



Arbeitsschutz



Laserstrahlung

Technische
Regeln

Arbeitsschutz

Laserstrahlung

Technische
Regeln

Vorwort

Am 27. Juli 2010 trat die Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - OStrV) in Kraft. Mit der OStrV ist die Richtlinie 2006/25/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über „Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung)“ in deutsches Recht umgesetzt worden. Die richtige und vollständige Beurteilung der Gefährdungen am Arbeitsplatz und deren Dokumentation ist für den Arbeitgeber die Grundlage, um für die Beschäftigten Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit gewährleisten zu können. Die Technischen Regeln werden vom BMAS bekannt gegeben und geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene wieder. Da sie die Verordnungen praxisorientiert konkretisieren, unterstützen sie den Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung und bei der Ableitung von Maßnahmen; sie dienen gleichzeitig auch der Verbesserung der Einheitlichkeit des Vollzugs durch die zuständigen Behörden der Länder und die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung. Die Technischen Regeln sollen Probleme des Informationstransfers zwischen Hersteller und Anwender, Staat und Arbeitgeber sowie Arbeitgeber und Beschäftigten beseitigen und die Verständlichkeit und Anwenderfreundlichkeit der Verordnung verbessern helfen.

Technische Regeln lösen die sogenannte Vermutungswirkung aus und bieten dadurch Rechtssicherheit für die Anwender. So kann der Arbeitgeber bei der Anwendung der Technischen Regeln davon ausgehen, die entsprechenden Arbeitsschutzvorschriften einzuhalten. Weicht der Arbeitgeber von der Technischen Regel ab oder wählt eigenständig eine andere Lösung zur Erfüllung der Verordnung, ist die gleichwertige Erfüllung durch den Arbeitgeber nachzuweisen und schriftlich zu dokumentieren.

Die vom Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin (AfAMed) ermittelten Technischen Regeln zu kohärenter optischer Strahlung aus künstlichen Quellen (TROS Laserstrahlung) sollen dem Arbeitgeber Wege aufzeigen, woher er die für die Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Informationen über Gefährdungen durch Laserstrahlung am Arbeitsplatz bekommen kann, ohne dafür aufwändige Messungen und Berechnungen veranlassen zu müssen. Außerdem wird praxisgerecht dargestellt und erläutert, welche technischen und organisatorischen Maßnahmen für die Vermeidung oder Reduzierung von Gefährdungen durch Laserstrahlung geeignet sind.

Danke für die Unterstützung!

An dieser Stelle soll auch allen an der Erarbeitung der TROS Laserstrahlung Beteiligten für die vielen Stunden zusätzlicher Arbeit, ihre konstruktiven und zielgerichteten Diskussionen sowie die uneigennützig Bereitstellung von Arbeitshilfen und Messwerten gedankt werden. Der Dank gilt insbesondere den Mitgliedern des Arbeitskreises AK Laserstrahlung des Unterausschusses "UA 4" des ABS.

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (TROS Laserstrahlung)

Inhaltsverzeichnis

Teil Allgemeines.....	7
Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung.....	51
Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung.....	87
Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung.....	147
Impressum:	176

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung

TROS Laserstrahlung*

Teil Allgemeines

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 gemacht.

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.

* GMBI. 12-15 vom 05.05.2015 S. 211

Inhalt

1.	Anwendungsbereich.....	11
2.	Verantwortung und Beteiligung.....	11
3.	Gliederung der TROS Laserstrahlung.....	11
4.	Begriffsbestimmungen und Erläuterungen.....	12
5.	Der Laserschutzbeauftragte (LSB).....	21
6.	Literaturhinweise.....	24
Anlage 1	Grundlagen zur Laserstrahlung.....	25
Anlage 2	Lasertypen und Anwendungen.....	27
Anlage 3	Biologische Wirkung von Laserstrahlung.....	30
Anlage 4	Laserklassen.....	37
Anlage 5	Beispiele für die Kennzeichnung der Laserklassen.....	46

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⁻² (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⁻² (Watt pro Quadratmeter)

(3) In der Fachliteratur wird die Strahlungsleistung auch mit den Formelzeichen ϕ , φ bzw. ϕ_e , φ_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 Strahlenbündels nach der Streuung durch eine Oberfläche oder eine Substanz in viele Richtungen. Ein vollkommen diffus streuendes Material zerstört jede Korrelation zwischen den Richtungen der einfallenden und der reflektierten Strahlung.

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 γ

Der Empfangswinkel γ 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 γ kann durch Blenden oder optische Elemente eingestellt werden. Die im Teil 2 der TROS Laserstrahlung verwendete Einheit für γ 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 Δt

Die Expositionsdauer Δt 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 in der Anlage 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 der Anlage 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, Anlage 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 60825-1:2008-05 [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 Strahlenquelle 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 α 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 Strahlenquelle 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 einem oder mehreren Lasern bzw. Laserstrahlungsquellen bestehen. In der Praxis findet man Begriffe wie Lasermaschine, Laseranlage usw.

4.25 Laserklassen

Die Laserklassen sind in Anlage 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 Anlage 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 Anlage 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 τ :

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

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).

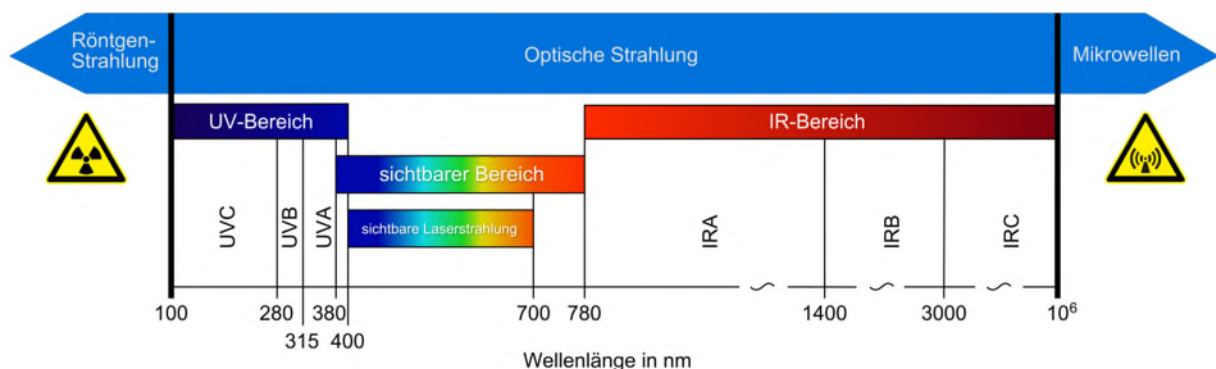


Abb. 1 Spektralbereiche der optischen Strahlung

(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 ρ

Der Reflexionsgrad ρ 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 Akkomodationsbereich des Auges (≥ 100 mm) befindet. Im Grenzfall verschwindender Divergenz, d. h. im Fall des ideal kollimierten Strahls, liegt die scheinbare Quelle im Unendlichen. Die Definition der scheinbaren Quelle wird im erweiterten Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm verwendet, da eine Bündelung durch übliche Linsen in diesem Bereich möglich sein könnte.

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 Spieglende 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 Ablenk-eigenschaften charakterisiert werden kann. Diffus reflektierte Strahlung von einer nicht spiegelnden Fläche wird nicht als Strahl angesehen.

4.40 Strahldichte L

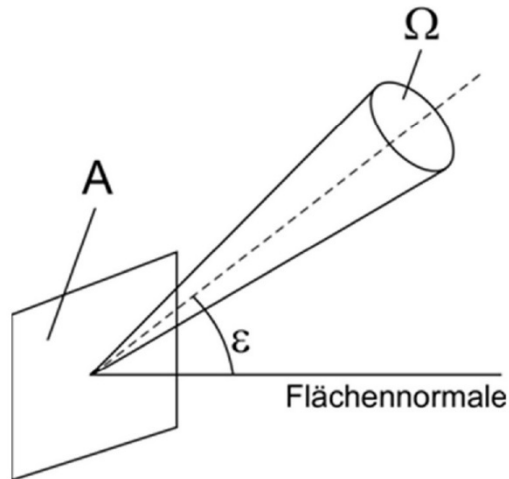
(1) Die Strahldichte L nach § 2 Absatz 8 OStrV ist der Strahlungsfluss oder die Strahlungsleistung P je Raumwinkel Ω je Fläche $A \cdot \cos \varepsilon$ (siehe Abbildung 2). Dies gilt bei homogener Verteilung der Strahlungsleistung. Die Strahldichte L ist gegeben durch den Zusammenhang

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

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

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

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

Abb. 2 Strahldichte L unter einem Winkel ε

4.41 Strahldivergenz φ

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 φ_{63} (im Folgenden mit φ 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 τ

Der Transmissionsgrad τ ist das Verhältnis der durchgelassenen zur einfallenden Strahlungsleistung.

4.47 Winkelausdehnung α

Die Winkelausdehnung α 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 soll eine abgeschlossene technische, naturwissenschaftliche, medizinische oder kosmetische Berufsausbildung (jeweils mindestens zwei Jahre) haben und über mindestens zwei Jahre Berufserfahrung verfügen. Der LSB hat einen Nachweis über die erfolgreiche Teilnahme an einem entsprechenden LSB-Lehrgang.

(2) Der LSB ist schriftlich zu bestellen. Mit der Bestellung überträgt der Arbeitgeber ihm seine konkreten Aufgaben, Befugnisse und Pflichten.

(3) An Arbeitsplätzen mit Laser-Einrichtungen der Klassen 3R oder höher unterstützt der LSB durch seine Fachkenntnisse den Arbeitgeber oder die fachkundige Person bei der Gefährdungsbeurteilung, die der Arbeitgeber gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) i. V. m. § 3 OStrV vorzunehmen hat. Der LSB hat den sicheren Betrieb der genannten Laser-Einrichtungen zu gewährleisten.

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

(5) Er 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. die Rechte und Pflichten des 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 diese zu überwachen sind.

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

Hinweis:

Die Aufgaben und 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 und des LSB in einer Person vereint sind.

5.2 Anforderung an die Kurse und Prüfung

5.2.1 Anforderungen an den Kursveranstalter

(1) Die Anforderungen an die Kurse und Prüfungen legt die zuständige Stelle 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 Medizin, 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 für allgemeine Kurse

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

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	8,5
in Zeitstunden:	6,5 h

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 % bzw. 11 von 15 Fragen richtig beantwortet wurden.
- (3) Wurden mindestens 50 % der Fragen aus der schriftlichen Prüfung richtig beantwortet, wird durch eine erfolgreiche mündliche Prüfung das Lehrgangsziel erreicht.
- (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.

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/>

Anlage 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.

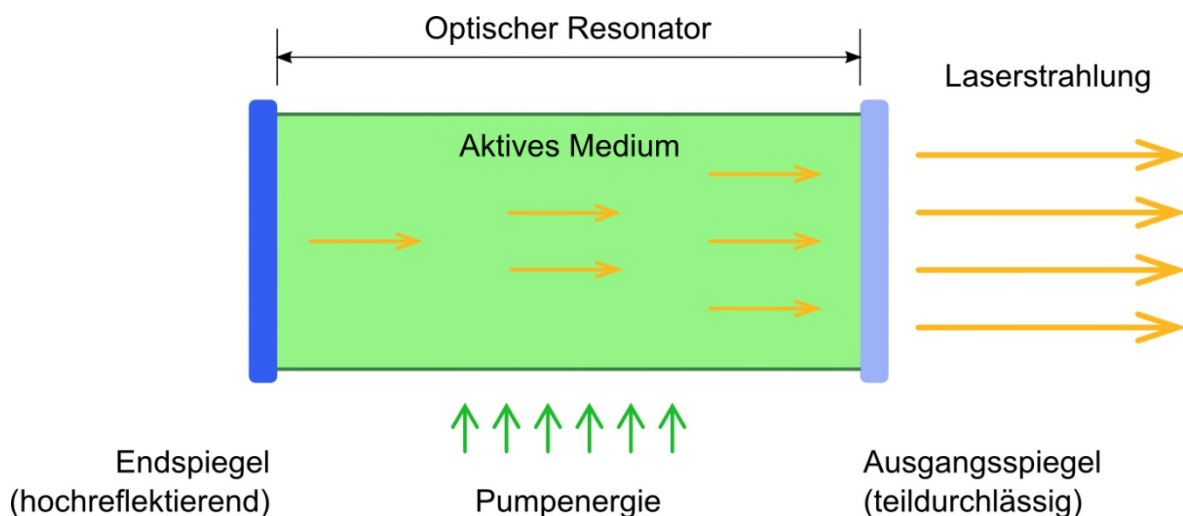


Abb. A1.1 Das Prinzip eines Lasers

(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, d. h. im Röntgenbereich erzeugt wird, fällt sie aufgrund der größeren Photonenenergie in den Regelungsbereich der ionisierenden Strahlung.

(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

Anlage 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 μm	Dauerstrich- betrieb Typische Ausgangs- leistung in W	Impulsbetrieb Typische Ausgangs- energie in J	Anwendungs- beispiele
Stickstoff (N_2)	0,3371		$0,12 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}$	optisches Pumpen von Farbstofflasern
Edelgas- Halogenid (Excimer) $\left\{ \begin{array}{l} \text{ArF} \\ \text{KrF} \\ \text{XeCl} \\ \text{XeF} \end{array} \right.$	0,1931 0,2484 0,308 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 (Ar^+)	Linien von 0,3511 bis 0,5287	0,5 - 25		Holografie, Messtechnik, Spektroskopie, Medizin, optisches Pumpen von Farbstofflasern
Krypton (Kr^+)	Linien von 0,324 bis 0,858	0,5 - 12		Spektroskopie, Fotolithografie, optisches Pumpen von Farbstofflasern, Medizin
Kohlendioxid (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 μm	Dauerstrich- betrieb Typische Ausgangs- leistung in W	Impuls- betrieb Typische Ausgangs- energie 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 InGaIn 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, optisches Pumpen von Festkörperlaser, Medizin
Farbstoffe (allgemein)	0,31 - 1,28	0,1 - 3	$2,5 \cdot 10^{-3}$ - 5	Materialbearbeitung, Medizin, Spektroskopie

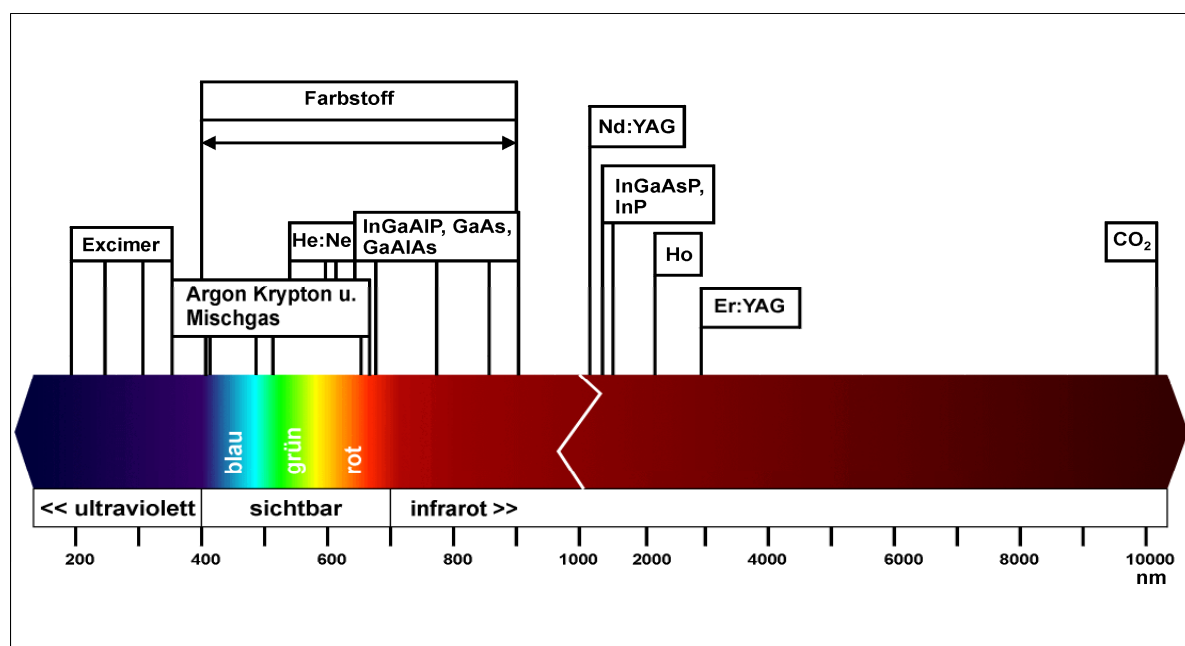


Abb. A2.1 Übersicht der Laserarten nach Wellenlängen

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

Anlage 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 ($< 50 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)¹⁾ 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 kurzwelligen 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 kurzwelligen 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.

(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

1) $1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

(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.

