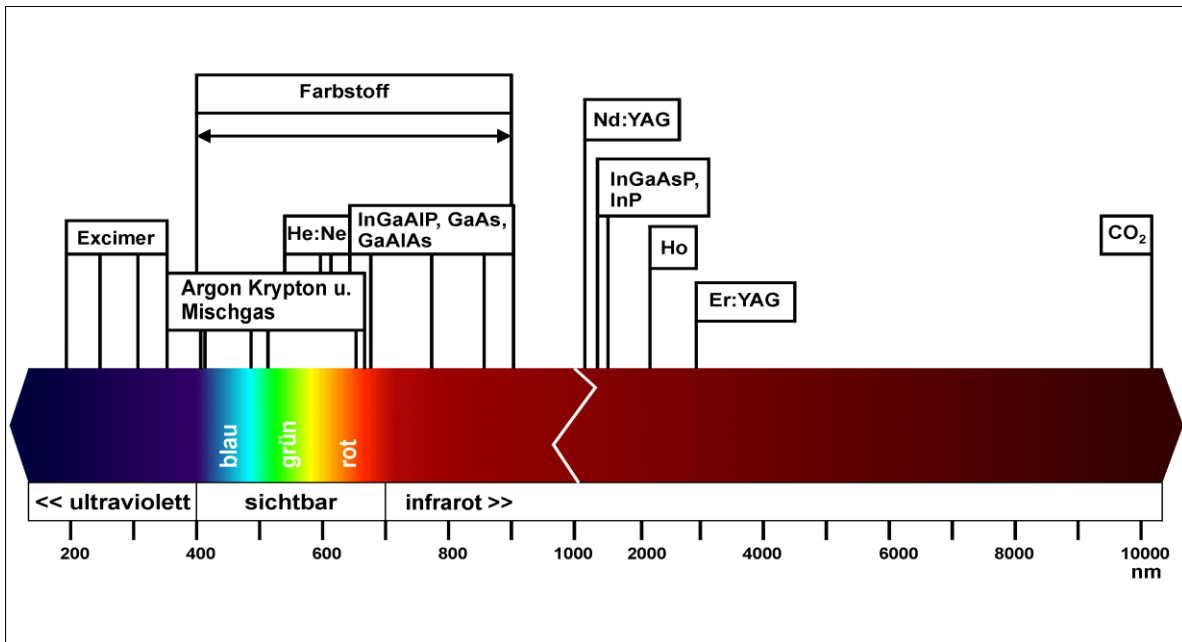


Abb. A2.1 Übersicht der Laserarten nach Wellenlängen

(2) Laser 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. Tabelle A2.3 gibt einen Überblick über einige Laseranwendungen.

Tab. A2.3 Laseranwendungen

Kategorie	Anwendungsbeispiele
<b>Materialbearbeitung</b>	Schneiden, Schweißen, Lasermarkierung, Bohren, Fotolithografie, schnelle Fertigung
<b>Optische Messverfahren</b>	Geschwindigkeits- und Distanzmessung, Fernmessung atmosphärischer Parameter (LiDAR), Landvermessung, Laser-Schwingungsmessung, elektronische Specklemuster Interferometrie (E-SPI), Glasfaser-Hydrophone, Hochgeschwindigkeitskinematographie, Partikelgrößenanalyse
<b>Medizinische Anwendungen</b>	Augenheilkunde, Refraktive Chirurgie, Fotodynamische Therapie, Dermatologie, Laserskalpell, Gefäßchirurgie, Zahnheilkunde, medizinische Diagnostik
<b>Kommunikation</b>	Informationsübertragung über Fasern, über den Freiraum, über Satelliten
<b>Optische Informationsspeicher</b>	CD/DVD, Laser-Drucker
<b>Spektroskopie</b>	Identifikation von Stoffen
<b>Holographie</b>	Unterhaltung, Informationsspeicher
<b>Unterhaltung</b>	Laser-Show, Laserpointer

## Anhang 3

### Biologische Wirkung von Laserstrahlung

#### A3.1 Schädigende Wirkungen optischer Strahlung

(1) Optische Strahlung dringt in menschliches Gewebe nur oberflächlich ein, die inneren Organe werden nicht erreicht. Deswegen ist die Wirkung optischer Strahlung auf die Augen und die Haut begrenzt. Hochenergetische Laser zur Materialbearbeitung können jedoch in kurzer Zeit die Haut und die darunterliegenden Gewebestrukturen durch Abtragung durchdringen. Die inkohärente Strahlung aus konventionellen optischen Strahlungsquellen und die kohärente Strahlung (Laserstrahlung) unterscheiden sich dabei grundsätzlich nicht in ihren Wirkungen. Art und Schwere einer Schädigung ist abhängig von der Bestrahlungsstärke (durch starke Bündelung der Laserstrahlung können hohe Bestrahlungsstärken erreicht werden), der Bestrahlungsdauer sowie der bestrahlten Fläche und den optischen Eigenschaften des Gewebes, hier vor allem von seinem Absorptionsvermögen. Die Absorption ist wiederum von der Wellenlänge abhängig, was mit den unterschiedlichen optischen Eigenschaften der Gewebekomponenten zusammenhängt. Während kurzwellige UV-Strahlung und langwellige IR-Strahlung bereits an der Oberfläche absorbiert werden, dringt Strahlung in den Spektralbereichen der sichtbaren Strahlung und der IR-A-Strahlung tiefer ein.

(2) Bei einer Bestrahlungsdauer im Minutenbereich sowie geringen Bestrahlungsstärken ( $< 50 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ )<sup>1</sup> können fotochemische Effekte im Gewebe ausgelöst werden. Bei diesen Effekten wird die Energie der einfallenden optischen Strahlung in chemische Reaktionsenergie umgesetzt. Fotochemische Effekte dominieren bei ausreichender Photonenenergie, d. h. vor allem bei optischer Strahlung im UV- und kurzweligen sichtbaren Spektralbereich. Bestimmte biologische Moleküle absorbieren dabei die auftreffende Strahlung, werden dadurch angeregt und geben ihre Energie an Sauerstoff-Moleküle ab. Dadurch entsteht eine hochreaktive Form des Sauerstoffs (Singulett-Sauerstoff). Dieser greift das umliegende Gewebe an und erzeugt freie Radikale, die ebenfalls hochreaktiv sind und umgebende zelluläre Moleküle wie Proteine oder die Erbsubstanz Desoxyribonukleinsäure (DNS) schädigen können. Optische Strahlung im kurzweligen UV-Spektralbereich hat sogar ausreichend Photonenenergie, um eine direkte Schädigung der DNS hervorzurufen, indem chemische Bindungen gespalten und dadurch Bausteine der DNS anders verknüpft werden. Derartige Schädigungen der DNS können krebserregend wirken. Des Weiteren können eine Reihe chemischer Verbindungen und Medikamente das biologische Gewebe für die fotochemische Wirkung von optischer Strahlung sensibilisieren. Dadurch können heftige biologische Reaktionen, sogenannte fototoxische Reaktionen, auftreten.