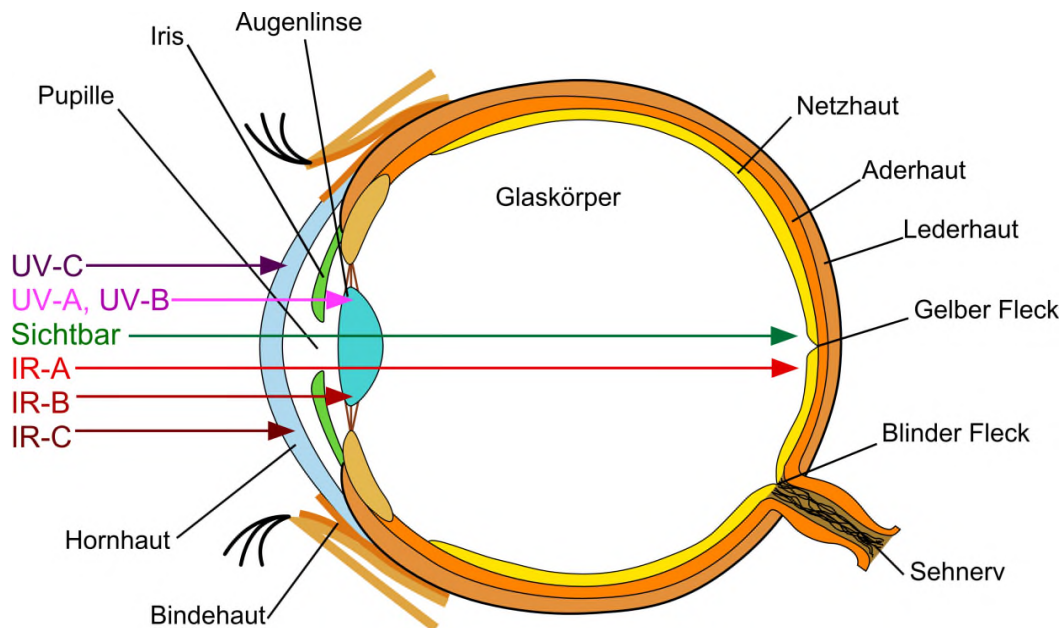


Abb. A3.1 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in das Auge (aus [5])

(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 einem 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 getrübe 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.

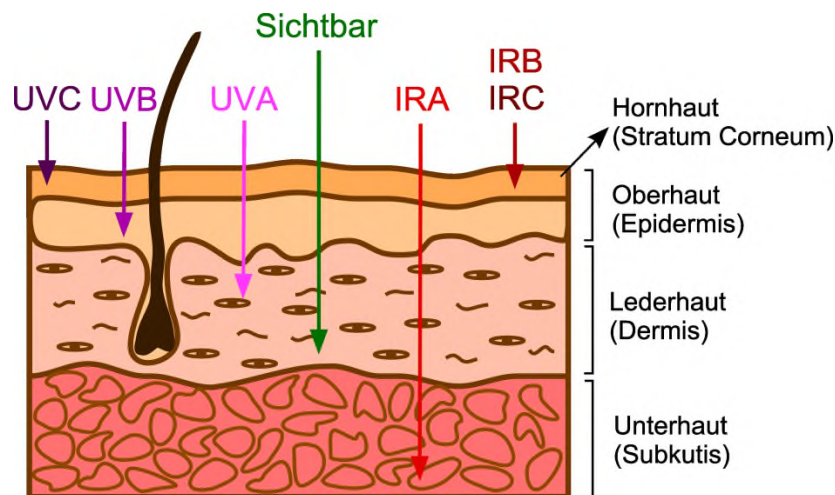


Abb. A3.2 Eindringvermögen verschiedener Wellenlängen in die Haut (aus [5])

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

6.1 A3.4 Indirekte Auswirkungen von Laserstrahlung

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.

Anlage 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 [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 bestand gemäß 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 [1].

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

Allgemeines

(1) Laser-Einrichtungen werden im Allgemeinen nach der Lasernorm DIN EN 60825-1: [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 derzeitige Einteilung 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:

Zurzeit wird eine neue Ausgabe der IEC 60825-1 bzw. EN 60825-1 beraten. Der zum Zeitpunkt der Erstellung der Technischen Regeln veröffentlichte Entwurf E DIN EN 60825-1 (VDE 0837-1):2012-11 sieht neue Grenzwerte für die Klassifizierung und die neue Laserklasse 1C vor. Bei der so neu definierten Laserklasse 1 können insbesondere bei gepulster Laserstrahlung die Expositionsgrenzwerte um bestimmte Faktoren überschritten werden (Beispiel: $\lambda = 632 \text{ nm}$, $T \text{ (Einzelimpuls)} = 20 \mu\text{s}$, $F = 50\,000 \text{ Hz} \rightarrow \text{Faktor } 15$). Bei der Verwendung von Lasern, die so klassifiziert wurden, müssen Schutzmaßnahmen wie bei den Laserklassen 3R und 3B getroffen 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 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 Zeit dauern 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. Daher sollte man, falls Laserstrahlung der Klasse 2 ins Auge trifft, bewusst die Augen schließen und sich sofort abwenden.

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 sollten nur dann eingesetzt werden, 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 Laserklasse 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 sollte beachtet werden, 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 in Anlage 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 (ENOH), 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. Obwohl die Höhe der Leistung und das Ablenkungsmuster so sein könnten, 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 verhindert, 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 könnte 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) Jede 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 einer möglicherweise gefährlichen 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 könnte, 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 umgewandelt werden, 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 sollte 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 α 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;
- Doppelfehlerbedingungen, die wahrscheinlich sein könnten. 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, könnte 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.

Anlage 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)
- λ Wellenlänge der Laserstrahlung (Einheit: nm)

A5.1 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1



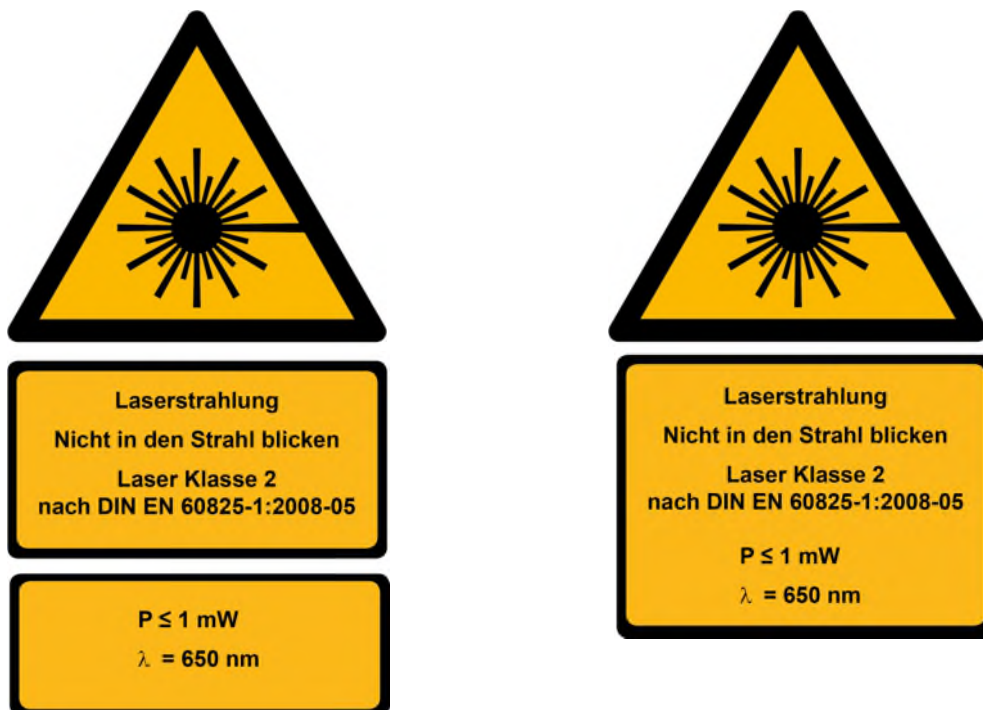
A5.2 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 1M



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



A5.6 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 3B

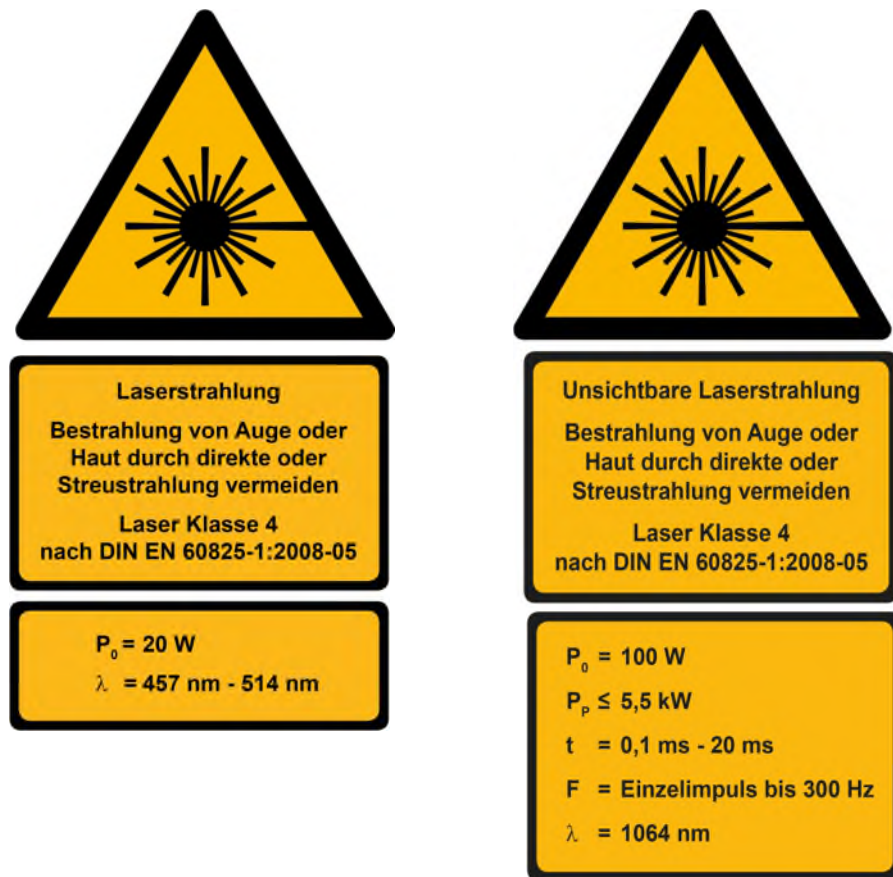


- a) sichtbare Laserstrahlung
 (z. B. Dauerstrichlaser)



- b) unsichtbare Laserstrahlung
 (z. B. Impulslaser)

A5.7 Kennzeichnung eines Lasers der Klasse 4



a) sichtbare Laserstrahlung
(z. B. Dauerstrichlaser)

b) unsichtbare Laserstrahlung
(z. B. Impulslaser)

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung

TROS Laserstrahlung*

Teil 1: Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung

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 gemacht.

Diese TROS Laserstrahlung, Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“, 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.

* GMBI. 12-15 vom 05.05.2015 S. 231

Inhalt

1.	Anwendungsbereich.....	55
2.	Begriffsbestimmungen.....	55
3.	Grundsätze zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.....	55
4.	Informationsermittlung.....	60
5.	Durchführung der Gefährdungsbeurteilung.....	62
6.	Unterweisung der Beschäftigten.....	69
7.	Allgemeine arbeitsmedizinische Beratung.....	71
8.	Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsüberprüfung.....	72
9.	Dokumentation.....	73
10.	Literaturhinweise.....	75
Anlage 1	Beurteilung der Gefährdung bei Tätigkeiten mit Lasern für Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme (LWLKS).....	77
Anlage 2	Beispiele und wichtige Punkte für spezielle Gefährdungsbeurteilungen.....	80
Anlage 3	Muster für die Dokumentation der Unterweisung.....	85

1. Anwendungsbereich

(1) Der Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung beschreibt die Vorgehensweise zur Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung nach § 3 der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV). Sie konkretisiert die Vorgaben der OStrV innerhalb des durch §§ 5 und 6 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) vorgegebenen Rahmens.

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

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

2. Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung erläutert sind.

3. Grundsätze zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung

3.1 Allgemeines

Nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) sind Gefährdungsbeurteilungen an Arbeitsplätzen durchzuführen. Dabei sind alle Gefährdungen zu betrachten, die durch physikalische, chemische oder sonstige Einwirkungen am Arbeitsplatz vorliegen können. Damit sind nach § 3 Absatz 1 OStrV auch Gefährdungen einzubeziehen, die durch Expositionen gegenüber Laserstrahlung auftreten können. § 3 Absatz 1 OStrV legt die grundlegenden Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung fest, während § 3 Absatz 2 OStrV die zu berücksichtigenden Punkte im Detail nennt. Gefährdungsbeurteilungen sind nach § 3 Absatz 3 OStrV vor der Aufnahme einer Tätigkeit durchzuführen. Ebenso sind vorher die notwendigen Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik festzulegen. Näheres wird in Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung beschrieben. Die Gefährdungsbeurteilung ist regelmäßig zu überprüfen und gegebenenfalls zu aktualisieren. Die Durchführung und das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung sind zu dokumentieren. § 3 Absatz 4 OStrV legt Anforderungen an den Inhalt und die Form der Dokumentation sowie für ihre Aufbewahrungsfrist fest.

Hinweis:

Beim Umgang mit Laser-Einrichtungen handelt es sich allgemein um eine bewusste Nutzung der besonderen und z. T. einzigartigen Eigenschaften der Laserstrahlung. Alternative Verfahren oder Substitutionen sind daher zumeist ausgeschlossen. Gewöhnlich werden dafür kommerziell erworbene Laser-Einrichtungen benutzt. Für diese Laser-Einrichtungen sind zumeist auch Angaben zu möglichen Gefährdungen vom Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Händler oder Einführer) vorhanden, die dieser nach dem Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) beibringen muss. Deshalb kann sich der Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung im

Zusammenhang mit Laser-Einrichtungen vor allem auf die Angaben des Herstellers stützen. Schwerpunkt bilden dabei die auf dem Produkt ausgewiesenen Laserklassen entsprechend einschlägiger Lasersicherheitsnormen (siehe Anlage 4 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung).

3.2 Ermittlung und Bewertung von Laserstrahlung am Arbeitsplatz

(1) Zunächst ist zu ermitteln, ob Beschäftigte Laserstrahlung ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können, von der eine Gefährdung der Sicherheit oder der Gesundheit ausgehen kann.

(2) Ist dies der Fall, so sind diese Gefährdungen zu bewerten und Schutzmaßnahmen abzuleiten. Dabei sind die verschiedenen Betriebszustände einer Laser-Einrichtung zu berücksichtigen.

(3) Der Arbeitgeber hat hierzu die auftretenden Expositionen zu ermitteln und zu bewerten. Nach § 3 OStrV ist für die Beschäftigten in jedem Fall eine Gefährdung gegeben, wenn die Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Es sind aber auch solche Gefährdungen zu betrachten, für die keine Expositionsgrenzwerte vorliegen (z. B. indirekte Auswirkungen – siehe Abschnitt 6.4 dieser TROS Laserstrahlung). Die Expositionsgrenzwerte sind in Anlage 4, Abschnitt 4.1 der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ aufgeführt.

Hinweis:

Eine relevante Gefährdung hinsichtlich der Laserstrahlung geht zum Beispiel nicht von einem DVD-Brenner aus, wenn die Quelle der Laserstrahlung durch das Öffnen des Gehäuses nicht frei zugänglich ist.

3.3 Organisation und Verantwortung

(1) Die Gefährdungsbeurteilung ist die systematische Beurteilung (Ermittlung und Bewertung) von Gefährdungen der Beschäftigten durch Laserstrahlung mit dem Ziel, erforderliche Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen. Die Gefährdungsbeurteilung betrachtet alle voraussehbaren Arbeitsabläufe im Betrieb und umfasst alle Gefährdungsfaktoren.

(2) Der Ablauf der Gefährdungsbeurteilung wird in folgenden Prozessschritten durchgeführt:

1. Festlegen der zu beurteilenden Arbeitsbereiche und Tätigkeiten,
2. Ermitteln der Exposition; Ermitteln der mit der Laserstrahlung verbundenen möglichen indirekten Auswirkungen,
3. Bewerten der möglichen Gefährdungen durch Exposition oder indirekte Auswirkungen,
4. Festlegen konkreter Arbeitsschutzmaßnahmen (bei diesem Schritt ist die Rangfolge der Maßnahmen nach § 4 ArbSchG und §§ 4, 5 und 7 OStrV zu beachten),
5. Durchführen der Maßnahmen,
6. Überprüfen der Wirksamkeit der Maßnahmen und Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung,

7. Fortschreiben der Gefährdungsbeurteilung.

(3) In der Regel erfolgt die Beurteilung der von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition durch die Laserstrahlung abhängigen Gefährdungen unter ungünstigsten Konstellationen tätigkeitsbezogen anhand der vorliegenden Laserklasse. Hierbei sind alle Betriebszustände zu berücksichtigen, insbesondere auch Wartung, Service, Instandhaltung, Errichtung. Die Beurteilung der mit Laserstrahlung verbundenen Gefährdungen kann auch personenbezogen erfolgen. Dazu werden dann die personenbezogenen Expositionsszenarien bestimmt. Dies ist der Ausnahmefall für spezielle Arbeiten.

(4) Eine mögliche oder tatsächliche Gefährdung ist nicht gegeben, wenn die Expositionsgrenzwerte bei maximal anzusetzender Expositionsdauer nach OStrV von 30 000 Sekunden (8-Stunden-Tag) nicht überschritten werden können und auch keine Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen gegeben sind sowie besondere Personengruppen (siehe Abschnitt 6.5) und besondere Anwendungen zusätzlich berücksichtigt wurden.

(5) Eine detaillierte Analyse ist notwendig, wenn Laser angewendet werden, die das Ziel haben, die Augen zu treffen (z.B. spezielle Datenbrillen oder Laser-Überwachungen). In der Regel müssen dann bei der Gefährdungsbeurteilung wegen möglicher vorübergehender Blendung bereits Expositionen zwischen $0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ und $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ berücksichtigt werden, die um viele Faktoren geringer als die Expositionsgrenzwerte sind. Eine genaue Analyse ist dann nur im Einzelfall möglich. In einem solchen Fall ist der Betriebsarzt oder ein Augenarzt mit entsprechenden Kenntnissen in die Gefährdungsbeurteilung einzubeziehen.