---

<sup>1</sup>  $1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

(3) Bei einer Bestrahlungsdauer von einigen Sekunden bis zu einigen Millisekunden und Bestrahlungsstärken oberhalb von  $100 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  sind thermische Effekte zu beobachten. Sie dominieren im langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und im IR-Spektralbereich: Die im Gewebe enthaltenen Moleküle führen verstärkt Schwingungen aus, was zur Erwärmung des Gewebes führt. Die entstehende Wärme wird auf das umliegende Gewebe übertragen. Aufgrund einer lokalen Temperaturüberhöhung können Schädigungen entstehen. Diese reichen von einer Veränderung der natürlichen Molekülstruktur (Denaturierung), über die Gerinnung von Eiweiß (Koagulation) und die Verdampfung (Vaporisation) des Wassers im Gewebe bis hin zur Verkohlung (Karbonisierung) des Gewebes.

(4) Es besteht ein prinzipieller Unterschied zwischen thermischen und fotochemischen Wirkungen: Bleibt bei thermischer Wirkung die Temperatur des Gewebes auch bei länger andauernder Absorption von Photonen unterhalb eines Schwellenwertes, so ist keine Schädigung zu befürchten. Andererseits kann bei fotochemischer Wirkung die Absorption bereits eines Photons zur Schädigung auf molekularer Ebene führen. Diese Schädigungen bzw. Veränderungen sind kumulativ.

(5) Bei weiter erhöhter Bestrahlungsstärke bis  $1 \text{ GW} \cdot \text{cm}^{-2}$  und einer Verkürzung der Impulsdauer auf Mikro- bis Nanosekunden verdampft das Gewebe, es wird praktisch explosionsartig abgetragen (Fotoablation). Bei noch weiterer Verkürzung der Impulsdauer auf Werte im Nano- bis Pikosekundenbereich und gleichzeitiger Erhöhung der Bestrahlungsstärken auf  $1 \text{ TW} \cdot \text{cm}^{-2}$  entsteht Plasma, d. h. freie Elektronen, Ionen und neutrale Atome bzw. Moleküle. Dieser Prozess wird von einer akustischen Stoßwelle begleitet, die sich ausbreitet und das Gewebe mechanisch zerstört. In diesem Fall spricht man von Fotodisruption.

### **A3.2 Gefährdungen des Auges**

(1) Das am meisten gefährdete Organ beim Umgang mit optischer Strahlung ist das Auge (Abbildung A3.1). Die Hornhaut (*Cornea*), die selbst etwa 75 % Wasser enthält, ist nach außen nur durch einen wenige Mikrometer dicken Film aus Tränenflüssigkeit gegen die Luft geschützt. An die Hornhaut schließt sich die vordere Augenkammer an, die mit Kammerwasser gefüllt ist. Vor der Augenlinse befindet sich kreisförmig die Regenbogenhaut (*Iris*). Die Öffnung der Regenbogenhaut wird Pupille genannt. Der Pupillendurchmesser ändert sich je nach Beleuchtungsstärke (gemeinhin als „Helligkeit“ bezeichnet), und bestimmt damit, wie viel sichtbare und nahe infrarote optische Strahlung ins Auge eintreten kann. Der Pupillendurchmesser kann dabei von 1,5 mm bis ca. 8 mm variieren. Der Raum hinter der Iris bis zur Linse wird hintere Augenkammer genannt.

(2) Die Linse ist mit einer elastischen Kapsel und einem weichen Kern in der Lage, ihre Form und damit die Brechkraft zu ändern (Akkommodation). Zwischen der Linse und der Netzhaut (*Retina*) befindet sich der Glaskörper, der zu etwa 98 % aus Wasser sowie einem Netz von Kollagenfasern besteht und eine gallertartige Struktur hat.

(3) Optische Strahlung im sichtbaren Spektralbereich dient im Wesentlichen dem Sehen. Das ins Auge treffende Licht gelangt durch die Hornhaut, die Linse und den Glaskörper auf die Netzhaut und wird dort von als Fotorezeptoren spezialisierten Sinneszellen – den Zapfen und den Stäbchen – aufgenommen. Die dadurch erzeugten Signale werden über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet und dort als Sinneseindruck verarbeitet. Als „Gelber Fleck“ (*Macula lutea*) wird der Bereich der Netzhaut mit der größten Dichte von Fotorezeptoren bezeichnet. Er befindet sich in der Mitte der Netzhaut und hat einen Durchmesser von etwa 5 mm. Die Fotorezeptoren im „Gelben Fleck“ sind hauptsächlich die für die Farbwahrnehmung verantwortlichen Zapfen. Die Netzhautgrube (*Fovea centralis*) ist der zentrale Teil des „Gelben Flecks“ mit einem Durchmesser von ca. 1,5 mm. Sie ist die Stelle des schärfsten Sehens. An der Einmündung des Sehnervs und der Blutgefäße in die Netzhaut befinden sich weder Zapfen noch Stäbchen, sodass ein Sehen dort nicht möglich ist. Diese Stelle heißt deshalb „Blinder Fleck“. Hinter der Fotorezeptorenschicht folgen das Pigmentepithel und die Aderhaut, die die Netzhaut mit Blut versorgt und auf der Lederhaut aufliegt. Die optische Strahlungsenergie wird überwiegend durch Melanin in einer sehr dünnen Schicht des Pigmentepithels absorbiert.

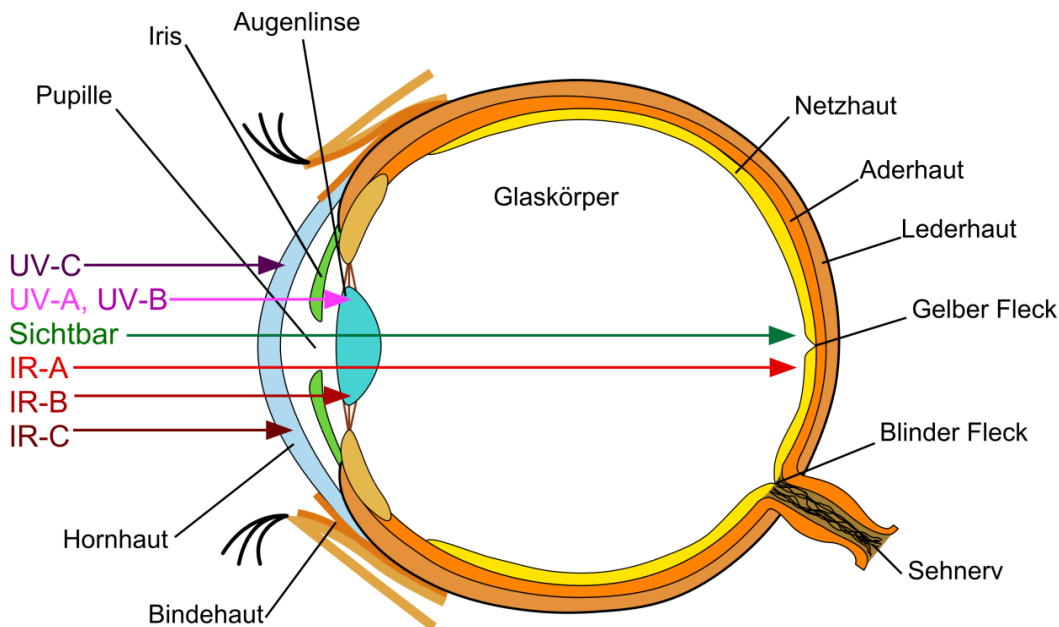


Abb. A3.1 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in das Auge (aus [5])