(6) Der Arbeitgeber darf bei möglichen Expositionen der Beschäftigten durch Laserstrahlung die Tätigkeit erst aufnehmen lassen, nachdem eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen worden ist und die daraus abgeleiteten Schutzmaßnahmen umgesetzt sind.

(7) Die Gefährdungsbeurteilung muss erneuert werden, wenn sich die Arbeitsbedingungen maßgeblich ändern oder Ergebnisse der arbeitsmedizinischen Vorsorge dies erfordern. Anlässe hierfür können insbesondere sein:

- Einsatz neuer oder zusätzlicher Laser-Einrichtungen,
- Änderung von Tätigkeiten, Arbeitsverfahren, Arbeitsumgebung oder Schutzmaßnahmen,
- Änderungen der OStrV oder des Technischen Regelwerkes,
- Änderungen des Standes von Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstiger gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse,
- Mitteilungen von Beschäftigten, der Fachkraft für Arbeitssicherheit, dem Sicherheitsbeauftragten oder dem Laserschutzbeauftragten (LSB), sofern vorhanden,
- Empfehlungen des Betriebsarztes oder des mit der Durchführung der arbeitsmedizinischen Vorsorge beauftragten Arztes nach § 7 Verordnung zur Arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV).

(8) Die Gesamtverantwortung für die Gefährdungsbeurteilung liegt beim Arbeitgeber.

(9) Verfügt der Arbeitgeber nicht über die erforderliche Fachkunde und die entsprechenden Kenntnisse zur Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung, hat er sich nach § 5 Absatz 1 OStrV fachkundig beraten zu lassen. Diese Beratung kann beispielsweise der LSB oder die Fachkraft für Arbeitssicherheit durchführen. Die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung kann an eine oder mehrere fachkundige Personen delegiert werden. Dazu ist es erforderlich, dass die für den Arbeitgeber tätig werdenden Personen über die notwendigen betriebsspezifischen Kenntnisse verfügen, Einsicht in alle für die Gefährdungsbeurteilung erforderlichen Unterlagen nehmen können und im Besitz aller notwendigen Informationen sind.

(10) Im Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung kann es notwendig werden, dass vor Aufnahme des Betriebs von Lasern ein LSB, gemäß Anforderungen in § 5 Absatz 2 OStrV, schriftlich zu bestellen ist. Dies gilt ausdrücklich für die Gewährleistung des sicheren Betriebs von Lasern der Klasse 3R, 3B und 4. Unter Umständen ist die Bestellung eines LSB aber auch in anderen Fällen, z. B. beim Umgang mit nicht klassifizierten Lasern in Abhängigkeit von der tatsächlichen Gefährdung, empfehlenswert. Sofern bereits vorhanden, wirkt der LSB bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung mit und ist in die Wirksamkeitskontrolle der Schutzmaßnahmen eingebunden. Vom Arbeitgeber müssen seine Aufgaben, Rechte und Pflichten (u. a. Bereich, Laser) genau festgelegt werden.

Hinweis:

Beim Betrieb von Lasern der Klasse 1M und 2M kann es in besonderen Einzelfällen sinnvoll sein, dass vom Arbeitgeber hierfür ein LSB bestellt wird. Diese können z. B. gegeben sein, wenn beim Betrieb nicht ausgeschlossen werden kann, dass der Strahl mit optisch sammelnden Instrumenten gebündelt wird und beim jeweiligen Einsatz die Expositionsgrenzwerte überschritten werden könnten. Für diese Anwendungsfälle wird der LSB von der OStrV und diesen technischen Regeln jedoch nicht gefordert.

(11) Werden für die Durchführung von Arbeiten in einem Betrieb Fremdfirmen beauftragt und besteht die Möglichkeit einer gegenseitigen Gefährdung durch Exposition gegenüber Laserstrahlung, haben alle betroffenen Arbeitgeber bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung zusammenzuwirken und sich abzustimmen. Näheres ist in § 8 ArbSchG geregelt.

(12) Die Gefährdungsbeurteilung muss auch Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen von Laserstrahlung berücksichtigen, z. B.

- vorübergehende Blendung,
- inkohärente optische Sekundärstrahlung, z. B. bei der Lasermaterialbearbeitung (siehe TROS IOS),
- ionisierende Strahlung durch die Laserstrahlung, z. B. Femtosekunden-Laser (siehe Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), Röntgenverordnung (RöV)),
- Entzündung von brennbaren Stoffen (siehe Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)),
- entstehende Gefahrstoffe (siehe GefStoffV),
- Lärm durch die Wechselwirkung von Laserstrahlung (siehe Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV)) und
- virale Partikel bei der Bearbeitung von Gewebe (siehe Biostoffverordnung (BioStoffV)).

Hinweis:

Gefährdungen durch die Laseranlage selbst (z. B. elektrische Gefährdung, Gefährdung durch elektromagnetische Strahlung, Gefährdung durch die Lasergase) sind nicht Gegenstand der OStrV und der TROS Laserstrahlung.

3.4 Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung

(1) Fachkundige für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung im Sinne des § 5 Absatz 1 OStrV sind Personen, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung oder Erfahrungen ausreichende Kenntnisse über die Gefährdungen durch Laserstrahlung haben. Sie sind auch mit den Vorschriften und Regelwerken soweit vertraut, dass sie die Arbeitsbedingungen und daraus resultierenden arbeitsplatzspezifischen Gefährdungen vor Beginn der Tätigkeit ermitteln und bewerten können. Der Fachkundige kann die Schutzmaßnahmen festlegen, bewerten und überprüfen.

(2) Umfang und Tiefe der notwendigen Kenntnisse sind häufig in Abhängigkeit von der zu beurteilenden Tätigkeit unterschiedlich. Fachkundige Personen für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung können zum Beispiel die Fachkraft für Arbeitssicherheit und ggf. der LSB sein.

(3) Die Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung verlangt Kenntnisse

1. der anzuwendenden Rechtsgrundlagen,
2. zu den physikalischen Grundlagen der Laserstrahlung,
3. der für die Beurteilung geeigneten Informationsquellen,
4. zu dem für die Beurteilung notwendigen Stand der Technik,
5. der Wirkungen von Laserstrahlung (auf die Augen, Haut und Materialien),
6. des Vorgehens bei der Beurteilung von Wechsel- oder Kombinationswirkungen von verschiedenen Laserquellen,
7. zu den Tätigkeiten im Betrieb, bei denen Personen Laserstrahlung ausgesetzt sein können,
8. der technischen, organisatorischen und personenbezogenen Schutzmaßnahmen (insbesondere Berechnung und Auswahl der Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Schutzeinhausungen),
9. der alternativen Arbeitsverfahren,
10. der Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen und
11. der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung.

3.5 Fachkundige für die Durchführung von Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung

(1) Messungen dürfen nur von Personen durchgeführt werden, die über die dafür notwendige Fachkunde und die erforderlichen Einrichtungen verfügen. Der Fachkundige für die Durchführung von Messungen und Berechnungen muss je nach Situation über die unter Abschnitt 3.4 aufgelisteten Kenntnisse zur Gefährdungsbeurteilung verfügen. Darüber hinaus muss er zusätzliche Kenntnisse in der Laserstrahlungsmesstechnik nach dem Stand der Technik, über die Durchführung von

Expositionsmessungen und die Beurteilung der Ergebnisse haben. Die Kenntnisse sind auf dem aktuellen Stand zu halten.

(2) Berechnungen dürfen nur von Personen durchgeführt werden, die über die dafür notwendige Fachkunde verfügen.

(3) Die Kenntnisse für die Durchführung von Expositionsmessungen und -berechnungen am Arbeitsplatz können u. a. durch Teilnahme an einer geeigneten Fortbildungsveranstaltung von z. B. Technischen Akademien, Unfallversicherungsträgern oder ähnlichen Institutionen erworben und aufgefrischt werden.

3.6 Aufgaben, Rechte und Pflichten des Laserschutzbeauftragten (LSB)

Wird bei der Gefährdungsbeurteilung festgestellt, dass ein Laser der Klasse 3R, 3B oder 4 betrieben werden soll, muss vom Arbeitgeber schriftlich ein LSB bestellt werden. Im Bestellschreiben müssen der Verantwortungsbereich und die zugehörigen Aufgaben sowie Abgrenzungen zu Aufgaben anderer klar definiert sein. Die Aufgaben, Rechte und Pflichten des LSB sind im Abschnitt 5 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung näher beschrieben.

3.7 Gleichartige Arbeitsbedingungen

Bei gleichartigen Arbeitsbedingungen reicht in der Regel auch bei räumlich getrennten Arbeitsplätzen die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit aus. Tätigkeiten, die aufgrund der Arbeitsbedingungen als gleichartig angesehen werden, können zusammengefasst werden. Die Dokumentation kann arbeitsplatz- oder tätigkeitsbezogen, aber auch personenbezogen erfolgen. Bei einer arbeitsbereichsbezogenen Dokumentation muss nachvollziehbar sein, welchem Arbeitsbereich die Beschäftigten zuzuordnen sind. Die Anforderungen an die Dokumentation sind im Abschnitt 10 dieser TROS Laserstrahlung beschrieben.

4. Informationsermittlung

4.1 Allgemeines

(1) In den Abschnitten 4.2 bis 4.4 werden nur die Informationsquellen zu Gefährdungen durch direkte Auswirkungen dargestellt. Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen von Laserstrahlung werden im Abschnitt 6.4 betrachtet.

(2) Hinweise zum Auftreten von Laserstrahlung am Arbeitsplatz befinden sich in Anlage 2 der TROS Laserstrahlung Teil „Allgemeines“.

4.2 Informationsquellen für die Gefährdungsbeurteilung

(1) Hersteller, Händler und Einführer gemäß Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) bzw. Inverkehrbringer nach Medizinproduktegesetz (MPG) sind dazu verpflichtet, entsprechende Unterlagen zu liefern, die alle zum sicheren Betrieb erforderlichen Informationen enthalten.

(2) Laser-Einrichtungen werden in der Regel kommerziell erworben. Im Allgemeinen hat der Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Händler oder Einführer) nach gesetzlichen Produktsicherheitsvorgaben bereits eine Klassifizierung der Gefährdungen nach international vereinbarten technischen Normen vorgenommen

und eine bestimmte Laserklasse zugewiesen. Die Laserklassen sind mit verschiedenen konstruktiven Vorgaben, Informationspflichten und u. U. spezifischen Warnhinweisen verbunden. Die Laserklassen und weitere Informationen sind wichtige Ausgangspunkte für die Gefährdungsbeurteilung.

(3) Für den europäischen Wirtschaftsraum ist in der Regel eine Klassifizierung der Laser-Einrichtung durch den Hersteller, Bevollmächtigten oder Einführer nach den Normserien DIN EN 60825 [2, 3, 4] und DIN EN ISO 11553 [5, 6] (bei Laser-Maschinen) erforderlich. An erster Stelle steht dabei, ob im spezifischen Arbeitsumfeld ein Laserbereich entsteht. In den meisten Fällen wird es sich im Arbeitsumfeld um ortsfeste Einrichtungen handeln.

(4) Kann ein Laserbereich entstehen bzw. wird mit nicht klassifizierten Lasern gearbeitet, werden – je nach Laserart – für die Gefährdungsbeurteilung folgende Informationen benötigt: die Angaben zur Leistung, Energie, Strahldivergenz, Impulswiederholfrequenz, Wellenlänge, Augensicherheitsabstand und Laserklasse (Begriffe siehe Abschnitt 4 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung).

(5) Für Maschinen muss eine Risikobeurteilung nach 9. ProdSV durch den Hersteller erfolgen. Sofern diese für den Arbeitgeber verfügbar ist, kann sie bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden (z. B. gibt der Hersteller oft den Sicherheits-Integritätslevel (SIL) oder Performance Level (PL) bekannt).

(6) Eine Besonderheit stellen vollständig eingehauste oder gekapselte Laser-Einrichtungen z. B. zur Materialbearbeitung oder Beschriftung dar. Da im bestimmungsgemäßen Normalbetrieb keine Laserstrahlung nach außen dringt, werden diese Einrichtungen vom Hersteller häufig der Laserklasse 1 zugeordnet.

(7) Bei Arbeiten, die nicht dem Normalbetrieb entsprechen (z. B. Service- oder Wartungs- bzw. Instandsetzungsarbeiten) kann allerdings oft Laserstrahlung zugänglich bzw. mit Strahlungsgrößen umgegangen werden, die einer höheren Laserklasse entsprechen und zumeist neben den Gefährdungen durch direkte Auswirkungen auch ein großes sekundäres Gefährdungspotenzial besitzen können. Für diese Fälle ist eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung notwendig, in deren Anschluss die Zuständigkeiten (u. a. Fremd- oder Eigenservice, Unterweisungen, Personenkreis, etc.) und die Schutzmaßnahmen für diese Tätigkeiten geregelt werden.

(8) Grundsätzlich sind diejenigen Maßnahmen zu realisieren, die Lasern der entsprechenden höheren Klasse zugeordnet sind. Dazu muss zwischen folgenden Betriebszuständen unterschieden werden [13]:

1. Normalbetrieb und
2. Inbetriebnahme (Ingangsetzen), Einrichten, Probetrieb, Stillsetzen, Wartung/Pflege, Instandsetzung und Störungen/Ausfälle.

Hinweis:

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ist in jedem Fall festzulegen, ob Einstell- und Wartungsarbeiten in Eigenregie oder durch den Hersteller bzw. eine beauftragte Wartungsfirma durchgeführt werden. Im letzteren Fall, bei „Fremdwartung“, trägt die Wartungsfirma die Verantwortung für den Laserschutz während der Wartungsarbeiten. In der Gefährdungsbeurteilung ist festzulegen, wie die Zusammenarbeit mit dem Wartungspersonal im Einzelfall vor Ort organisiert und geregelt werden soll.

(9) Für die Gefährdungsbeurteilung sind vorzugsweise bereits vorhandene Messwerte (Laserdaten) heranzuziehen, die an den Arbeitsmitteln und unter den konkret vorliegenden Bedingungen im Betrieb erhoben worden sind (z. B. bei Showlasern). Aufgrund der Komplexität der Messungen wird insbesondere bei Materialbearbeitungslasern in der Regel auf die Herstellerdaten verwiesen. Genauere Informationen finden sich in der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen durch Laserstrahlung“.

4.3 Verfügbarkeit und die Möglichkeit des Einsatzes alternativer Arbeitsmittel und Ausrüstungen, die zu einer geringeren Gefährdung der Beschäftigten führen (Substitutionsprüfung)

(1) Ergibt sich aus der Gefährdungsbeurteilung, dass Schutzmaßnahmen erforderlich sind, hat die Überprüfung der Einsatzmöglichkeit von alternativen Arbeitsverfahren, z. B. Laser kleinerer Leistung, anderer Wellenlänge oder Arbeitsverfahren mit niedrigerer Gefährdung Vorrang vor anderen Maßnahmen.

(2) Das Ergebnis der Substitutionsprüfung wird in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung festgehalten. Beispielsweise können für Laser zu Projektionszwecken an Maschinen für fast alle Anwendungen Laser der Klasse 1, 2, 1M oder 2M eingesetzt werden. Laser der Klasse 3R, 3B oder 4 stellen hierfür die Ausnahme dar. Eine Substitution von Hochleistungslasern, z. B. in der Materialbearbeitung, ist in der Regel ohne Weiteres nicht möglich.

4.4 Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge

Sofern Erkenntnisse aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge vorliegen, sind diese bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

4.5 Arbeitsmedizinische Vorsorge

(1) Für Beschäftigte, die in Bereichen mit Laserstrahlung tätig sind, sieht die Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) in Bezug auf die Exposition gegenüber Laserstrahlung weder eine Pflicht- noch eine Angebotsvorsorge vor.

(2) Individuelle arbeitsmedizinische Vorsorge kann Unfälle nicht verhindern. Eine unmittelbare Exposition von Beschäftigten ist niemals beabsichtigt und muss durch technische und organisatorische Schutzmaßnahmen sicher verhindert werden. Für inkohärente optische Sekundärstrahlung (z. B. durch Lasermaterialbearbeitung oder Pumpquellen) siehe TROS IOS Teil 1 Abschnitt 5.

(3) Der Arbeitgeber hat Beschäftigten nach § 11 ArbSchG bzw. § 5a ArbMedVV arbeitsmedizinische Vorsorge zu ermöglichen, sofern ein Gesundheitsschaden im Zusammenhang mit der Tätigkeit nicht ausgeschlossen werden kann (Wunschvorsorge).

5. Durchführung der Gefährdungsbeurteilung

5.1 Allgemeines

(1) Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen hat der Arbeitgeber zunächst festzustellen, ob die Beschäftigten Laserstrahlung ausgesetzt sind oder ausgesetzt

sein können. Ist dies der Fall, hat er alle hiervon ausgehenden Gefährdungen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten zu beurteilen. Dabei ist gegebenenfalls zwischen Normalbetrieb und anderen Betriebsarten (siehe Abschnitt 4.2 Absatz 7 und 8 dieser TROS Laserstrahlung) zu unterscheiden.