(4) Durch den Linseneffekt des Auges wird die Bestrahlungsstärke auf dem Weg von der Hornhaut zur Netzhaut bis zu etwa 500 000-fach erhöht. Dies erklärt, warum bereits eine relativ geringe Bestrahlungsstärke auf der Hornhaut für die Netzhaut gefährlich sein kann. Schäden an der Netzhaut sind besonders schwerwiegend und können zu erheblichen Beeinträchtigungen des Sehvermögens führen. Kleinere Schädigungen der Netzhaut bleiben meist unbemerkt, soweit sie außerhalb des „Gelben Flecks“ liegen. Größere geschädigte Stellen können jedoch zu Ausfällen im Gesichtsfeld führen. Bei einer Schädigung an der Stelle des schärfsten Sehens kann das Scharfsehen und das Farbsehvermögen stark verringert werden. Wird gar der „Blinde Fleck“ getroffen, droht die völlige Erblindung. Im Hinblick auf eine potenzielle Netzhautschädigung muss besonders berücksichtigt werden, dass auch optische Strahlung im IR-A-Spektralbereich bis 1 400 nm auf die Netzhaut fokussiert wird. Obwohl sie nicht wahrgenommen



werden kann, weil die Netzhaut für diese Wellenlängen keine Fotorezeptoren besitzt, kann sie dort Schädigungen hervorrufen. Eine Netzhautschädigung ist irreversibel.

(5) Eine thermische Netzhautschädigung entsteht immer dann, wenn in dem retinalen Pigmentepithel durch die absorbierte optische Strahlung eine Temperaturerhöhung von 10 °C – 20 °C erreicht wird. Dieser Mechanismus der Netzhautschädigung ist bei kurzer Bestrahlungsdauer (weniger als 10 s) dominant, und die Netzhautschädigung ist normalerweise sofort bemerkbar. Dagegen ist die fotochemische Netzhautschädigung (*Fotoretinopathie*) bei längerer Bestrahlungsdauer (über 10 s) dominant. Eine bemerkbare Schädigung verzögert sich hier um mehr als zwölf Stunden und äußert sich in einer Entpigmentierung.

(6) Da die UV-Strahlung und die Strahlung im fernen IR-Bereich (IR-B und IR-C) von der Hornhaut, der Bindehaut und der Linse absorbiert werden, sind diese Teile des Auges gefährdet. Durch UV-Strahlung können fotochemische Reaktionen ausgelöst werden, die zu sehr schmerzhaften Entzündungen der Hornhaut (*Fotokeratitis*) und/oder der Bindehaut (*Fotokonjunktivitis*) führen. Dabei werden die äußeren Zellen der Hornhaut und der Bindehaut zerstört. Die Schädigung macht sich vier bis zwölf Stunden nach der Exposition durch starke Augenschmerzen bemerkbar. Weil in der Horn- und Bindehaut immer neue Epithelzellen nachgebildet werden, ist diese Schädigung reversibel. Die Heilung tritt normalerweise innerhalb weniger Tage ein. Zu dieser Schädigung kommt es z. B. beim Elektroschweißen, wenn kein Augenschutz getragen wird.

(7) Wiederholte Einwirkung der UV-Strahlung mit Bestrahlungsstärken, die unterhalb derjenigen liegen, die zu einer akuten Horn- bzw. Bindehautentzündung führen, kann langfristig eine Linsentrübung (Katarakt, Grauer Star) verursachen. Durch fotochemische Reaktionen werden in den Linsenzellen bestimmte Proteine (Kristalline) verändert, was zu einer Pigmentierung der Zellen führt. Da in der Augenlinse keine Zellen nachgebildet werden, ist diese Schädigung irreversibel. Hier handelt es sich um einen Prozess, dessen Wirkung über einen längeren Zeitraum, meist Jahrzehnte, kumuliert.

(8) Auch eine langjährige Einwirkung von IR-Strahlung kann zu einer Linsentrübung führen, die sich durch eine Kondensation der Linsenproteine zu Aggregaten ausbildet. Als Temperatur, bei der es zu einer thermischen Katarakt kommen kann, werden Werte zwischen 40 °C und 45 °C angegeben. Auch diese Schädigung ist irreversibel und kann zur vollständigen Erblindung führen. Allerdings kann eine getrübte Augenlinse heute operativ durch eine künstliche Linse ersetzt werden. Ein Beispiel für Tätigkeiten, bei denen nach langjähriger Einwirkung von IR-Strahlung eine Linsentrübung auftreten kann, ist die Arbeit von Glasbläsern an Glasschmelzöfen. Im IR-Spektralbereich oberhalb einer Wellenlänge von etwa 2 500 nm ist nur noch die Hornhaut betroffen.

(9) Schließlich ist unter den möglichen schädlichen Wirkungen optischer Strahlung die vorübergehende Blendung zu nennen. Sie ist zwar nicht mit einer direkten Schädigung des Auges verbunden, kann aber das Sehen beeinträchtigen und damit zu Unfällen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten, etwa im Straßenverkehr oder an Maschinen, führen. Grad und Abklingzeit hängen vom Helligkeitsunterschied zwischen Blendlichtquelle und Umgebung sowie von der Bestrahlungsstärke und Expositionsdauer ab.

(10) Mögliche Schädigungen bei der Einwirkung von optischer Strahlung auf das Auge sind in Tabelle A3.1 zusammengefasst.

### A3.3 Gefährdungen der Haut

(1) Die Haut (Abbildung A3.2) gliedert sich prinzipiell in drei wesentliche Schichten: Die Oberhaut (*Epidermis*), die Lederhaut (*Dermis*) und die Unterhaut (*Subkutis*). Die Oberhaut ist die oberste Hautschicht. Sie setzt sich wiederum aus fünf unterschiedlichen Schichten zusammen. Dabei besteht die oberste Schicht, die Hornhaut (*Stratum Corneum*), aus Hautzellen, die in den unteren Hautschichten neu gebildet wurden. Auf ihrem Weg durch die Schichten der Oberhaut zur Hautoberfläche hin verhornen die Zellen allmählich. Durch diesen Prozess regeneriert sich die Hornhaut regelmäßig. In den unteren Schichten der Oberhaut wird bei Sonneneinstrahlung der Farbstoff Melanin gebildet. Er sorgt für die Bräune der Haut und schützt so tiefer liegende Hautschichten vor UV-Strahlung.

(2) Die Lederhaut besteht hauptsächlich aus Kollagenfasern und enthält Nervenenden, Schweiß- und Talgdrüsen, Haarwurzeln und Blutgefäße. Die Lederhaut bestimmt die Elastizität der Haut. Ein fein kapillarisiertes Blutgefäßsystem versorgt die Oberhaut, die über keine Blutgefäße verfügt, mit Nährstoffen und Sauerstoff. Im Wesentlichen befinden sich die Rezeptoren für Wärme und Kälte in der Lederhaut.

(3) Die Unterhaut bildet die Unterlage für die darüber liegenden Hautschichten und enthält die größeren Blutgefäße und Nerven. Die Unterhaut dient unter anderem der Wärmeisolation.