(2) Im Allgemeinen besteht z. B. bei Lasern der Klasse 1 keine Gefährdung durch direkte Auswirkungen von Laserstrahlung, da die Expositionsgrenzwerte auch bei Benutzung optischer Instrumente (unterstellt bis 50 mm Durchmesser, Vergrößerung bis Faktor 7 bei Lupen) eingehalten werden. Beispiele für solche Laser der Klasse 1 sind

- Kassenscanner,
- CD-Player und
- Laserdrucker.

(3) Die Gefährdungsbeurteilung bei Laserstrahlung umfasst insbesondere

- die Ermittlung von Art, Ausmaß und Dauer der Exposition durch Laserstrahlung,
- die Berücksichtigung von Herstellerangaben insbesondere zur Laserklasse, zu Strahldaten und zur bestimmungsgemäßen Verwendung der Laser-Einrichtung,
- die Prüfung der Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nach Anlage 4, Abschnitt 4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung. Hierbei müssen gegebenenfalls die Randbedingungen und Grenzen der Anwendbarkeit der jeweiligen ausgewählten Expositionsgrenzwerte berücksichtigt werden,
- die Prüfung der Verfügbarkeit alternativer Arbeitsmittel, insbesondere alternativer Laserstrahlungsquellen, die zu einer geringeren Exposition der Beschäftigten führen (Substitutionsprüfung),
- die Einbeziehung von Erkenntnissen aus der arbeitsmedizinischen Vorsorge sowie von allgemein zugänglichen Informationen hierzu,
- die Festlegung von Schutzmaßnahmen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“),
- die Prüfung der Verfügbarkeit und Wirksamkeit von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“),
- die Beachtung von Auswirkungen auf die Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten, die besonders gefährdeten Gruppen angehören,
- die Festlegung eines Laserbereichs und Kennzeichnungen,
- die Beurteilung der Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen und gegebenenfalls Festlegung von Schutzmaßnahmen hierzu.

(4) Entsprechend den Ergebnissen der Gefährdungsbeurteilung (siehe Abbildungen 1 und 2) hat der Arbeitgeber Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik festzulegen (siehe TROS Laserstrahlung Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“) und auf deren Wirksamkeit zu prüfen.

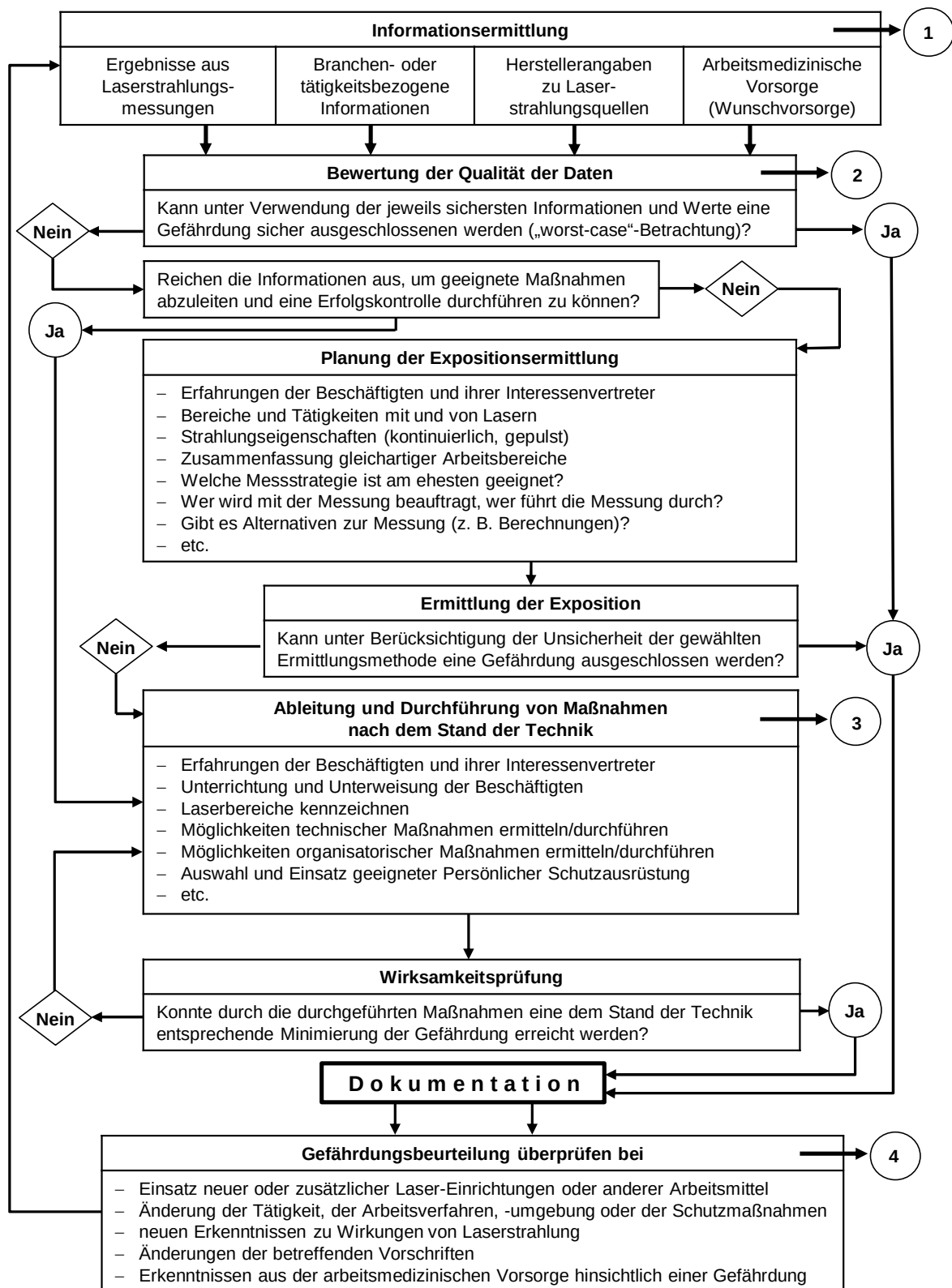


Abb. 1 Beurteilung der Arbeitsbedingungen bei Expositionen gegenüber Laserstrahlung

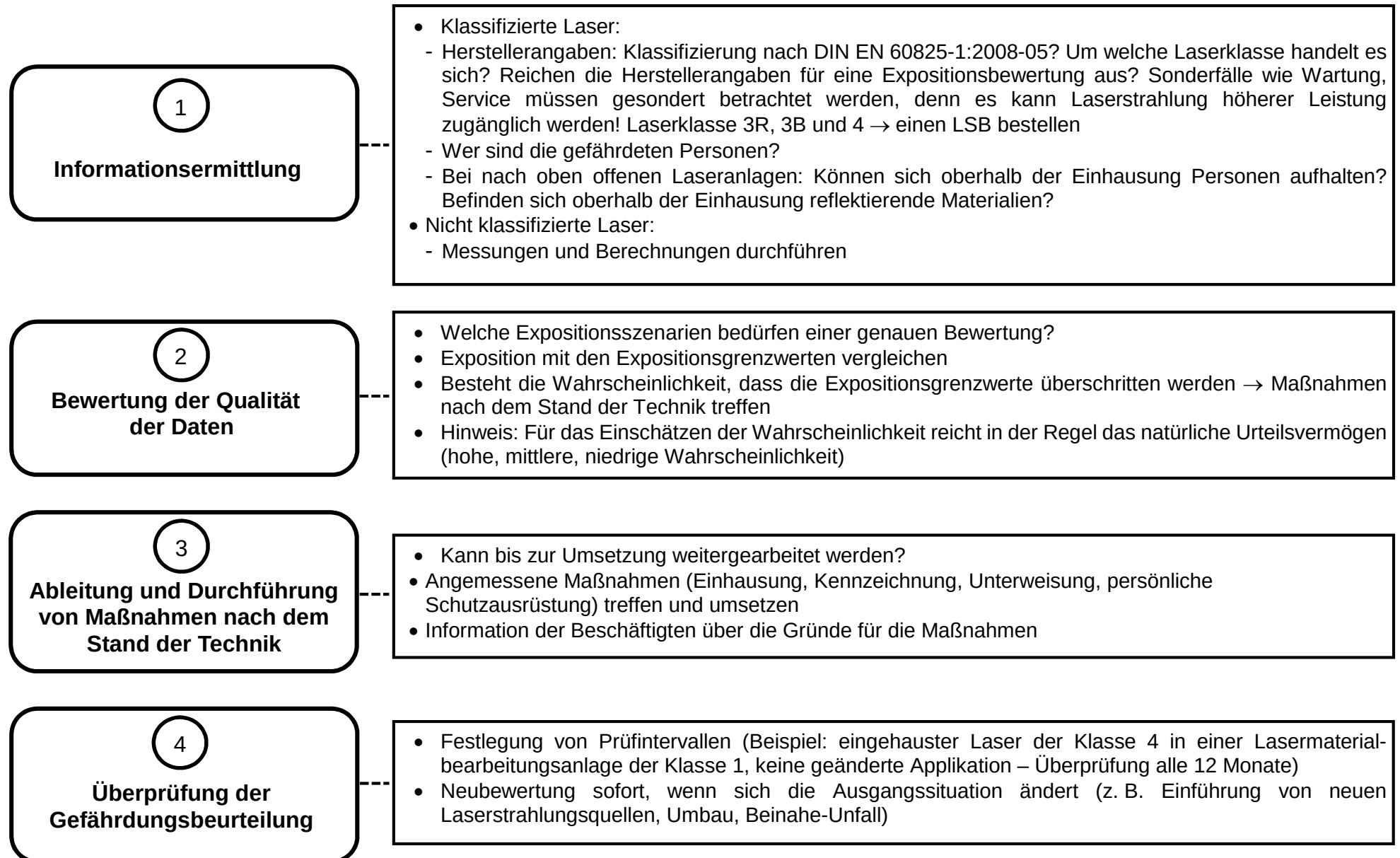


Abb. 2 Ergänzung zu Abbildung 1

5.2 Tätigkeitsanalyse

Die Arbeits- und Expositionsbedingungen müssen vor der Messung möglichst genau festgestellt werden. Dazu gehören u. a. Informationen zur Laserstrahlung, zu den Aufenthaltsorten und zur Expositionsdauer exponierter Personen sowie zur Art der verwendeten Schutzausrüstungen.

5.3 Gefährdungen durch Wechsel- und Kombinationswirkungen

Bei der Gefährdungsbeurteilung sind mögliche Wechsel- und Kombinationswirkungen von Laserstrahlung zu berücksichtigen (siehe Anlage 3 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung).

5.4 Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen

(1) Der Arbeitgeber ist verpflichtet, auch Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen von Laserstrahlung zu vermeiden. Wenn deren Beseitigung nicht möglich ist, sind diese Gefährdungen so weit wie möglich zu vermindern.

(2) Gefährdungen durch vorübergehende Blendung durch sichtbare Laserstrahlung sind bei der Beurteilung der Gefährdungen zu berücksichtigen.

(3) Vorübergehende Blendung durch sichtbare Laserstrahlung kann schon relativ weit unterhalb der Expositionsgrenzwerte nach § 6 Absatz 2 OStrV auftreten, z. B. auch beim Einsatz von Lasern der Klasse 1 im sichtbaren Bereich. In der Regel müssen dann bei der Gefährdungsbeurteilung wegen möglicher vorübergehender Blendung Laser mit Strahlungsleistungen typisch zwischen 1 μW und 10 μW bei 7-mm-Blende berücksichtigt werden.

(4) Durch vorübergehende Blendung können insbesondere bei niedriger Umgebungshelligkeit Irritationen (Ablenkung, Fehlreaktion), Blitzlichtblindheit und Nachbilder entstehen. Eine Blendung kann beim Geblendeten eine Verminderung der Sehfähigkeit, d. h. eine Beeinträchtigung verschiedener Sehfunktionen, wie z. B. der Sehschärfe (Visus), der Farbsehfähigkeit und der Kontrastempfindlichkeit, verursachen.

(5) Eine direkte, reflektierte oder gestreute Laserstrahlung mit ausreichend hoher Energiedichte (Leistungsdichte und Einwirkungsdauer) kann unter bestimmten Umständen Stoffe entzünden (Brandgefahr) oder Gas- bzw. Dampfgemische zur Explosion bringen. In der TRBS 2152 Teil 3 [7], Abschnitt 5.10, werden hierzu detailliertere Aussagen getroffen.

(6) An Arbeitsplätzen mit einer direkten, reflektierten oder gestreuten Laserstrahlung mit ausreichend hoher Energiedichte (Leistungsdichte und Einwirkungsdauer) sind die Aufbewahrung oder die Erzeugung leicht entzündlicher Stoffe und explosionsfähiger Gemische zu vermeiden. Bei der Gefährdungsbeurteilung ist dies zu prüfen (siehe auch TRBS 2152 Teil 3 [7], Abschnitt 5.10). Gegebenenfalls müssen weitere Fachkunde eingeholt und entsprechende Maßnahmen nach BetrSichV oder GefStoffV ergriffen werden.

(7) Bei leistungsstarken Lasern der Klasse 3B und 4 besteht in sauerstoff-angereicherter Umgebung erhöhte Brandgefahr durch entflammbares Material im Strahlführungssystem, an der Bearbeitungsstelle und in der Arbeitsumgebung.

(8) Bevor ein Stoff Laserstrahlung ausgesetzt wird, ist zu prüfen, ob durch Verdampfen, Verbrennen, durch chemische Reaktionen oder durch Bildung von Aerosolen gesundheitsgefährliche Konzentrationen von Gasen, Dämpfen, Stäuben oder Nebeln entstehen können [17] (siehe GefStoffV und Technische Regeln für Gefahrstoffe, z. B. TRGS 900 [8]).

5.5 Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit von Beschäftigten, die besonders gefährdeten Gruppen angehören

(1) Die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte gemäß OStrV reicht zum Schutz der besonders gefährdeten Gruppen nicht in jedem Fall aus. Für besonders gefährdete Gruppen sind individuell angepasste Schutzmaßnahmen nötig. Sinnvoll ist hierbei eine arbeitsmedizinische Beratung.

(2) Zu den besonders gefährdeten Personengruppen gehören:

1. Personen, deren Haut überdurchschnittlich fotosensibel ist

Es gibt Personen, deren Haut wesentlich empfindlicher auf sichtbare und ultraviolette Strahlung reagiert als beim Durchschnitt der Bevölkerung. Eine solche individuell erhöhte Fotosensibilität kann anlagebedingt sein oder als Erkrankung auftreten. Die Stärke der besonderen Hautempfindlichkeit kann sich im Laufe des Lebens verändern.

2. Personen mit Vorerkrankungen der Augen

Personen, deren Augenlinsen getrübt sind, weisen eine erhöhte Blendempfindlichkeit auf. Bei Vorschädigung eines Auges besteht eine erhöhte Gefährdung für die Einschränkung des gesamten Sehvermögens.

3. Personen mit Vorerkrankungen der Haut

Personen, die schon einmal an Hautkrebs erkrankt waren, weisen ein erhöhtes Risiko auf, erneut daran zu erkranken.

Verletzungen der Haut (mechanisch, Verbrennungen) können zu einer höheren Empfindlichkeit gegenüber optischer Strahlung führen.

4. Personen, deren natürliche Augenlinse durch eine künstliche Linse ersetzt wurde

Bei Personen, deren künstliche Augenlinse nicht der spektralen Transmission der natürlichen Augenlinse entspricht, kann die Netzhaut besonders gefährdet sein.

5. Personen, die Medikamente einnehmen, welche die Fotosensibilität erhöhen

Bestimmte Inhaltsstoffe von Medikamenten können die Fotosensibilität der Haut deutlich erhöhen (siehe auch [16]).

Hinweis:

Im Hinblick auf die Sicherheit und die Gesundheit von Kindern und Jugendlichen am Arbeitsplatz sind die Vorgaben des Jugendarbeitsschutzgesetzes (JArbSchG) und der Kinderarbeitsschutzverordnung (KindArbSchV) zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf die Sicherheit und die Gesundheit von Schwangeren und stillenden Müttern am Arbeitsplatz sind die Vorgaben des Mutterschutzgesetzes (MuSchG) und der Verordnung zum Schutz der Mütter am Arbeitsplatz (MuSchArbV) zu berücksichtigen.

5.6 Auswirkungen auf die Sicherheit und Gesundheit von Beschäftigten, die sich aus dem Zusammenwirken von künstlicher optischer Strahlung und fotosensibilisierenden chemischen Stoffen am Arbeitsplatz ergeben können

Die Aufnahme bestimmter chemischer Stoffe in den Körper kann die Fotosensibilität von Personen erhöhen. Solche Stoffe können in der Luft am Arbeitsplatz oder auf kontaminierten Oberflächen vorkommen. Ist der zu bewertende Arbeitsplatz möglicherweise mit chemischen Stoffen belastet, ist zu prüfen, ob darunter auch Stoffe sind, die die Fotosensibilität erhöhen. Eine Liste fotosensibilisierender Stoffe ist in der Tabelle 1 wiedergegeben. Treten solche Stoffe am Arbeitsplatz auf, kann möglicherweise die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nach OStrV zum Schutz vor Gefährdungen nicht ausreichen. In diesem Fall sind Maßnahmen zu ergreifen, um diese Stoffe vom Arbeitsplatz zu entfernen oder geeignete Ersatzstoffe einzusetzen, die nicht fotosensibilisierend wirken. Ist dies nicht möglich, müssen die Schutzmaßnahmen gegen optische Strahlung entsprechend ausgelegt werden. Stoffe, die die Fotosensibilität erhöhen, können auch in Kosmetika oder Medikamenten enthalten sein. Über die Einnahme von Medikamenten oder die Benutzung von Kosmetika darf der Arbeitgeber Beschäftigte jedoch nicht befragen. Das Thema ist deshalb Gegenstand der Unterweisung (siehe Abschnitt 7 dieser TROS Laserstrahlung).

Tab. 1 Liste ausgewählter fotosensibilisierender Stoffe (aus [14] und [15])

Fototoxische Wirkung	Fotoallergische Wirkung
Teer- und Pechbestandteile Polyzyklische Kohlenwasserstoffe Anthrazen Fluoranthren	Antimikrobielle Substanzen in Kühlschmierstoffen, Seifen und Kosmetika Halogenierte Salizylanilide Hexachlorophen Bithionol
Furokumarine in Pflanzen, z. B. Bärenklau, Wiesengräser in ätherischen Ölen, z. B. Bergamotteöl	Duftstoffe in Seifen und Kosmetika 6-Methylcoumarin Ambrette Moschus Parfüm-Mix
Farbstoffe Antrachinonfarbstoffe Thiazine Methylenblau Toluidinblau Eosin Bengalrot Akridin	UV-Filtersubstanzen in Lichtschutzmitteln Paraminbenzoesäure und -ester Benzophenone Zimtsäureester

5.7 Wiederholung der Gefährdungsbeurteilung

(1) Die Gefährdungsbeurteilung muss regelmäßig überprüft und ggf. aktualisiert werden. Eine erneute Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ist notwendig, wenn sich die Arbeits- und Expositionsbedingungen maßgeblich ändern oder Ergebnisse der arbeitsmedizinischen Vorsorge (Wunschvorsorge) dies erfordern. Anlässe hierfür können insbesondere sein:

- Einsatz neuer und zusätzlicher Strahlungsquellen oder Arbeitsmittel,
- Änderung von Tätigkeiten, Arbeitsverfahren, Arbeitsumgebung oder Schutzmaßnahmen,
- Änderungen der OStrV und des Technischen Regelwerkes,
- Änderungen des Standes der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstiger gesicherter arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse oder
- Empfehlung des Betriebsarztes und des mit der Durchführung von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen beauftragten Arztes nach § 7 ArbMedVV.

(2) Falls die erneuerte Gefährdungsbeurteilung zu abweichenden Ergebnissen führt, sind die Schutzmaßnahmen entsprechend anzupassen.

6. Unterweisung der Beschäftigten

(1) Die Unterweisung der Beschäftigten nach § 8 OStrV ist auf Basis der Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Sie ist erforderlich, wenn Gefährdungen für Sicherheit und Gesundheit, auch solche durch indirekte Auswirkungen, möglich sind. Hierbei ist auch das mögliche Fehlverhalten des Bedieners zu berücksichtigen, z. B. Abschrauben der Einhausung oder Abdeckung an einer Maschine oder an einem Laser. Die Unterweisung hat das Ziel, die Beschäftigten über die Gefährdungen durch direkte und indirekte Auswirkungen der Laserstrahlung zu informieren und sie mit den vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und mit den erforderlichen Schutzmaßnahmen im Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung vertraut zu machen, damit Gesundheitsschäden durch Laserstrahlung verhindert werden. Den Beschäftigten wird aufgezeigt, worin die Gefährdungen bestehen, wie die Laserstrahlung in Bezug auf die Expositionsgrenzwerte einzuschätzen ist, welche Maßnahmen ergriffen wurden und wie sie an deren Umsetzung mitwirken können. Die ordnungsgemäße Handhabung der Laser-Einrichtung kann zur Verringerung der Exposition beitragen. In diesem Zusammenhang sind z. B. erforderliche Verhaltens- und Handlungsweisen zu erklären.

(2) Im Hinblick auf die Gefährdungen durch Laserstrahlung bei Lasern der Klasse 3R, 3B oder 4 unterstützt der LSB den Arbeitgeber bei der Unterweisung. Er kooperiert mit der Fachkraft für Arbeitssicherheit, dem Betriebsarzt und ggf. weiteren Beauftragten.

(3) Die Unterweisung ist vor Aufnahme der gefährdenden Tätigkeit, z. B. nach der Einstellung oder Versetzung bzw. vor der ersten Inbetriebnahme der Laseranlage sowie mindestens einmal jährlich durchzuführen. Sie ist in einer für die Beschäftigten verständlichen Form und Sprache durchzuführen. Vor wesentlichen Änderungen der Arbeitsbedingungen und Expositionssituationen hat der Arbeitgeber über die neue Gefährdungssituation zu unterweisen. An Laserarbeitsplätzen können solche Anlässe sein:

- Änderung der Laserklasse (z. B. Änderung der Laserleistung),
- Gefährdungen durch neue Arbeitsverfahren, bzw. geänderte Anwendung,
- Inbetriebnahme einer neuen Laseranlage mit anderer Wellenlänge,
- (Beinahe-)Unfallgeschehen.

Hinweis:

Kürzere Unterweisungsintervalle können sich auch aus speziellen Arbeitsschutzvorschriften ergeben, z. B. § 29 JArbSchG, das eine halbjährliche Unterweisung fordert.

(4) Die Mindestinhalte der Unterweisung sind im § 8 OStrV beschrieben. Entsprechend der Gefährdungsbeurteilung können folgende Punkte darüber hinaus erforderlich sein:

- die Eigenschaften der Laserstrahlung,
- die Möglichkeit der Blendung durch sichtbare Laserstrahlung und deren indirekte Auswirkungen,
- die Art der Gefährdung und Möglichkeit der Schädigungen von Haut und Augen durch Laserstrahlung,
- die Expositionsgrenzwerte und ihre Bedeutung,
- die tatsächlich ermittelten Expositionswerte zusammen mit der Bewertung der damit verbundenen Gefährdungen (direkte Gefährdung durch Laserstrahlung an einer Laseranlage), u. a. Wirkung der Laserstrahlung auf Auge und Haut, mögliche Verletzungen und Verletzungsfolgen,
- Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen der Laserstrahlung wie lasergenerierte Schadstoffe [17] (auch durch optische Komponenten wie ZnSe-Linsen), Zündung explosionsfähiger Atmosphären und explosionsgefährlicher Stoffe, Brandgefahr und Sekundärstrahlung,
- die festgelegten Maßnahmen zur Beseitigung oder zur Minimierung der Gefährdung unter Berücksichtigung der Arbeitsplatzbedingungen,
- die bestimmungsgemäße Verwendung der persönlichen Schutzausrüstungen und ggf. anderer individueller Maßnahmen, erforderlichenfalls ergänzt durch eine Schulung in der Benutzung,
- Verhalten im Laserbereich bei Normalbetrieb, insbesondere mögliches Fehlverhalten, wie das Abschrauben der Einhausung oder Abdeckung an einer Laser-Einrichtung,
- Verhalten im Laserbereich bei Service- und Wartungsarbeiten,
- Verhalten bei Unfällen im Laserbereich (Liste der potentiellen Notsituationen und Beschreibung der zugehörigen Rettungs-/Räumungsmaßnahmen, vorsorgliche Einweisung für Ersthelfer und Rettungskräfte),
- Voraussetzungen, unter denen die Beschäftigten Anspruch auf arbeitsmedizinische Vorsorge haben, und deren Zweck,
- die bestimmungsgemäße Handhabung der Arbeitsmittel und sichere Arbeitsverfahren zur Minimierung der Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung,

- Hinweise zur Erkennung und Meldung möglicher Gesundheitsschäden,
- Hinweise zu Wirkungen von Medikamenten, Kosmetika und Gefahrstoffen (z. B. fotosensibilisierende Effekte).

(5) Liegt ein Fall von Arbeitnehmerüberlassung vor, trifft die Pflicht zur betriebsspezifischen Unterweisung gemäß § 12 ArbSchG den Entleiher. Er hat den Beschäftigten, der ihm zur Arbeitsleistung überlassen wurde, über die mit der konkreten Tätigkeit verbundenen Gefährdungen zu unterweisen. Die sonstigen Arbeitsschutzpflichten des Verleihers als Arbeitgeber, insbesondere die Pflicht zur allgemeinen Unterweisung (unabhängig vom konkreten Arbeitsplatz oder Aufgabenbereich), bleiben unberührt.

(6) Halten sich Personen nur kurzzeitig und in Begleitung einer selbst in Lasersicherheit geschulten Person in Laserbereichen auf, z. B. im Rahmen einer Führung, so reicht eine Kurzunterweisung der Personen aus. Hierbei ist insbesondere auf das Verhalten im Laserbereich und die Pflicht zum Tragen der persönlichen Schutzausrüstung einzugehen.

(7) Halten sich betriebsfremde Personen zum Zwecke der Dienstleistungserbringung im laufenden Betrieb in Laserbereichen auf (Reinigungspersonal, Handwerker, Sicherheitspersonal), so ist eine für die Tätigkeit notwendige Unterweisung durchzuführen.

7. Allgemeine arbeitsmedizinische Beratung

(1) Der Arbeitgeber hat eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung der betroffenen Beschäftigten sicherzustellen, wenn eine Exposition durch Laserstrahlung oder durch inkohärente optische Sekundärstrahlung oberhalb der Expositionsgrenzwerte auftreten kann. Details zur Exposition von Beschäftigten gegenüber inkohärenter optischer Strahlung sind in der TROS IOS beschrieben. Die allgemeine arbeitsmedizinische Beratung, die im Rahmen der Unterweisung erfolgen soll, ist zu unterscheiden von der individuellen Beratung, die Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorge ist. Die allgemeine arbeitsmedizinische Beratung ist immer dann unter Beteiligung des Arbeitsmediziners nach § 8 Absatz 2 OStrV durchzuführen, wenn dies aus arbeitsmedizinischen Gründen erforderlich ist.

(2) Unter der Beteiligung des Arbeitsmediziners nach § 8 Absatz 2 OStrV ist nicht zwingend zu verstehen, dass dieser die Beratung persönlich vornimmt. Das Beteiligungsgebot kann zum Beispiel erfüllt werden durch Schulung von Führungskräften, von Fachkräften für Arbeitssicherheit oder durch Mitwirkung bei der Erstellung geeigneter Unterweisungsmaterialien.

(3) In der allgemeinen arbeitsmedizinischen Beratung sind die Beschäftigten über die möglicherweise auftretenden Gesundheitsgefahren zu unterrichten. Sie beinhaltet eine für den Laien verständliche Beschreibung möglicher Gefährdungen und Krankheitsbilder und ihrer Symptome, wenn nach der Gefährdungsbeurteilung eine Gefährdung besteht.

(4) Grundlage der allgemeinen arbeitsmedizinischen Beratung ist die Gefährdungsbeurteilung. Die Beschäftigten sind je nach Erfordernis zu informieren bzw. zu beraten hinsichtlich

1. der möglichen akuten Wirkungen durch Laserstrahlung auf die Haut und die Augen,
2. der zu erwartenden Symptome/Gesundheitsstörungen nach einer Exposition,
3. individueller Faktoren, die zu einer Erhöhung des Risikos führen können, wie eine anlagebedingte Anfälligkeit für die Entstehung von Gesundheitsstörungen (z. B. empfindliche Haut), Vorerkrankungen (z. B. Autoimmunerkrankungen), medizinische Hilfsmittel wie Kontaktlinsen, Linsenimplantate, eine bestehende Medikation (etwa Einnahme oder Auftragen fototoxischer, fotosensibilisierender oder immunsuppressiver Medikamente) oder Probleme, die sich aus der Verwendung von z. B. Kosmetika, Parfums, Rasierwasser und Desinfektionsmitteln ergeben können [16],
4. der krebserzeugenden bzw. krebefördernden Eigenschaften ultravioletter Laserstrahlung und möglicherweise entstehender inkohärenter optischer Sekundärstrahlung in den damit im Zusammenhang stehenden gefährdungsrelevanten Bereichen der UV-Strahlung,
5. sonstiger chronisch-schädigender Eigenschaften von Laserstrahlung,
6. arbeitsmedizinischer Vorsorge (siehe Abschnitt 5) sowie deren Zweck.

(5) Falls relevant, sind die Beschäftigten darüber hinaus über besondere arbeitsmedizinische Aspekte zu informieren und zu beraten hinsichtlich

1. der Benutzung persönlicher Schutzausrüstung,
2. möglicher Belastungen und Beanspruchungen durch persönliche Schutzausrüstung,
3. der konsequenten Umsetzung von Schutzmaßnahmen,
4. weiterer Maßnahmen zur Verhältnis- und Verhaltensprävention,
5. Verhaltensweisen bei Erkrankungsverdacht,
6. individueller arbeitsmedizinischer Beratungsmöglichkeiten beim Auftreten von Symptomen (Wunschvorsorge).

(6) Der Betriebsarzt ist über jedes Unfallereignis und die in diesem Zusammenhang durchgeführten Maßnahmen zu informieren.

8. Schutzmaßnahmen und Wirksamkeitsüberprüfung

(1) Auf Grundlage der Beurteilung der Gefährdungen durch Laserstrahlung legt der Arbeitgeber Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik fest, überprüft deren Wirksamkeit und dokumentiert diese bei der Gefährdungsbeurteilung. Bei Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 unterstützt der LSB den Arbeitgeber bei der Auswahl der zu treffenden Schutzmaßnahmen.

(2) Bei Möglichkeit der Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung wird ein Plan für die Benutzung von technischen und organisatorischen Maßnahmen mit Prioritätenliste, Zeitplan und Wirksamkeitsüberprüfung aufgestellt und durchgeführt.

(3) Reichen die festgesetzten technischen und organisatorischen Maßnahmen nicht aus, müssen persönliche Schutzmaßnahmen verwendet werden, deren Wirksamkeit regelmäßig zu überprüfen ist.

(4) Beispiele von Schutzmaßnahmen finden sich im Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung.

9. Dokumentation

(1) Die Gefährdungsbeurteilung zu Laserstrahlung am Arbeitsplatz ist unabhängig von der Zahl der Beschäftigten zu dokumentieren. Dabei sind anzugeben:

1. Bezeichnung und Beschreibung der Tätigkeit oder des Arbeitsplatzes bzw. des Arbeitsbereiches mit den Expositionsbedingungen, für die die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wurde,
2. die am Arbeitsplatz vorhandenen tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen,
3. die Ergebnisse der durchgeführten Ermittlungen (z. B. Herstellerinformationen, vorhandene Expositionsdaten),
4. die Ergebnisse der gegebenenfalls durchgeführten Messungen und Berechnungen,
6. das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung und
7. die notwendigen Maßnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Gefährdung, einschließlich des Ergebnisses der Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen.

(2) Dabei ist es sinnvoll, insbesondere die folgenden Punkte in der Dokumentation festzuhalten:

- Beschreibung der Expositionsbedingungen (Dauer, Abstand),
- Lasertyp,
- Laserklasse (die Bezeichnung der Norm und das Datum der Veröffentlichung),
- Wellenlänge(n),
- Leistung und Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte),
- Impulswiederholfrequenz,
- Sicherheitsabstände, Laserbereich,
- Schutzmaßnahmen: Laserschutzeinhausung, Laser-Schutzbrillen-Schutzstufe, Laser-Justierbrillen-Schutzstufe, Unterweisung, Kennzeichnungen,
- LSB.

(3) Tätigkeiten, die auf Grund der Arbeitsbedingungen als gleichartig angesehen werden, können zusammengefasst werden.

(4) Die Dokumentation kann arbeitsplatz- oder tätigkeitsbezogen, aber auch personenbezogen erfolgen. Bei einer arbeitsbereichsbezogenen Dokumentation muss nachvollziehbar sein, welchem Arbeitsbereich die Beschäftigten zuzuordnen sind.

(5) Wird mit Lasern im Wellenlängenbereich zwischen 100 nm und 400 nm gearbeitet oder tritt infolge von Laserbearbeitungsprozessen relevante sekundäre UV-Strahlung

auf, hat der Arbeitgeber die ermittelten Ergebnisse aus Messungen und Berechnungen der Expositionen durch UV-Strahlung in einer Form aufzubewahren, die eine spätere Einsichtnahme ermöglicht. Die Aufbewahrungsfrist für diese Dokumente beträgt 30 Jahre.