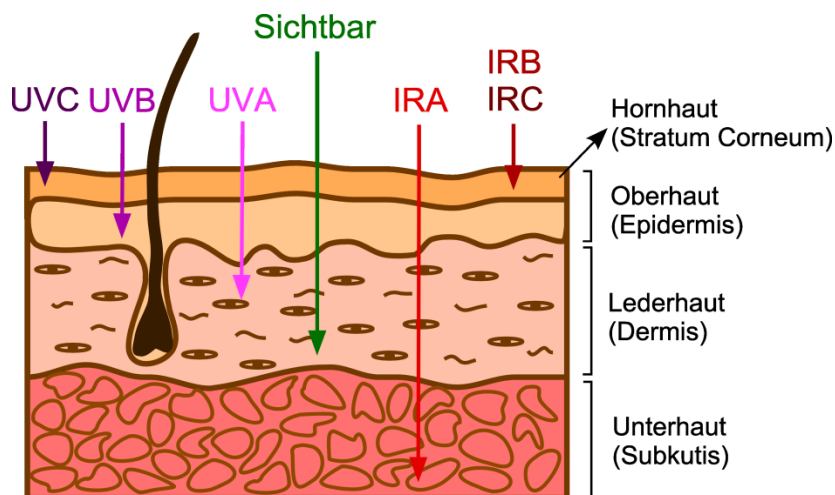


Abb. A3.2 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in die Haut (aus [5])

(4) Die Eindringtiefe der optischen Strahlung hängt auch bei der Haut von der Wellenlänge ab. Dementsprechend sind die Hautschichten unterschiedlich stark betroffen. Ein Großteil der optischen Strahlung im UV-Spektralbereich wird von der Oberhaut absorbiert, wobei die Strahlung im langwelligen UV-A-Spektralbereich deutlich tiefer eindringt. Die Strahlung im IR-A-Spektralbereich kann sehr tief in die Haut eindringen, während langwellige IR-B- und IR-C-Strahlung bereits in der Oberhaut absorbiert wird.

(5) Eine Exposition im UV-A-Spektralbereich kann eine Sofortpigmentierung (Bräunung) ohne vorherige Erythembildung (Hautrötung, Sonnenbrand) auslösen. Eine weitere Wirkung der UV-A-Strahlung ist die vermehrte Bildung von Hornhaut (Lichtschwiele). Diese Verdickung der Hornhaut und die stärkere Pigmentierung führen zu einem gewissen Eigenschutz der Haut, die aber für Schutzkonzepte keinen Beitrag liefern. Durch langjährige Einwirkung von UV-Strahlung, vornehmlich im UV-A-Bereich, kann eine vorzeitige Hautalterung (Elastose) auftreten, die durch eine faltige Lederhaut charakterisiert und durch mangelnde Hautelastizität gekennzeichnet ist.

(6) Die hauptsächliche Wirkung der optischen Strahlung im UV-B-Spektralbereich ist die Erythembildung. Sie stellt eine akute Schädigung der Haut dar. Die Symptome treten zwei bis acht Stunden nach Ende der Bestrahlung auf und können sich als schwache Rötung der Haut bis hin zur Blasenbildung mit starken Schmerzen zeigen. Nach drei bis vier Tagen ist in der Regel ein Nachlassen der Rötung festzustellen. Mit dem Abklingen der Hautrötung entsteht eine verzögerte Pigmentierung der Haut. Durch UV-B-Strahlung kann nach langjähriger Einwirkung als schwerwiegendste chronische Hautschädigung Hautkrebs (Hautkarzinom) entstehen. Auch die UV-A-Strahlung ist als krebserzeugend eingestuft. UV-C-Strahlung wird von allen biologischen Geweben so stark absorbiert, dass die Strahlung nur noch in eine dünne Oberschicht eindringen kann.

(7) Eine weitere akute Wirkung der UV-Strahlung können fototoxische oder fotoallergische Hautreaktionen sein. Bei der fototoxischen Hautreaktion werden durch bestimmte Substanzen im Körper oder an der Hautoberfläche (z. B. Kosmetika oder Medikamente) unter Einwirkung von UV-Strahlung Entzündungen ausgelöst. Bei der fotoallergischen Hautreaktion wird eine Substanz durch UV-Strahlung chemisch aktiviert und umgewandelt und kann so eine Sensibilisierung der Haut hervorrufen. In beiden Fällen besteht eine besondere Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung (z. B. am Arbeitsplatz durch Teer, Pech oder bestimmte pflanzliche Stoffe).

(8) Intensive Strahlung im sichtbaren Spektralbereich kann zur Hauterwärmung führen und fotosensitive Reaktionen hervorrufen. Bei Einwirkung intensiver IR-Strahlung auf die Haut kann es zu Verbrennungen kommen. Bei lang andauernder Hautbestrahlung spielen sowohl Fragen der Wärmeleitung als auch der Wärmeabfuhr durch das Blut eine Rolle. Aufgrund der Durchblutung des Gewebes und der damit verbundenen Wärmeabfuhr wird die Temperaturerhöhung begrenzt. Mögliche Schädigungen bei der Einwirkung optischer Strahlung auf die Haut sind in Tabelle A3.1 zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass die Expositionsgrenzwerte in der Regel lediglich deterministische Wirkungen (z. B. Erythem) berücksichtigen. Stochastisch auftretende Langzeitwirkungen sind durch die Expositionsgrenzwerte in der Regel nicht berücksichtigt.

Tab. A3.1 Mögliche Auswirkungen von optischer Strahlung auf Auge und Haut

Wellenlängenbereich	Auge	Haut
<b>UV-C</b>	Fotokeratitis Fotokonjunktivitis	Erythem Präkanzerosen Karzinome
<b>UV-B</b>	Fotokeratitis Fotokonjunktivitis Katarakt	Verstärkte Pigmentierung (Spätpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem Präkanzerosen Karzinome
<b>UV-A</b>	Katarakt	Bräunung (Sofortpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Verbrennung der Haut Karzinome
<b>Sichtbare Strahlung</b>	Fotochemische und fothermische Schädigung der Netzhaut	Fotosensitive Reaktionen Thermische Schädigung der Haut
<b>IR-A</b>	Katarakt Thermische Schädigung der Netzhaut	Thermische Schädigung der Haut
<b>IR-B</b>	Katarakt Thermische Schädigung der Hornhaut	Thermische Schädigung der Haut Blasenbildung auf der Haut
<b>IR-C</b>	Thermische Schädigung der Hornhaut	Thermische Schädigung der Haut

### A3.4 Indirekte Auswirkungen von Laserstrahlung

(1) Neben direkter Gefährdung der Augen und Haut können durch Laserstrahlung weitere Gefährdungen hervorgerufen werden. Brand- und Explosionsgefahr drohen immer dann, wenn die Strahlung auf brennbares Material oder eine explosionsfähige Atmosphäre trifft. Bei der Materialbearbeitung können gesundheitsschädliche Materialzersetzungsprodukte in Form von Dämpfen und Rauchen sowie UV-Strahlung entstehen. Aber auch die Technik des Lasers selbst kann zu Gefährdungen führen, z. B. wenn es zum Kontakt mit toxischen Stoffen (Gase, Flüssigkeiten) des aktiven Mediums kommt. Da jeder Laser elektrische Energie zum Betrieb benötigt, muss auch die elektrische Sicherheit beachtet werden.