10. Literaturhinweise

- [1] DIN EN 60601-2-22:1996-12: Medizinische elektrische Geräte – Teil 2: Besondere Festlegungen für die Sicherheit von diagnostischen und therapeutischen Lasergeräten
- [2] DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
- [3] DIN EN 60825-2:2011-06: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)
- [4] DIN EN 60825-4:2011-12: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
- [5] DIN EN ISO 11553-1:2009-03: Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
- [6] DIN EN ISO 11553-2:2009-03: Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 2: Sicherheitsanforderungen an handgeführte Laserbearbeitungsgeräte
- [7] Technischen Regeln für Betriebssicherheit, TRBS 2152 Teil 3, „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“, GMBI 2009, S. 1583 [Nr. 77] v. 20.11.2009
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Anlagen-und-Betriebssicherheit/TRBS/pdf/TRBS-2152-Teil-3.pdf>
- [8] Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“, BArBI Heft 1/2006, S. 41 – 55 zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2014, S. 271 – 274 [Nr. 12] v. 2.4.2014
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf>
- [9] Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2013)
<http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/805812/publicationFile/88891/Technische-Spezifikation.pdf>
- [10] DGUV Information 203-036: Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionszwecke (BGI 5007)
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5007.pdf>
- [11] DGUV Information 203-039: Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWKS)
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5031.pdf>
- [12] Fachausschuss Information „Betrieb von Laser-Einrichtungen für medizinische und kosmetische Anwendungen“, Fachausschuss Elektrotechnik, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2009)
- [13] Ratgeber zur Gefährdungsbeurteilung. Handbuch für Arbeitsschutzfachleute; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
<http://www.baua.de/de/Publikationen/Fachbuchreihe/Gefaehrdungsbeurteilung.html>
- [14] DGUV-Grundsätze für die arbeitsmedizinische Vorsorge, Grundsatz G17 Künstliche optische Strahlung, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

- [15] Phototoxische und photoallergische Reaktionen, Leitlinien der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft (DDG)
http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-035.pdf
- [16] Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien – Empfehlung der Strahlenschutzkommission und Wissenschaftliche Begründung, verabschiedet in der 172. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 8. Juni 2001
http://www.ssk.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen_PDF/InformationenderSSK/Info06.pdf
- [17] Datenbank Lasersicherheit, Laser Zentrum Hannover (LZH)
<http://www.lzh.de/de/publikationen/lasersicherheit>
- [18] Meier, O.; Püster, Th.; Beier, H.; Wenzel, D.: Qualifizierung von persönlicher Schutzausrüstung für handgeführte Laser zur Materialbearbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2008)
- [19] Püster, Th.; Herzog, D.; Hustedt, M.: Konstruktive Sicherheitseinrichtungen für handgeführte Laser zur Materialbearbeitung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2011)
- [20] Damit nichts ins Auge geht ... – Schutz vor Laserstrahlung, Quartbroschüre, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2010)
<http://www.baua.de/de/Publikationen/Broschueren/A37.html>

Weitere Literaturquellen

- DIN EN 12198-1:2008-11: Sicherheit von Maschinen – Bewertung und Verminderung des Risikos der von Maschinen emittierten Strahlung – Teil 1: Allgemeine Leitsätze
- 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/>
- Reidenbach, H.-D.; Brose, M.; Ott, G.; Siekmann, H.: Praxis-Handbuch optische Strahlung; Erich Schmidt Verlag, Berlin (2012)
- Sutter, E.: Schutz vor optischer Strahlung, VDE Schriftenreihe 104, VDE Verlag, Berlin (2008)

Anlage 1 Beurteilung der Gefährdung bei Tätigkeiten mit Lasern für Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme (LWLKS)

(1) Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systeme (LWLKS) sind heutzutage in Weitverkehrs- und Zugangsnetzen weit verbreitet und kommen vermehrt auch im LAN-Bereich zum Einsatz. Es werden Laser und Licht emittierende Dioden (LED) als Sender benutzt, die schnell moduliert werden können und hohe Leistungen ausstrahlen. Als Empfänger stehen schnelle, empfindliche Fotodetektoren zur Verfügung.

(2) Die Laserleistung wird durch flexible Lichtwellenleiter (LWL) übertragen. Der Begriff „Lichtwellenleiter“ wird für alle Glasfasern und Kunststofffasern verwendet, die zur optischen Informationsübertragung eingesetzt werden. Dagegen bezeichnet der Begriff „Lichtleiter“ Fasern, die zur Beleuchtung dienen, z. B. bei Mikroskopen oder zur Dekoration.

(3) Die Beurteilung der Gefährdungen kann zusätzlich mit Hilfe der Kennzeichnung von LWLKS erfolgen. Die Basis der Kennzeichnung von LWLKS sind Gefährdungsgrade, die ähnlich den Laserklassen aufgebaut sind, jedoch in der Regel im Abstand von 200 mm mit einer Abschaltzeit von max. 3 s entsprechend der Zugänglichkeit bestimmt werden. Eine Hilfestellung dazu bietet [11].

(4) Werden Laser oder LWLKS vermietet, muss im Vertragsrecht eindeutig geklärt werden

- wer den Laser oder die LWLKS betreibt,
- wer den Service und Wartung auf der Strecke durchführt und
- wer für die Erstellung der Gefährdungsbeurteilung verantwortlich ist.

(5) Der fachkundigen Person, die die Gefährdungsbeurteilung durchführt, müssen alle Angaben und Daten des Lasers und der durchzuführenden Tätigkeiten zur Verfügung stehen. Der Arbeitgeber bzw. die fachkundige Person benötigt u. a. folgende Angaben:

- Leistung mit dem dazugehörigen Gefährdungsgrad des LWLKS (entspricht der Laserklasse des LWLKS),
- Norm, nach der klassifiziert wurde (z. B. DIN EN 60825-2 [3]),
- Wellenlängen, die übertragen werden,
- Informationen über das Abschaltssystem.

(6) Fehlen Angaben, kann die fachkundige Person in einem „worst-case“-Szenario (z. B. sogenannte Dark-Fiber) Maßnahmen zum Schutz festlegen (siehe auch [11]).

(7) Bei der Gefährdungsbeurteilung ist insbesondere auch auf den Schutz Dritter zu achten und die entsprechenden Maßnahmen sind zu treffen.

A1.1 Gefährdungsgrad

Der Gefährdungsgrad beschreibt die mögliche Gefährdung an jeder zugänglichen Stelle innerhalb eines LWLKS. Der Gefährdungsgrad beruht auf dem optischen Strahlungspegel, der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen, z. B. bei einem Lichtwellenleiterbruch, zugänglich werden könnte. Die Definitionen entsprechen den vom Hersteller verwendeten Kennzeichnungen und Klassifizierungen gemäß DIN EN 60825-2 [3] und stehen in engem Zusammenhang mit der Laser-Klassifikation nach DIN EN 60825-1 [2].

Gefährdungsgrad 1

Gefährdungsgrad 1 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen kein menschlicher Zugang zu Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung der Klasse 1 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer möglich ist.

Gefährdungsgrad 1M

Gefährdungsgrad 1M gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen kein menschlicher Zugang zu Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung der Klasse 1 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer möglich ist, wobei der Strahlungspegel mit den Messbedingungen für Laser-Einrichtungen der Klasse 1M gemessen wird (siehe [2]).

Gefährdungsgrad 2

Gefährdungsgrad 2 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Klasse 2 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

Gefährdungsgrad 2M

Gefährdungsgrad 2M gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Klasse 2 für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird, wobei der Strahlungspegel mit den Messbedingungen für Laser-Einrichtungen der Klasse 2M gemessen wird (siehe [2]).

Gefährdungsgrad 3R

Gefährdungsgrad 3R gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Klasse 3R für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

Gefährdungsgrad 3B

Gefährdungsgrad 3B gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen keine zugängliche Strahlung über den

Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Klasse 3B für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten wird.

Gefährdungsgrad 4

Gefährdungsgrad 4 gilt für jede zugängliche Stelle eines LWLKS, an der unter vernünftigerweise vorhersehbaren Umständen zugängliche Strahlung über den Grenzwerten der zugänglichen Strahlung für Laser der Klasse 3B für die zutreffende Wellenlänge und Bestrahlungsdauer auftreten könnte.

Hinweis:

Um ein angemessenes Maß an Sicherheit für Personen zu gewährleisten, die mit dem optischen Übertragungspfad in Berührung kommen könnten, ist der Gefährdungsgrad 4 in der Regel nicht erlaubt. Es ist aber zulässig, Schutzsysteme zu verwenden, zum Beispiel automatische Leistungsverringerung, um den erforderlichen Gefährdungsgrad zu erzielen, wobei die übertragene Leistung unter normalen Betriebsbedingungen (d. h. ohne Fehler auf der Lichtwellenleiterstrecke) die für einen bestimmten Standort zulässige Leistung überschreitet. Zum Beispiel ist ein Gefährdungsgrad 1 für zugängliche Teile eines LWLKS möglich, obwohl die unter normalen Betriebsbedingungen im Lichtwellenleiter übertragene Leistung Klasse 4 ist.

Anlage 2 Beispiele und wichtige Punkte für spezielle Gefährdungsbeurteilungen

Die folgende (unvollständige) Auflistung soll eine Orientierung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei den wichtigsten Laseranwendungen geben.

A2.1 Laserbearbeitungsmaschinen

A2.1.1 Allgemeine Informationen und Hinweise

(1) Laserbearbeitungsmaschinen sind Maschinen, in denen ein Laser eingebaut ist, der ausreichend optische Leistung/Energie abgibt, um Werkstoffe zumindest in der Bearbeitungszone zu schmelzen, zu verdampfen oder einen Phasenübergang zu erzeugen.

(2) Laserbearbeitungsmaschinen unterliegen u. a. den Anforderungen der 9. Verordnung zum ProdSG (Maschinenverordnung).

(3) Bei Laserbearbeitungsmaschinen handelt es sich zumeist um weitgehend bzw. vollständig eingebaute Laser-Einrichtungen. Im Allgemeinen erfolgt in Bezug auf Lasersicherheit die Konformitätsbewertung unter Zuhilfenahme der Normenserie DIN EN ISO 11553 [5, 6], eine Klassifizierung nach DIN EN 60825-1:2008-05 [2] liegt vor.

(4) Laserbearbeitungsmaschinen sollten, sofern sie gemäß DIN EN ISO 11553-1 [5] in Verkehr gebracht wurden, verwendungsfertig bzw. betriebsbereit sein. Mit Anwendung der Norm DIN EN ISO 11553-1 [5] wird auch die Aussage vom Hersteller getroffen, dass die Maschine für die Betriebsarten „vorbeugende Instandhaltung“ (entspricht in der Regel „Wartung“) und „Service“ ausgelegt wurde.

(5) Der Hersteller, der die Lasermaterialbearbeitungsmaschine gemäß DIN EN ISO 11553-1 [5] in Verkehr gebracht hat, definiert für den Betrieb sogenannte Bereiche, die sich hinsichtlich der Gefährdung und damit der Zugangsautorisierung sowie der Schutzmaßnahmen unterscheiden (Tabelle A2.1). Der Hersteller unterscheidet auch oft die verschiedenen Betriebsarten wie Normalbetrieb/Produktion, Wartung und „Teachen“/Programmieren.

Tab. A2.1 Einteilung bzw. Festlegung der Zugangsbereiche und betroffener Personenkreise gemäß [5]

Bereich	kontrolliert	beschränkt	unkontrolliert und unbeschränkt
Personenkreis	hinsichtlich Lasersicherheit geschult und autorisiert	hinsichtlich Lasersicherheit ungeschult, aber unterwiesen	alle (wird von der OStrV nicht abgedeckt)

(6) Erläuterung zu einigen verwendeten Begriffen in Benutzerinformationen:

- Zugangsbereiche: Die meisten Laserbearbeitungsmaschinen befinden sich in einer Produktionshalle, das heißt in einem Bereich mit beschränktem Zugang. Beim Betrieb der Laser-Einrichtung werden die hinsichtlich Lasersicherheit ungeschulten, aber unterwiesenen Beschäftigten in der Produktionshalle durch die Einhausung der Laserbearbeitungsmaschine vor gefährlicher Laserstrahlung

geschützt, wenn die Expositionsgrenzwerte – auch im Fehlerfall für z. B. 10 s/100 s/30 000 s – eingehalten werden.

- Wartungs-/Servicebetrieb: Bei Wartungs- oder Servicearbeiten kann bei geöffneten Gehäuseklappen „gefährliche“ Laserstrahlung von der Maschine emittiert werden. In diesen Fällen ergibt sich um die Laserbearbeitungsmaschine ein Laserbereich (siehe Abschnitt 4 des Teils „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung). Der entstehende Laserbereich muss mittels Abschirmungen (z. B. mobile Wände/Vorhänge/geeignete Rollos) abgegrenzt werden. In diesem Laserbereich dürfen nur Beschäftigte arbeiten, die die Gefährdungen kennen und die Schutzmaßnahmen anwenden können.

(7) Für die Autorisierungseinrichtung (z. B. Schlüssel) sind die Berechtigungen festzulegen.

(8) In der Umgebung von Laserbearbeitungsmaschinen, die bestimmungsgemäß in Bereichen mit beschränktem und kontrolliertem Zugang (siehe Tabelle A2.1) betrieben werden müssen, sind während des Betriebes die Expositionsgrenzwerte einzuhalten. Der Zugang von nicht autorisierten Beschäftigten muss durch technische Maßnahmen verhindert sein.

(9) Bei Laseranlagen mit Einhausungen, die nicht vollständig geschlossen sind (z. B. ein Laserschweißroboter ohne Dach) oder wenn es notwendig ist, dass sich Beschäftigte während des Laserbetriebs innerhalb des Schutzgehäuses befinden, sind die Gefährdungen besonders zu beurteilen. In diesen Fällen basiert die Lasersicherheit nicht ausschließlich auf technischen Maßnahmen, vielmehr sind zur vollständigen Gewährleistung der Lasersicherheit bestimmte weitere Maßnahmen notwendig. Diese Maßnahmen werden vom Hersteller in der Benutzerinformation beschrieben.

A2.1.2 Schutz während der Wartung

(1) Wartungsarbeiten werden üblicherweise vom Betreiber durchgeführt. Dabei kann Laserstrahlung oberhalb der Grenzwerte für die Laserklasse 1 zugänglich werden. Der Hersteller hat das Risiko für verschiedene Wartungssituationen geprüft und, für den Fall von Überschreitungen der Expositionsgrenzwerte, entsprechende Sicherheitsmaßnahmen festgelegt. Diese sind bei der Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und Festlegung der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.

Hinweis:

Sieht der Hersteller entsprechend der Benutzerinformation Wartungsarbeiten in Bereichen vor, in denen die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können, ist eine mögliche Maßnahme, die Maschine vor Durchführung der Wartungsarbeiten auszuschalten.

A2.1.3 Schutz während Service

Servicearbeiten (korrigierende Instandsetzungsarbeiten) werden in den Serviceunterlagen vom Hersteller beschrieben. Für den Fall, dass sich dabei Beschäftigte im Laserbereich befinden sollten, hat der Arbeitsgeber eine Reihe von Schutzmaßnahmen zu realisieren. In der betrieblichen Praxis sind im Zusammenhang mit Servicearbeiten folgende Fälle zu unterscheiden:

- Vertraglich geregelter Fremdservice: z. B. durch den Hersteller bzw. eine durch ihn autorisierte Stelle. Bei diesen liegt dann die Verantwortung für den Laserschutz im Servicefall vor Ort.
- Eigenservice: Die zugängliche Strahlung kann bei Servicearbeiten der Laserklasse der Strahlquelle entsprechen (z. B. Laserklasse 4), diese entspricht in der Regel nicht der Klassifizierung für den Normalbetrieb (typisch Laserklasse 1).

A2.2 Freistrahkende Laser, die in Mess-, Labor- und sonstigen Einrichtungen eingesetzt werden

(1) Diese sind gewöhnlich nach DIN EN 60825-1 [2] auf Basis der zugänglichen Strahlung klassifiziert. Da sich die Laserklassen (siehe Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung) auf bestimmte Sicherheitsphilosophien beziehen, ist zunächst festzustellen, ob diese auch im konkreten Arbeitsumfeld angewendet werden können. Zum Beispiel bei der Verwendung von optischen Instrumenten (Teleskopen) ist dies zu prüfen, weil diese den Strahl ggf. stärker bündeln können.

(2) Bei Abweichungen müssen sich die Sicherheitsvorkehrungen nach den verbleibenden tatsächlichen Gefährdungen unter Nutzungsbedingungen richten. In einigen Fällen ist ein Laserbereich zu definieren und ggf. abzugrenzen bzw. zu kennzeichnen.

(3) Da sich die Klassifizierung nur auf deterministische Effekte der Laserstrahlung bezieht, ist der Einsatz zusätzlich auf mögliche Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen zu prüfen. Dies kann mit Bezug auf mögliche vorübergehende Blendwirkungen unter Umständen auch für den Umgang mit Lasern der Klasse 1 gelten.

(4) Für Service und Wartung sind unter Umständen gesonderte Verfahrensweisen festzulegen (vgl. dazu Abschnitt A2.1).

A2.3 LWLKS-Systeme und Komponenten

Diese sind gewöhnlich nach DIN EN 60825-2 [3] bewertet. Die vom Hersteller eingerichteten Sicherheitsvorkehrungen richten sich nach der Zugänglichkeit der Standorte an den dort (Steckverbindern, Spleißen, etc.) ausgewiesenen Gefährdungsgraden. Die aus Lichtwellenleitern austretende Laserstrahlung ist zumeist stark divergent, sodass die Expositionsbereiche im Allgemeinen räumlich stark begrenzt sind („Armlänge“). Hilfestellung für die Organisation und Durchführung von Wartungs- und Servicearbeiten bieten [3] und [11].

A2.4 Show- und Projektionslaser

In der Regel handelt es sich um Laser der Klasse 3B oder 4. Für den Betrieb ist somit ein LSB zu bestellen. In der Gefährdungsbeurteilung müssen insbesondere der Expositionsbereich mit und ohne Laser-Schutzbrillen und sonstige Maßnahmen genau beschrieben werden.

Hinweis:

Das Hauptproblem beim Betrieb einer Showlaser-Anlage ist die zu vermeidende Exposition nicht unterwiesener Personen. Weitere Hinweise befinden sich in [10].

A2.5 Laser in der medizinischen Anwendung

Es gilt das Medizinproduktegesetz. Hersteller von medizinisch (diagnostisch, chirurgisch oder therapeutisch) benutzten Laser-Einrichtungen zum Zweck der Laserbestrahlung von Teilen des menschlichen Körpers befolgen gewöhnlich im Sinne der Produktsicherheit die Norm DIN EN 60601-2-22 [1]. Die Geräte sind in der Regel prüfpflichtig und die Schutzmaßnahmen für das Bedienpersonal müssen in den Geräteanleitungen beschrieben sein. Weitere Hinweise befinden sich in [12].