(2) Ultrakurzpuls-Laser können bei der bestimmungsgemäßen Bearbeitung von Werkstoffen schädliche ionisierende Strahlung erzeugen. Es gelten die Bestimmungen des Strahlenschutzgesetzes.

## Anhang 4

### Laserklassen

(1) Die Definition der Laserklassen ist insbesondere für die Gefährdungsbeurteilung wichtig.

(2) Laser wurden und werden je nach Datum ihrer Herstellung entsprechend den, zum Zeitpunkt der Bereitstellung auf dem Markt anzuwendenden, technischen Anforderungen klassifiziert.

Hinweis:

Das Klassifizierungssystem hat sich in der Vergangenheit mehrfach geändert. Dies ist bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen. Ein Beispiel ist die Laserklasse 3A, die für seit 2004 neu auf dem Markt bereitgestellte Laser keine Anwendung mehr findet.

(3) Laser werden in der Regel gemäß DIN EN 60825-1 klassifiziert.

Hinweis 1:

Nach den Regelungen zur Produktsicherheit ist es auch möglich, dass ein nicht nach der obigen Norm klassifizierter Laser vorliegt (z. B. ein Prototyp). Dann sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten. (Noch) nicht klassifizierte Entwicklungsmuster und Prototypen sind in Anlehnung an die entsprechenden Laserklassen zu betrachten.

Hinweis 2:

Eine Verpflichtung zur Klassifizierung von verwendungsfertigen Laser-Einrichtungen besteht gemäß DGUV Vorschrift 11 (vormals BGV B2/GUV-V B2 bzw. VBG 93) „Laserstrahlung“ seit 1988.

(4) Die im Folgenden aufgeführten Erläuterungen geben eine Hilfestellung zu den Definitionen der Laserklassen nach DIN EN 60825-1.

#### **A4.1 Erläuterungen zu den Laserklassen gemäß DIN EN 60825-1:2008-05 und Ergänzungen zur früheren Laserklasse 3A sowie zur neuen Laserklasse 1C**

##### **Allgemeines**

(1) Laser-Einrichtungen werden im Allgemeinen nach der Lasernorm DIN EN 60825-1 klassifiziert. Die Laser werden in dieser Norm entsprechend ihrer Gefährlichkeit für den Menschen in Laserklassen eingeteilt. Die Zuordnung zu einer bestimmten Laserklasse soll für die Anwender die mögliche Gefährdung sofort ersichtlich machen und auf geeignete Schutzmaßnahmen hinweisen. Das Potenzial der Gefährdung steigt mit steigender Laserklasse: Je höher ein Laser klassifiziert ist, desto größer ist die Gefahr, die von ihm ausgehen kann. Für die Zuordnung eines Lasers zu einer bestimmten Laserklasse ist der Hersteller verantwortlich.

(2) In der internationalen Lasernorm IEC 60825-1 aus dem Jahr 2001, die unverändert in die europäische Norm EN 60825-1 und damit auch in die nationale deutsche Norm DIN EN 60825-1:2001-11 übernommen wurde, sind die damaligen Laserklassen 1, 2, 3A, 3B und 4 neu geordnet worden. Die Einteilung gemäß DIN EN 60825-1:2008-05 sieht sieben Laserklassen vor (1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B und 4). Es wurden drei neue Laserklassen (1M, 2M und 3R) eingeführt, die Laserklasse 3A entfiel. In der Norm sind die Definitionen für die einzelnen Laserklassen zu finden. Allerdings kann man aus diesen formalen Definitionen nur wenige Erkenntnisse für

eine Gefährdungsbeurteilung entnehmen. Eine Pflicht zur Neuklassifizierung vorhandener Laser-Einrichtungen nach den neu eingeführten Laserklassen besteht nicht.

Hinweis:

Die DIN EN 60825-1:2015-07 (VDE 0837-1:2015) sieht neue MZB-Werte für die Klassifizierung sowie eine neue Laserklasse 1C vor. Bei der so neu definierten Laserklasse 1C können insbesondere bei gepulster Laserstrahlung die Expositionsgrenzwerte der OStrV deutlich überschritten werden. Bei der Verwendung von Lasern, die so klassifiziert wurden, müssen geeignete Schutzmaßnahmen wie bei den Laserklassen 3R und 3B erforderlichenfalls auch Laserklasse 4 getroffen werden.

Unter bestimmten Betriebsbedingungen können bei der Laserklasse 1 gemäß DIN EN 60825-1:2015-07 die Expositionsgrenzwerte für gepulste Laserstrahlung oder für Laserstrahlung im Bereich zwischen  $1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1400 \text{ nm}$  um Größenordnungen überschritten werden.

### **Laserklasse 1**

Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich.

Hinweis 1:

Die vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen sind beim bestimmungsgemäßen Betrieb eingehalten.

Hinweis 2:

Laser-Einrichtungen der Klasse 1 sind auch sicher, wenn eine Bestrahlung unter Benutzung optischer Instrumente, wie z. B. Ferngläsern, stattfindet.

Hinweis 3:

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 1, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können z. B. Blendung, Beeinträchtigung des Farbsehens, Irritationen und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

Hinweis 4:

Die Laserklasse 1 umfasst auch sogenannte Hochleistungslaser, die voll gekapselt sind, sodass während des Normalbetriebes keine möglicherweise gefährliche Laserstrahlung zugänglich ist.

### **Laserklasse 1C (gemäß DIN EN 60825-1:2015-07)**

Jede Laser-Einrichtung, die ausschließlich für die Anwendung an der Haut oder dem Gewebe (mit Ausnahme der Augen) in direktem Kontakt bestimmt ist und die nachfolgende Bedingungen erfüllt, wird als Laser-Einrichtung der Klasse 1C klassifiziert:

- Während des Betriebs wird eine Augengefährdung durch konstruktive Maßnahmen verhindert, d. h. beim Entfernen des Lasers/Applikators von der Haut oder dem Gewebe wird die zugängliche Laserstrahlung gestoppt oder auf ein Niveau unterhalb der GZS der Laserklasse 1 reduziert. Die Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung kann während des Betriebs und im direkten Kontakt mit der Haut bzw. mit dem Gewebe mit Ausnahme der Augen den MZB-Wert (gemäß DIN EN 60825-1:2015-07) übersteigen, sofern es für die vorgesehene Behandlungsprozedur notwendig ist.
- Die Laser-Einrichtung genügt den Anforderungen der anzuwendenden vertikalen Normen.

Hinweis:

Da die abgegebene Strahlung den zutreffenden Expositionsgrenzwert für die Haut deutlich überschreitet, kann der Strahlausgang eines Lasers der Klasse 1C gefährlich für das Zielgewebe sein.

### **Laserklasse 1M**

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm, d. h. in dem Spektralbereich, bei dem die meisten in optischen Instrumenten verwendeten Materialien weitgehend transparent sind. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das bloße Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, wie z. B. Teleskope, verkleinert wird.

Hinweis 1:

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

Hinweis 2:

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

Hinweis 3:

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 1M, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können z. B. Blendung, Beeinträchtigungen des Farbsehens, Irritationen und Belästigungen nicht ausgeschlossen werden.

### **Laserklasse 2**

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

Hinweis 1:

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

Hinweis 2:

Der absichtliche, direkte Blick (Hineinstarren) in den Strahl einer Laser-Einrichtung der Klasse 2 kann gefährlich sein.

Hinweis 3:

Von dem Vorhandensein des Lidschlussreflexes und von anderen Abwendungsreaktionen zum Schutz der Augen darf in der Regel nicht ausgegangen werden. Falls Laserstrahlung der Klasse 2 ins Auge trifft, erhöhen das bewusste Schließen der Augen und das sofortige Abwenden des Kopfes den Schutz vor einer Überexposition.

Hinweis 4:

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

**Hinweis 5:**

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 2 können besonders bei geringer Umgebungshelligkeit durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei denen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

**Laserklasse 2M**

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

**Hinweis 1:**

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

**Hinweis 2:**

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

**Hinweis 3:**

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 2M können besonders bei geringer Umgebungshelligkeit durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei denen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

**Laserklasse 3A (anzuwenden bis März 1997)**

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

**Hinweis 1:**

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3A handelt es sich um Laser, die nach der DIN EN 60825-1 (bis Ausgabe März 1997) klassifiziert worden sind. Laser-Einrichtungen der Klasse 3A, die nur im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren, können wie solche der Klasse 2M behandelt werden. Laser-Einrichtungen der Klasse 3A, die nur im nicht sichtbaren Spektralbereich emittieren, können wie solche der Klasse 1M behandelt werden.



**Hinweis 2:**

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

**Hinweis 3:**

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3A, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können besonders bei geringer Umgebungshelligkeit durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei denen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

**Laserklasse 3R**

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

**Hinweis 1:**

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

**Hinweis 2:**

Das Risiko einer Verletzung durch Laserstrahlung aus einer Laser-Einrichtung der Klasse 3R steigt mit der Expositionsdauer. Eine Exposition ist bei bewusster Augenbestrahlung gefährlich.

**Hinweis 3:**

Für kontinuierlich strahlende Laser der Klasse 3R beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung  $P = 5$  mW (bei  $C_E = 1$ , siehe Teil 2) im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm.

**Hinweis 4:**

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3R, die im sichtbaren Spektralbereich emittieren, können durch den Blick in den Laserstrahl Irritationen, vorübergehende Blendung, Blitzlichtblindheit und länger andauernde Nachbilder verursacht werden. Durch diese indirekten Auswirkungen können mehr oder weniger starke Gefährdungen insbesondere bei Tätigkeiten auftreten, bei denen ein unbeeinträchtigtes Sehvermögen besonders wichtig ist, wie z. B. beim Arbeiten mit Maschinen oder beim Lenken bzw. Führen eines Fahr- oder Flugzeuges.

Hinweis 5:

Laser-Einrichtungen der Klasse 3R lassen sich sicher verwenden, wenn ein direkter Blick in den Laserstrahl unwahrscheinlich ist.

### **Laserklasse 3B**

Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut.

Hinweis 1:

Das direkte Blicken in den Strahl bei Lasern der Klasse 3B ist selbst dann gefährlich, wenn es nur kurzzeitig erfolgt.

Hinweis 2:

Ein Strahlbündel aus einer Laser-Einrichtung der Klasse 3B kann theoretisch 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 mindestens 13 cm,
- die maximale Beobachtungsdauer beträgt höchstens 10 s und
- gerichtete Strahlanteile können nicht das Auge treffen.

Hinweis 3:

Bei vielen Diffusoren ist mit gerichteten Strahlanteilen zu rechnen, wodurch die Expositionsbedingungen ungünstiger werden.

Hinweis 4:

Eine Gefährdung der Haut durch die zugängliche Laserstrahlung besteht bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3B, wenn die Expositionsgrenzwerte der Haut überschritten werden. Dies trifft in der Regel zu, wenn die Strahldurchmesser zu klein sind oder wenn der Laserstrahl fokussiert wird.

Hinweis 5:

Bei Laser-Einrichtungen der Klasse 3B kann es im Laserstrahl zum Entflammen entzündlicher Materialien kommen.

### **Laserklasse 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.

Hinweis 1:

Laser-Einrichtungen der Klasse 4 sind Hochleistungslaser, deren Ausgangsleistungen bzw. -energien die Grenzwerte der zugänglichen Strahlung für Klasse 3B übertreffen.

Hinweis 2:

Die Laserstrahlung von Laser-Einrichtungen der Klasse 4 ist so stark, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist. Außerdem muss bei der Anwendung von Laser-Einrichtungen der Klasse 4 immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefährdungen getroffen sind.

#### **A4.2 Anmerkung zur Nomenklatur**

(1) Das M in den Laserklassen 1M und 2M ist abgeleitet von *magnifying optical viewing instruments*, d. h. vergrößernde optische Sehgeräte. Das R in Laserklasse 3R ist

abgeleitet von *reduced* oder *relaxed requirements*, d. h. reduzierten Anforderungen sowohl für den Hersteller (z. B. werden kein Schlüsselschalter, kein Strahlfänger oder Strahlabschwächer und kein Verriegelungsstecker gefordert) als auch für den Benutzer. Das B für Laserklasse 3B hat historische Gründe, da in der Ausgabe der Norm vor der Änderung A2:2001 eine Laserklasse 3A existierte, die eine ähnliche Bedeutung hatte, wie jetzt die Laserklassen 1M und 2M.

(2) Bei den obigen Beschreibungen ist zu beachten, dass immer dann, wenn das Wort „gefährlich“ verwendet wird oder wenn ein Hinweis auf ein hohes Verletzungsrisiko auftaucht, Gefahr und Risiko nur in dem Bereich um den Laser existieren, wo die entsprechenden Expositionsgrenzwerte überschritten sind. Diese entsprechen sowohl den Expositionsgrenzwerten im Anhang 4.1 des Teils 2 der TROS Laserstrahlung als auch der Ausgabe DIN EN 60825-1:2008-05 [1]. Für eine Bestrahlung des bloßen Auges ist dieser Bereich durch den Augensicherheitsabstand NOHD begrenzt oder für gut kollimierte Laser der Klasse 1M und der Klasse 2M durch den erweiterten Sicherheitsabstand (ENOHD), d. h. hierbei wird die Verwendung optisch sammelnder Instrumente berücksichtigt. Es ist möglich, dass bestimmte Laser-Einrichtungen der Laserklasse 3B oder 4 einen sehr kurzen Sicherheitsabstand haben, sodass für das Personal dieser Installationen oder Anwendungen außerhalb des Augensicherheitsabstandes kein Augenschutz erforderlich ist.

(3) Beispiele solcher Installationen sind richtungsveränderliche Laser oder Linienlaser, die an der Decke der Werkshalle montiert sind und ein Muster auf das Werkstück im Arbeitsbereich darunter projizieren. Auch wenn die Höhe der Leistung und das Ablenkungsmuster so ausgeführt sind, dass die Bestrahlung des Arbeitsplatzes unterhalb der Expositionsgrenzwerte und daher sicher ist, müssen Wartungs- und Serviceverfahren gesondert betrachtet werden. Zum Beispiel kann eine Bestrahlung in einem kürzeren Abstand gefährlich sein, wenn der Benutzer sich beispielsweise auf einer Leiter befindet und ein Laserstrahl-Austrittsfenster reinigt. Ein anderes Beispiel ist, dass, obwohl das Ablenkmuster sicher ist, eine Gefahr entsteht, wenn der Strahl nicht mehr abgelenkt wird. Außerdem gibt es für Laser-Einrichtungen der Klasse 4 einen Augensicherheitsabstand, der sich auf diffuse Reflexionen bezieht (obwohl dieser Augensicherheitsabstand wahrscheinlich von recht begrenzter Ausdehnung ist). Die Charakterisierung der Gefahr für einen speziellen Laser bzw. dessen Anwendung ist Teil der Gefährdungsbeurteilung.