A2.6 Nicht klassifizierte Laser-Einrichtungen

Auch die Gefährdungen durch nicht klassifizierte Laser müssen bewertet werden, z. B. bei der Entwicklung, bei der Herstellung von Lasern oder bei Servicearbeiten an eingehausten Lasern in Laserbearbeitungsmaschinen (siehe Abschnitt A2.1). Die Strahlungsquelle innerhalb einer nicht klassifizierten Laserbearbeitungsmaschine wird in der Regel klassifiziert sein. In diesen Fällen können die Emissionsdaten des Lasers mit den Expositionsgrenzwerten verglichen (Berücksichtigung des Strahldurchmessers) und die entsprechenden Schutzmaßnahmen festgelegt werden. Übersteigt die abgeschätzte Laserklasse die Klasse 2M, ist für den Betrieb bzw. die entsprechenden Arbeiten an der betreffenden Laser-Einrichtung ein LSB zu bestellen.

A2.7 Handgeführte Laserbearbeitungsgeräte

Hierbei handelt es sich um Laser-Einrichtungen, die zur Materialbearbeitung von Hand geführt und positioniert werden. Die Laserleistungen/-energien sind dabei so groß, dass Werkstoffe schmelzen, verdampfen oder Phasenübergänge in der Bearbeitungszone erzeugt werden. In der Regel liegt eine Konformitätsbewertung durch den Hersteller unter Bezugnahme auf die Norm DIN EN ISO 11553-2 [6] vor. Diese Norm verlangt explizit die Zuweisung einer Laserklasse für alle Betriebszustände, also auch für Wartung und Service. Eine Orientierung an der Risikobeurteilung des Herstellers ist nicht nur im Zusammenhang mit handgeführten Laserbearbeitungsgeräten empfehlenswert. Weitere Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung von handgeführten oder handpositionierten Laserbearbeitungsgeräten können auch nachgelesen werden in [18, 19].

A2.8 Hinweise zu Wartung und Service von Lasern

(1) Erhöhen sich die Gefährdungen durch Laser-Einrichtungen während Wartung und Service, so hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass eine entsprechende Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wird und die Schutzmaßnahmen für die höhere Gefährdung (entspricht in der Regel der einer höheren Laserklasse) festgelegt werden sowie eine entsprechende Unterweisung der Beschäftigten (vgl. § 8 OStrV) erfolgt.

(2) Eine Änderung der Gefährdungen während Wartung und Service kann vor allem bei Laser-Einrichtungen der Klasse 1, die eingebaute Laser höherer Klasse enthalten, auftreten. Beispiele für solche Laser-Einrichtungen sind Laserdrucker, Materialbearbeitungslaser und Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken mit Lasersendern.

(3) Falls es während der Wartung oder des Service zur Überschreitung der Expositionsgrenzwerte kommen kann (z. B. beim Bruch von Lichtwellenleitern), sind für die Beschäftigten, die die Instandhaltung durchzuführen haben, die

Schutzmaßnahmen so auszulegen, dass sie vor der Überschreitung der Expositionsgrenzwerte geschützt werden.

(4) Werden optische Geräte für Justier- und Einstellarbeiten, z. B. bei der Wartung und dem Service von Laser-Einrichtungen der Klassen 1M, 2M und 3A verwendet, können vergleichbare Gefährdungen wie bei den Laser-Einrichtungen der Klassen 3R oder 3B auftreten.

(5) Wird bei Wartung und Service ein LSB nach § 5 OStrV erforderlich, hat derjenige Arbeitgeber für die erforderlichen Schutzmaßnahmen und für die schriftliche Bestellung eines LSB zu sorgen, der die Wartung und den Service durchführt. Das Gleiche gilt auch bei Fremdwartung.

A2.9 Laserpointer

(1) In Deutschland dürfen gemäß ProdSG nur Produkte auf dem Markt bereitgestellt werden, die bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährden. Diese allgemeine Forderung wird durch die „Technische Spezifikation zu Lasern als bzw. in Verbraucherprodukte(n)“ [9] für Verbraucherprodukte, die Laser sind oder beinhalten, konkretisiert. Danach dürfen Laserpointer als Verbraucherprodukte nur auf dem Markt bereitgestellt werden, wenn sie nach der DIN EN 60825-1:2008-05 [2] klassifiziert sind und den Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M entsprechen.

Hinweis:

Auf dem Markt werden oftmals Laserpointer in Verbraucherprodukten bereitgestellt, die z. B. als Klasse „IIa“, „IIIA“ oder „3a“ gekennzeichnet sind. Diese entsprechen nicht der geltenden DIN EN 60825-1 bis 2008, sondern sind nach den amerikanischen ANSI/CDRH-Regelungen klassifiziert. Diese Laser entsprechen in der Regel Lasern der Klasse 3R nach DIN EN 60825-1 bis Ausgabe 2008.

(2) Bei korrekter Klassifizierung und bestimmungsgemäßigem Gebrauch werden die Expositionsgrenzwerte bei Laserpointern eingehalten. Dennoch kann eine vorübergehende Blendung von Personen nicht ausgeschlossen werden und aus der Gefährdungsbeurteilung können sich folgende Verhaltensregeln für Laserpointer ergeben [20]:

- Den Laserstrahl nicht auf Personen richten (auch Laser der Klasse 1 dürfen nicht auf Personen gerichtet werden, da es durch Blendung zu Unfällen kommen kann).
- Nicht absichtlich in den direkten oder direkt reflektierten Strahl blicken.
- Falls Laserstrahlung der Klasse 1M (wenn sichtbar), 2 oder 2M ins Auge trifft, sind die Augen bewusst zu schließen und der Kopf sofort aus dem Strahl zu bewegen.

Anlage 3 Muster für die Dokumentation der Unterweisung

Bestätigung der Unterweisung nach § 8 OStrV Name und Anschrift des Betriebs: _____ Betriebsteil, Arbeitsbereich: _____ Durchgeführt von: _____ Durchgeführt am: _____ Unterweisungsinhalte (insbesondere Gefahrquellen, Maßnahmen zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz, Erste Hilfe): _____ _____ _____ _____ _____ _____ Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich an der Unterweisung teilgenommen und den Inhalt verstanden habe. Name, Vorname, Unterschrift _____ _____ _____ _____ Bemerkungen: _____ _____ Unterschrift des Unterweisenden _____ _____ Geschäftsleitung z. K. _____
--

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung

TROS Laserstrahlung*

Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung

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 gemacht.

Diese TROS Laserstrahlung, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“, 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.

* GMBI. 12-15 vom 05.05.2015 S. 249

Inhalt

1.	Anwendungsbereich.....	91
2.	Begriffsbestimmungen.....	91
3.	Vorgehen bei Messungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung.....	91
4.	Einflussfaktoren bei der Ermittlung der Expositionsgrenzwerte.....	101
5.	Beispiele zur Berechnung von Expositionen und Expositionsgrenzwerten.....	103
6.	Literaturhinweise.....	117
Anlage 1	Messgrößen und Parameter zur Charakterisierung von Laserstrahlung.....	118
Anlage 2	Messgrößen und Parameter für die Berechnung oder die Messung von Laserstrahlung.....	121
Anlage 3	Beschreibung von Messgeräten.....	132
Anlage 4	Expositionsgrenzwerte.....	137

1. Anwendungsbereich

Die TROS Laserstrahlung, Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ beschreibt das Vorgehen bei der Planung, der Beauftragung, der Durchführung und Auswertung von Messungen und Berechnungen zur Exposition am Arbeitsplatz nach dem Stand der Technik und den Vergleich der Messergebnisse mit den Expositionsgrenzwerten. Die Dokumentation der Expositionsmessungen von Laserstrahlung ist Teil der Gefährdungsbeurteilung (siehe auch Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung).

2. Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung definiert und erläutert sind.

3. Vorgehen bei Messungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung

3.1 Grundsätzliches

(1) Nach § 3 Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) hat der Arbeitgeber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung die auftretenden Expositionen durch Laserstrahlung an Arbeitsplätzen zu ermitteln und zu bewerten. Er kann sich die notwendigen Informationen beim Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer und Händler) oder mit Hilfe anderer zugänglicher Quellen beschaffen. Dazu gehören z. B. Angaben der Strahlungsemissionen der Laserstrahlungsquellen in Bedienungsanleitungen und technischen Unterlagen. Im Fall von Laser-Einrichtungen kann davon ausgegangen werden, dass in vielen Fällen aufgrund der Klassifizierung der Laser-Einrichtungen nach DIN EN 60825-1 [4] die notwendigen Unterlagen zur Verfügung stehen.

(2) Lässt sich jedoch mit den vorhandenen Informationen nicht sicher feststellen, ob die Expositionsgrenzwerte nach Anlage 4, Abschnitt A4.1 dieser TROS Laserstrahlung beim vorgesehenen Gebrauch eingehalten werden, ist der Umfang der Expositionen durch Messungen oder Berechnungen nach § 4 OStrV festzustellen. Messungen und Berechnungen müssen nach dem Stand der Technik fachkundig (siehe Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung) geplant und durchgeführt werden. Die eingesetzten Messverfahren und Messgeräte sowie eventuell erforderliche Berechnungsverfahren müssen den vorhandenen Arbeitsplatz- und Expositionsbedingungen hinsichtlich der betreffenden Laserstrahlung angepasst und geeignet sein, die jeweiligen physikalischen Größen zu bestimmen. Die Messergebnisse müssen die Entscheidung erlauben, ob die jeweiligen Expositionsgrenzwerte eingehalten werden oder nicht.

(3) Das Messen der Expositionen durch Laserstrahlung ist eine komplexe Aufgabe und erfordert entsprechende Fachkenntnisse und Erfahrungen. Der Arbeitgeber kann damit fachkundige Personen beauftragen, falls er nicht selbst über die ausreichenden Kenntnisse und die notwendige Messtechnik verfügt (siehe § 5 OStrV).

3.2 Vorprüfung

(1) In einer Vorprüfung ist zunächst festzustellen, ob zur Ermittlung der Exposition eine Messung oder Berechnung notwendig ist, oder ob nicht bereits genügend Informationen vorhanden sind, um die Exposition auch ohne eine Messung ausreichend genau bestimmen zu können.

(2) Bei Laser-Einrichtungen, in denen eine Strahlungsquelle verwendet wird, deren Grenzwert der zugänglichen Strahlung (GZS) einer höheren Laserklasse entspricht als der gesamten Laser-Einrichtung (typischerweise eingehauste Laserstrahlungsquellen), kann es beim Entfernen der Einhausung oder der Überbrückung der Sicherheitsschaltung (z.B. bei Service oder Wartung, Definition siehe Teil „Allgemeines“) zu einer Überschreitung der Expositionsgrenzwerte bzw. zu einer weiteren Erhöhung der Gefährdung kommen, da Laserstrahlung der eigentlich eingehausten Strahlungsquelle zugänglich ist.

(3) Das Ablaufschema (Abbildungen 1a und 1b) soll Hinweise geben, ob Messungen und Berechnungen notwendig sind. Ein weiteres vereinfachtes Schema ist in Abbildung 2 zu finden. Parameter, wie z. B. Wellenlänge, Laserklasse, Laserleistung, Impulsenergie, Strahldurchmesser, Strahldivergenz, Impulsdauer, Impulsfrequenz und gegebenenfalls der Augensicherheitsabstand (NOHD) bzw. der erweiterte Augensicherheitsabstand (ENOHd) unter Berücksichtigung der Verwendung von optischen Geräten mit sammelnder Wirkung, werden in der Regel vom Wirtschaftsakteur (Hersteller, Bevollmächtigter, Einführer und Händler) mitgeliefert. Der Umfang der mitzuliefernden Unterlagen und Informationen sollte detailliert schriftlich mit dem jeweiligen Wirtschaftsakteur (z.B. im Rahmen des Kaufvertrages) vereinbart werden.

(4) Beispiele für Fälle, in denen keine Expositionsmessungen notwendig sind:

- wenn die Expositionsgrenzwerte nach Anlage 4, Abschnitt A4.1 offensichtlich unterschritten werden,
- wenn eine Berechnung der zu erwartenden Strahlungsexpositionen möglich ist (siehe Abschnitt 5 dieser TROS Laserstrahlung).

(5) Lässt sich in der Vorprüfung keine eindeutige Entscheidung treffen, ob die Expositionsgrenzwerte eingehalten oder überschritten werden, sind Messungen der Exposition erforderlich.

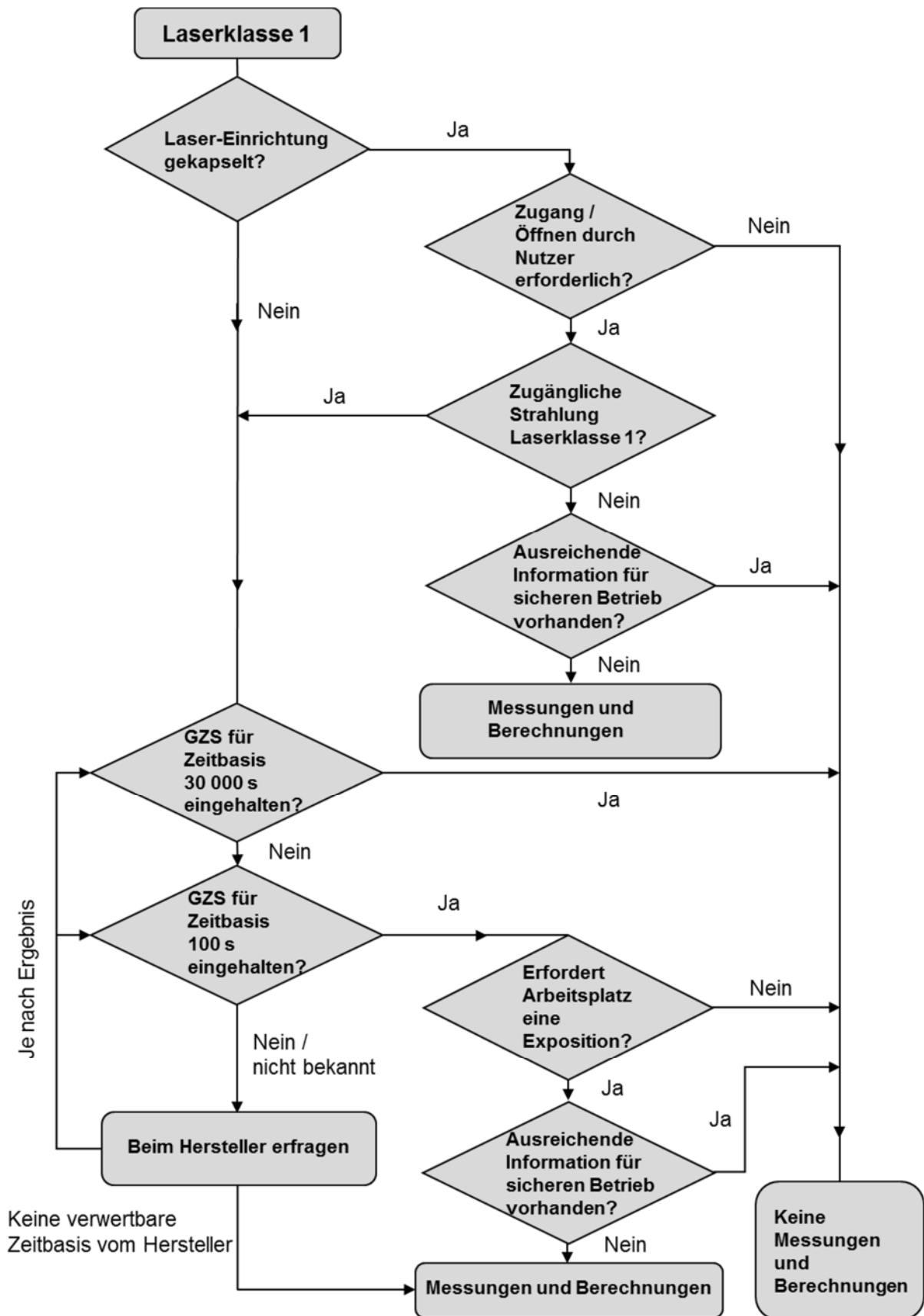


Abb. 1a Ablaufschema zur Vorgehensweise bei Laser-Einrichtungen der Klasse 1 gemäß DIN EN 60825-1:2008-05 [4]