(4) Prüfungen für die Klassifizierung sollen den ungünstigsten Fall erfassen und restriktiv sein, um sicherzustellen, dass eine Einrichtung einer niedrigen Laserklasse (z. B. Laserklasse 1) keine Gefahr für Auge oder Haut sogar in vernünftigerweise vorhersehbaren ungünstigsten Fällen darstellt. Infolgedessen kann eine Einrichtung der Laserklasse 3B oder 4 trotzdem so konstruiert sein, dass sie für den bestimmungsgemäßen Gebrauch als sicher angesehen werden kann, da die Gefahr nur in den ungünstigsten Fällen zugänglich wird. Zum Beispiel könnte die Einrichtung ein Schutzgehäuse (nach DIN EN 60825-4 [3]) haben, aber die Anforderungen an einen gekapselten Laser der Klasse 1 nicht erfüllen, da:

- das Schutzgehäuse die Prüfung nach DIN EN 60825-1 [1] für eine längere Zeitdauer nicht besteht (während für Geräte nach DIN EN 60825-4 [3] eine kürzere Bewertungsdauer verwendet werden kann);
- sie keine obere Abdeckung hat, aber für ein Umfeld, in dem sich keine Personen oberhalb der Schutzwand befinden, als sicher angesehen wird;

– sie keine automatische Überwachung eines begehbaren Zugangs hat. In einem kontrollierten Umfeld kann dies jedoch durch eine organisatorische Schutzmaßnahme mit individualisierten Verriegelungen, die ein Schließen der Tür verhindern, falls sich jemand in dem Gehäuse befindet, ersetzt werden. Das beeinflusst zwar nicht die Klassifizierung, stellt aber eine Maßnahme dar, die das gewünschte Sicherheitsniveau für den Benutzer erreicht.

(5) In Fällen, in denen die mit Laser-Einrichtungen der Klasse 3B oder 4 verbundene Gefahr auf den Bereich innerhalb des Gehäuses beschränkt ist, können organisatorische Schutzmaßnahmen ausreichend sein. Organisatorische Schutzmaßnahmen können auch für einen Laser ohne Abdeckung ausreichend sein oder dann, wenn die Schutzwand während einer länger andauernden Fehlersituation durchbrennen kann.

(6) Es gibt andere Beispiele, wo die Gefahren bei Lasern der Klasse 3B oder 4 nur in speziellen Situationen auftreten. Beispielsweise kann die Klassifizierung auf einem Zubehör, wie einer kollimierenden Linse, an einer stark divergenten Quelle für Lasertherapie mit niedriger Leistung beruhen. Diese Einrichtung kann aufgrund der aufgeschraubten Zubehörlinse als Laserklasse 3B klassifiziert sein, da die Linse einen möglicherweise gefährlichen kollimierten Strahl erzeugt. Ein Einsatz ohne das aufgeschraubte Zubehör würde jedoch einen divergenten Strahl erzeugen und sicher sein, d. h., die Expositionsgrenzwerte sind eingehalten. Ein Gefahrenbereich um den Laser würde also nur existieren, wenn das Zubehör aufgeschraubt ist.

### **A4.3 Grenzen der Klassifizierung**

(1) Die Klassifizierung von Laser-Einrichtungen erfolgt konservativ und berücksichtigt den ungünstigsten Fall. Es gibt jedoch seltene Fälle, in denen Gefährdungen auftreten können, die über die Klassifizierung nicht abgebildet werden. Die Klassifizierung beruht auf drei Aspekten:

1. den GZS der verschiedenen Laserklassen;
2. den Messanforderungen bezüglich Messabstand, Blendendurchmesser und Grenz-Empfangswinkel, welche die verschiedenen Bestrahlungsbedingungen widerspiegeln sollen. Diese Messbedingungen legen für eine gegebene Laser-Einrichtung die zugängliche Strahlung fest, die mit dem GZS verglichen wird, um die Laserklasse zu bestimmen;
3. den Prüfbedingungen, unter denen der GZS und die zugängliche Strahlung bestimmt werden. Dies schließt die Berücksichtigung vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlbedienungen ein. Ferner müssen Normalbetrieb, Wartung und Service unterschieden werden. Die Verwendung von Zubehör und von verschiedenen Konfigurationen der Einrichtung, die ohne Verwendung von Werkzeug erzeugt werden können, müssen berücksichtigt werden.

(2) Jeder dieser drei Aspekte hat einige implizite Annahmen. In seltenen Fällen treffen diese Annahmen nicht zu. Dann können Gefährdungen auftreten, die über die üblichen mit der Klassifizierung verbundenen Gefährdungen hinausgehen. Zum Beispiel beruht der GZS für die Laserklassen 1 und 1M für lange Einwirkungsauern auf der Annahme von Augenbewegungen eines nicht anästhetisierten Auges. Wird jedoch ein anästhetisiertes Auge während medizinischer Behandlungen lange bestrahlt, dann kann die Emission von Lasern der Klasse 1 zu möglicherweise gefährlicher Bestrahlung führen. Auch beruhen die Messanforderungen auf Annahmen und Bewertungen der Wahrscheinlichkeit einer Bestrahlung mit bestimmten Arten optischer Instrumente. So könnte zum Beispiel sogar ein kollimierter Strahl mit großem

Durchmesser einer Laser-Einrichtung der Klasse 1 gefährlich sein, wenn er von einem großen Fernrohr aufgefangen wird. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit einer solchen zufälligen Bestrahlung des Auges aufgrund des kleinen Gesichtsfeldes des Fernrohrs normalerweise sehr gering. Eine andere Situation, die möglicherweise betrachtet werden muss, ist der Betrieb einer Einrichtung unter einer Bedingung, die für die Klassifizierung nicht betrachtet werden muss, in der aber trotzdem gefährliche Strahlung zugänglich werden könnte. Zum Beispiel ließe sich, obwohl eine kollimierende Linse vom Hersteller der Einrichtung nicht als Zubehör geliefert wird, ein divergenter Strahl einer Einrichtung der Laserklasse 1M oder 2M in einen kollimierten Strahl mit einem möglicherweise großen Gefährdungsabstand umwandeln, indem eine solche Linse an die Einrichtung angebaut wird. Dies würde jedoch als eine Änderung der Einrichtung angesehen werden. Die Klassifizierung ist zu überprüfen.

(3) Trotzdem soll sich der Hersteller dieser Grenzen bewusst sein, damit Warnungen in die Bedienungs-, Gebrauchs- bzw. Betriebsanleitungen für den Benutzer der Einrichtungen eingefügt werden können. Spezielle Beispiele solch möglicher Grenzen sind:

- kollimierte Strahlen großen Durchmessers von Laser-Einrichtungen der Klasse 1, 2 oder 3R, die mit großen Fernrohren betrachtet werden;
- stark divergente Strahlen von Laser-Einrichtungen der Klasse 1, 2 oder 3R, die mit Geräten hoher Vergrößerung betrachtet werden;
- Fernrohre und Ferngläser mit einer Vergrößerung von weniger als dem Siebenfachen. In diesem Fall sollte für Bedingung 1 die Winkelausdehnung  $\alpha$  der Quelle, die verwendet werden darf (siehe DIN EN 60825-1:2008-05 [1], 8.3 c), oder alternativ die Verringerung des Grenz-Empfangswinkels (siehe DIN EN 60825-1:2008-05 [1], A4.3) gleich dem tatsächlichen Vergrößerungsfaktor sein, d. h. weniger als siebenfach;
- richtungsverändernde Strahlen, die mit einem Fernrohr betrachtet werden;
- wahrscheinliche Doppelfehlerbedingungen. Damit sind Fälle gemeint, in denen ein einzelner Fehler nicht zu zugänglicher Strahlung oberhalb der GZS führen würde. Wenn aber beide Fehler zur gleichen Zeit auftreten, kann dies der Fall sein. Wird erwartet, dass diese Fehler mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit auftreten, dann wäre die Wahrscheinlichkeit eines Doppelfehlers ausreichend hoch, sodass dieser Fall bei der Konstruktion des Gerätes betrachtet werden soll.
- Extrem kleine Strahldurchmesser (kleiner als  $100 \mu\text{m}$ ) bei gleichzeitig hoher Bestrahlungsstärke müssen gesondert behandelt werden. Die MZB müssen dann unter Berücksichtigung der realen Strahldurchmesser berechnet werden. Mit den derzeitigen Messvorschriften mit einer Messblende von 7 mm oder 1 mm können die resultierenden Gefährdungen (z. B. Netzhautgefährdung) nicht sicher ausgeschlossen werden.

## Anhang 5

### Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen

(1) Laser-Einrichtungen der Klassen 2 bis 4 müssen nach Abschnitt 5 der Norm DIN EN 60825-1:2008-05 [1] auf einem Hinweisschild durch Angaben über die maximalen Ausgangswerte der Laserstrahlung, der Impulsdauer (falls zutreffend) und der ausgesandten Wellenlänge(n) beschrieben werden. Diese Angaben können auf einem Hinweisschild zusammen mit der Angabe der Klasse oder auf einem separaten Hinweisschild aufgenommen werden. Die Bezeichnung und das Datum der Veröffentlichung der Norm, nach der das Produkt klassifiziert wurde, müssen auf dem Hinweisschild oder in der Nähe am Produkt angebracht werden. In den folgenden Beispielen wird die allgemeine Form DIN EN 60825-1:2008-05 [1] verwendet.

(2) Laser-Einrichtungen der Klassen 2 bis 4 sind zusätzlich mit einem dreieckigen Warnschild mit Gefahrensymbol zu kennzeichnen.

(3) Form, Farbe und Gestaltung des Warn- und Hinweisschildes – siehe Bilder 1 und 2 der DIN EN 60825-1:2008-05 [1].

Hinweis:

In der Lichtwellenleitertechnik nach DIN EN 60825-2 [2] werden die gleichen Hinweisschilder zur Kennzeichnung der Gefährdungsgrade an lösbaren Steckverbindern verwendet. Anstelle des Wortes „Laserklasse“ wird hier der Begriff „Gefährdungsgrad“ verwendet.

(4) Die Symbole bei den technischen Zusatzangaben sind wie folgt definiert:

E	Bestrahlungsstärke (Einheit: $W \cdot m^{-2}$ )
F	Impulswiederholfrequenz (Einheit: Hz)
$P_0$	Gesamt-Strahlungsleistung, ausgestrahlt von einem Dauerstrichlaser, oder mittlere Strahlungsleistung eines wiederholt gepulsten Lasers (Einheit: W)
$P_P$	Strahlungsleistung, ausgestrahlt innerhalb eines Impulses eines gepulsten Lasers (Einheit: W)
t	Dauer eines Einzelimpulses (Einheit: s)
$\lambda$	Wellenlänge der Laserstrahlung (Einheit: nm)

### A5.1 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1



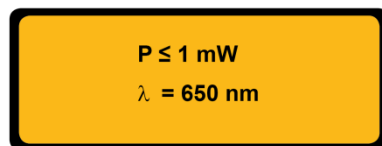
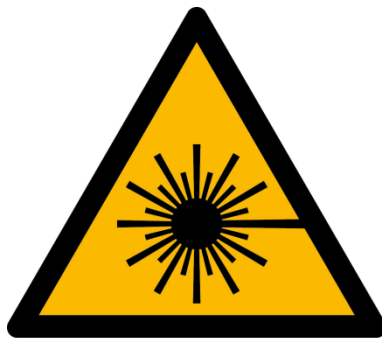
### A5.2 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1M



Hinweis:

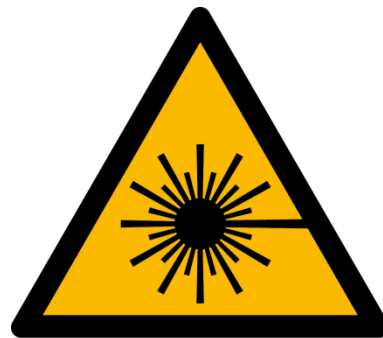
Der Hersteller kann bei Lasern der Klasse 1 und 1M auf die Kennzeichnung auf den Laser-Einrichtungen verzichten und diese Aussagen nur in die Benutzerinformation aufnehmen. Die Laser sind dann nicht gekennzeichnet.

### A5.3 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 2



a)

oder



b)

#### A5.4 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 2M



#### A5.5 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 3R

- a) Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm  
 b) Wellenlängen < 400 nm: auf dem Hinweisschild wird „Laserstrahlung“ durch „Unsichtbare Laserstrahlung“ ersetzt



a)



b)



c) Wellenlängen 700 nm bis 1 400 nm: auf dem Hinweisschild wird „Laserstrahlung“ durch „Unsichtbare Laserstrahlung“ ersetzt



c)

### A5.6 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 3B

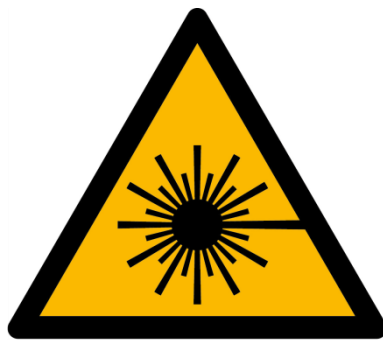


a) sichtbare Laserstrahlung  
(z. B. Dauerstrichlaser)



b) unsichtbare Laserstrahlung  
(z. B. Impulslaser)

## A5.7 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 4



**Laserstrahlung**  
Bestrahlung von Auge oder  
Haut durch direkte oder  
Streustrahlung vermeiden  
**Laser Klasse 4**  
nach DIN EN 60825-1:2008-05

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

a) sichtbare Laserstrahlung  
(z. B. Dauerstrichlaser)



**Unsichtbare Laserstrahlung**  
Bestrahlung von Auge oder  
Haut durch direkte oder  
Streustrahlung vermeiden  
**Laser Klasse 4**  
nach DIN EN 60825-1:2008-05

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

b) unsichtbare Laserstrahlung  
(z. B. Impulslaser)