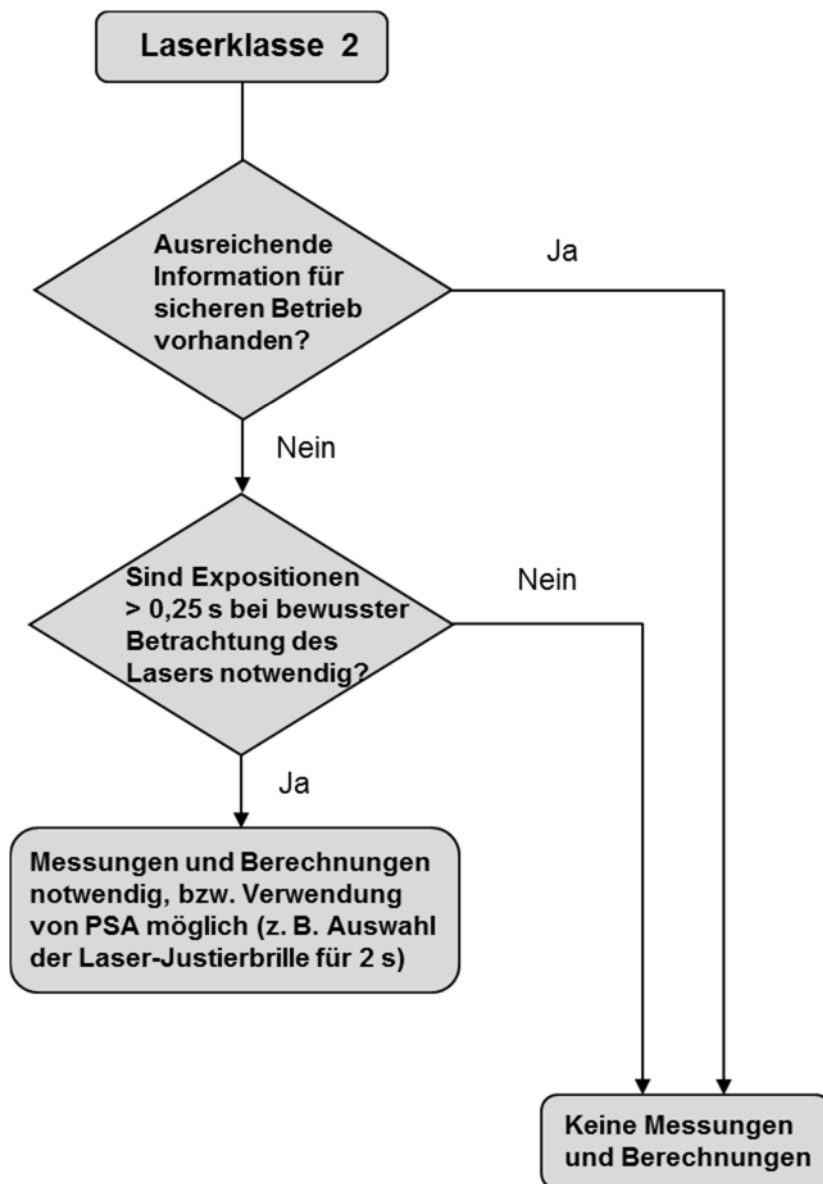


Abb. 1b Ablaufschema zur Vorgehensweise bei Laser-Einrichtungen der Klasse 2 gemäß DIN EN 60825-1:2008-05 [4]

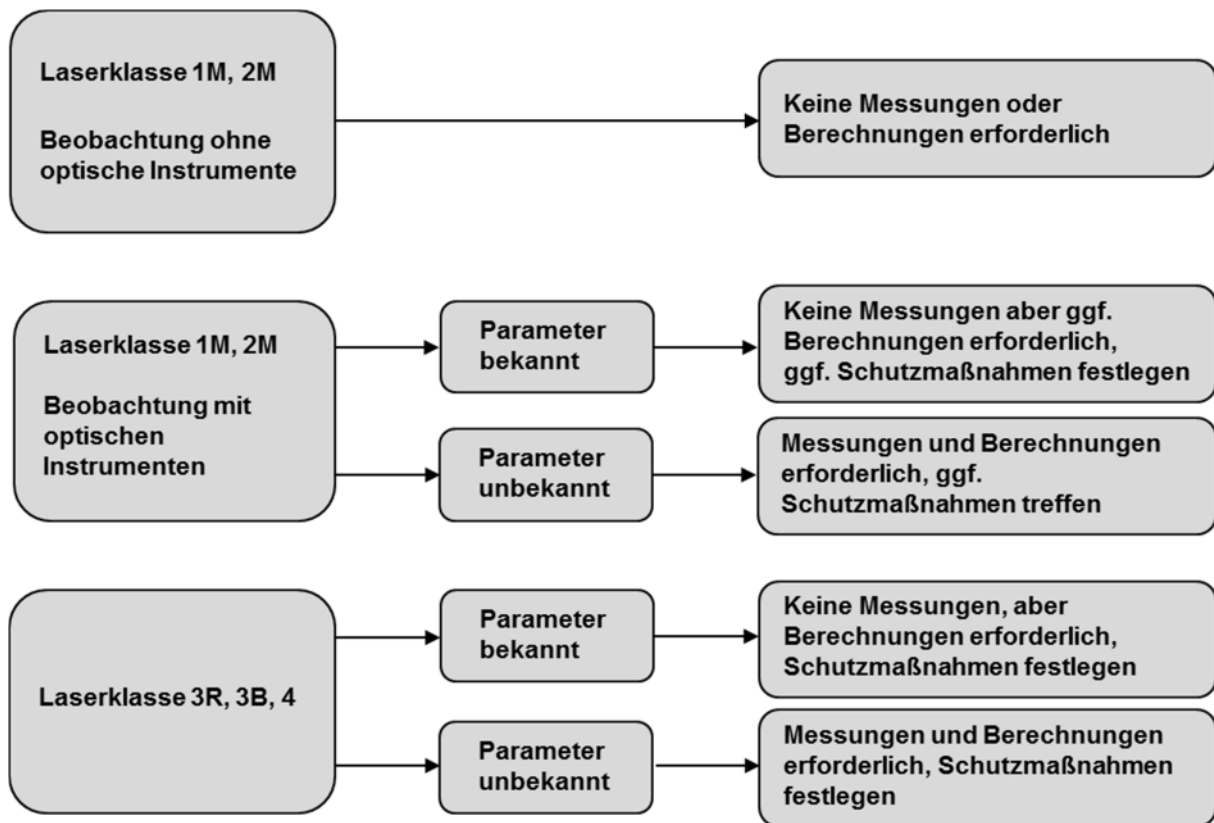


Abb. 2 Vereinfachtes Schema zur Vorprüfung

3.3 Analyse der Arbeitsaufgaben und Expositionsbedingungen

(1) Vor der Messung ist eine detaillierte Analyse der Arbeitsaufgaben und des Arbeitsablaufs der exponierten Beschäftigten sowie der Expositionsbedingungen durchzuführen. Hierbei müssen sämtliche Tätigkeiten berücksichtigt werden, bei denen Beschäftigte Laserstrahlung ausgesetzt sein können. Dabei ist immer vom ungünstigsten Fall („worst-case“-Szenario) auszugehen. Hierzu gehört u. a. die Ermittlung der höchsten Bestrahlungsstärke bzw. Bestrahlung, die an der Stelle des kleinsten relevanten Strahldurchmessers zu finden ist, der die Beschäftigten ausgesetzt sein könnten.

(2) Die Analyse umfasst insbesondere die Ermittlung

- der Anzahl, Positionen und Arten der Laserstrahlungsquellen,
- der Strahlungsanteile, die an Wänden, Einrichtungen, Materialien usw. reflektiert und/oder gestreut werden,
- des zeitlichen Verlaufs der Laserstrahlungsemission,
- der Positionen und Zeitdauer in denen Beschäftigte durch Laserstrahlung exponiert werden können,
- der zu berücksichtigenden möglichen gesundheitlichen Auswirkungen durch die Exposition auf Beschäftigte unter Einbeziehung besonders gefährdeter Gruppen,
- möglicherweise fotosensibilisierender chemischer oder biologischer Stoffe am Arbeitsplatz,

- der zu berücksichtigenden Expositionsgrenzwerte (Anlage 4, Abschnitt A4.1 dieser TROS Laserstrahlung),
- der Verwendung von Schutzeinrichtungen und Schutzausrüstungen und
- der Expositionsbedingungen im normalen Betrieb von Laserstrahlungsquellen sowie z. B. bei Wartungs- und Servicearbeiten.

(3) Wirkt Laserstrahlung auf mehrere Beschäftigte in vergleichbarer Weise ein, dann kann die Analyse als repräsentativ für die persönlichen Expositionen dieser Beschäftigten angesehen werden. In diesem Fall reicht die Durchführung einer einzigen Expositionsermittlung im Sinne einer Stichprobenerhebung nach § 4 Absatz 2 OStrV.

3.4 Messungen

3.4.1 Planung

(1) Vor der Messung ist eine sorgfältige Planung durchzuführen. Aus den technischen Parametern des Lasers ergibt sich, welches Messverfahren einzusetzen ist. Aus den örtlichen Gegebenheiten ergeben sich Anzahl und Position der Messpunkte.

(2) Wenn vor der Messung keine detaillierten Angaben über die Wellenlängen erhältlich sind, dann sollte zuerst eine Messung des optischen Strahlungsspektrums durchgeführt werden. Zusätzliche Wellenlängen, die nicht der Hauptwellenlänge entsprechen, können auftreten (z. B. 1 064 nm bei einer Hauptwellenlänge von 532 nm). Zusätzlich auftretende inkohärente optische Strahlung ist gemäß TROS IOS zu bewerten. Hierzu zählt z. B. die Anregungsstrahlung (z. B. Blitzlampe, Vorionisierung (UV-Strahlung) und die Prozessstrahlung (Plasma)).

(3) Das gemessene Spektrum gibt Auskunft über die Wellenlängen, für die die Expositionsmessungen durchgeführt werden müssen und über die zu erwartenden Gefährdungen.

(4) Die Messgrößen und Parameter zur Charakterisierung von Laserstrahlung sind in Anlage 1 dieser TROS Laserstrahlung aufgeführt.

(5) Für die Expositionsermittlung sollte die Anzahl der Messgrößen und Parameter auf das Mindestmaß beschränkt werden, das eine vollständige und sachgerechte Analyse ermöglicht.

3.4.2 Messgeräte

(1) Bei der Anwendung von Messgeräten ist zu beachten, dass sie entsprechend der vorliegenden Messaufgabe ausgewählt werden. So müssen beispielsweise Laserleistungsmessgeräte für die jeweils vorliegende Wellenlänge, die Höhe der Leistung des Lasers und dessen Zeitverhalten geeignet ausgelegt sein. Die Anlage 3 dieser TROS Laserstrahlung gibt einen Überblick über häufig verwendete Messgeräte zur Charakterisierung von Laserstrahlung.

(2) Für die Messung von Laserstrahlung eingesetzte Detektoren sind geeignet, wenn deren Messunsicherheit bestimmt wurde und für die Messaufgabe ausreichend ist.

Hauptbeiträge hierzu können z. B. aus folgenden Effekten stammen:

- Änderung der Detektorempfindlichkeit mit der Zeit,
- Inhomogenität der Empfindlichkeit über der Empfängerfläche,
- Änderung der Empfindlichkeit während der Bestrahlung,
- Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit,
- Winkelabhängigkeit der Empfindlichkeit,
- Nichtlinearität des Empfängersystems,
- Wellenlängenabhängigkeit der Empfindlichkeit,
- Polarisationsabhängigkeit der Empfindlichkeit,
- Fehler durch zeitliche Mittelung von wiederholt gepulster Strahlung,
- Drift des Nullpunkts des Instruments,
- Kalibrierunsicherheit.

(3) Die Messunsicherheit des Gerätes ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn der zu ermittelnde Wert der Bestrahlung durch einen Laser im Bereich des Expositionsgrenzwertes liegt. Dann muss die Gesamt-Messunsicherheit klein genug sein, damit entschieden werden kann, ob die Summe aus Messwert und Messunsicherheit ober- oder unterhalb des Expositionsgrenzwertes liegt.

(4) Die Kalibrierung der Empfänger soll durch Laboratorien erfolgen, die eine Rückführung auf international anerkannte Normale gewährleisten können. In Deutschland sind dies die von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditierten Stellen bzw. direkt die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) als technische Oberbehörde für das Messwesen.

Hinweis:

Weitere nützliche Informationen zu Messgeräten sind u. a. in [6] enthalten.

(5) Abhängig von der zu analysierenden Strahlungsleistung kommen als Detektoren zur Bestimmung der Strahldurchmesser sowohl mechanische als auch bildgebende Verfahren zum Einsatz, mit denen die grundlegenden Strahlparameter (z. B. Strahlabmessungen, Divergenzwinkel (Strahldivergenz), Beugungsmaßzahlen) bestimmt werden können. Derartige Geräte entsprechen in der Regel den in den Normen DIN EN ISO 11146-1 [8] und DIN EN ISO 11146-2 [9] genannten Verfahren. Einen Überblick über die in diesen Normen genannten Verfahren gibt Anlage 3 dieser TROS Laserstrahlung.

(6) Spektral auflösende Geräte müssen nur in solchen Fällen eingesetzt werden, in denen keine Informationen über die von der Laser-Einrichtung emittierten Wellenlänge(n) vorliegen. Die Ausführung der Geräte reicht von einfacheren Laserspektrometern, die die wellenlängenabhängige Empfindlichkeit von Detektoren ausnutzen, über weit durchstimmbare Systeme mit optischen Gittern bis zu höchstauflösenden interferometrisch arbeitenden Wave-Metern, mit denen die longitudinale Modenstruktur von Laserlinien bestimmt werden kann.

(7) Ist die absolute Bestimmung eines wellenlängenabhängig breiteren Leistungsspektrums notwendig, so müssen die Geräte sorgfältig hinsichtlich ihrer wellenlängenabhängigen Empfindlichkeit kalibriert werden. Dies kann mit bezüglich der spektralen Strahldichte kalibrierten Breitbandstrahlern erfolgen.

3.4.3 Messblenden und Messabstände

(1) Bei der Messung von Bestrahlungsstärke und Bestrahlung ist zu berücksichtigen, dass sich die Expositionsgrenzwerte auf die Flächen beziehen, die mit den Grenzblenden in Tabellen A4.3, A4.4 und A4.5 definiert werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass damit bei inhomogenen Leistungsdichteverteilungen eine definierte Mittelwertbildung festgelegt wird und dass Strahlungsanteile außerhalb dieser Flächen unberücksichtigt bleiben.

Tab. 1 Anforderungen an die Blendendurchmesser

Wellenlängenbereich in nm	Blendendurchmesser D in mm	
	Auge	Haut
$100 \leq \lambda < 400$	1 für $t \leq 0,35$ s $1,5 \cdot t^{3/8}$ für $0,35 \text{ s} < t < 10$ s 3,5 für $t \geq 10$ s	3,5
$400 \leq \lambda < 1\,400$	7	3,5
$1\,400 \leq \lambda < 10^5$	1 für $t \leq 0,35$ s $1,5 \cdot t^{3/8}$ für $0,35 \text{ s} < t < 10$ s 3,5 für $t \geq 10$ s	3,5
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	11	3,5

(2) Allgemeine Hilfestellung zur richtigen Durchführung von Messungen können der Norm DIN EN ISO 11554 [10] entnommen werden.

3.4.4 Grenz-Empfangswinkel γ_P

(1) Aus den Tabellen für die Expositionsgrenzwerte wird ersichtlich, dass für die fotochemische Gefährdung ($400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 600 \text{ nm}$) ein sogenannter Grenz-Empfangswinkel γ_P zu berücksichtigen ist (Definition des Empfangswinkels siehe Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung). Dies ist dem Umstand geschuldet, dass bei längeren Beobachtungsdauern das Bild der Quelle durch die Augenbewegung verwischt und damit die Gefährdung verringert wird.

(2) Das Verwischen des Netzhautbildes bei längeren Beobachtungsdauern wird dadurch berücksichtigt, dass eine Blende vor der Strahlungsquelle (Feldblende) den Empfangswinkel einschränkt (siehe Anlage 2 dieser TROS Laserstrahlung, Abbildung A2.5). Eine weitere Möglichkeit zur Begrenzung des Empfangswinkels wird in Abbildung A2.6 gezeigt.

(3) Der Grenz-Empfangswinkel γ_P hängt von der Expositionsdauer t ab und ist wie folgt definiert:

$$\begin{array}{ll}
 t \leq 100 \text{ s} & \gamma_P = 11 \text{ mrad} \\
 100 \text{ s} < t \leq 10^4 \text{ s} & \gamma_P = 1,1 \cdot t^{0,5} \text{ mrad} \\
 t > 10^4 \text{ s} & \gamma_P = 110 \text{ mrad}
 \end{array}$$

(4) Der Grenz-Empfangswinkel γ_P hängt biologisch mit den Augenbewegungen zusammen und nicht von der Winkelausdehnung α der Quelle ab. Der Grenz-Empfangswinkel γ_P kann größer oder kleiner als die Winkelausdehnung α der Quelle sein.

- Wenn $\alpha > \gamma_P$, dann wird γ_P verwendet (bei Verwendung eines größeren Grenz-Empfangswinkels würde die Gefährdung zu hoch angesetzt).
- Wenn $\alpha \leq \gamma_P$, dann muss der Grenz-Empfangswinkel die betrachtete Quelle mindestens voll erfassen.

(5) Es ist in jedem Fall korrekt, wenn der errechnete Grenz-Empfangswinkel γ_P verwendet wird.

3.4.5 Messung der Impulsdauer und Impulsfolgefrequenz

(1) Die Messung der Impulsdauer und Impulsfolgefrequenz (Definition siehe Anlage 1 dieser TROS Laserstrahlung) kann mittels eines schnellen Fotodetektors und eines entsprechenden Oszilloskops realisiert werden.

(2) Die Parameter Impulsdauer und Impulsfolgefrequenz können in einigen Fällen auch anhand der elektrischen Ansteuerung berechnet werden, z. B. für Laserstrahlungsimpulse, die durch rotierende Spiegel erzeugt werden.

(3) Auch bei variablen Impulspaketen können die Impulse entsprechend Anlage 4 dieser TROS Laserstrahlung, Tabelle A4.7 aufsummiert werden.

3.4.6 Durchführung der Messung

(1) Bei der Durchführung der Strahlungsmessung ist sicherzustellen, dass keine Personen gefährdet werden. Hierzu sind entsprechende Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung vorkommender Wellenlängen, Strahlrichtungen und Bestrahlungsstärken sowie sekundärer Gefährdungen zu ergreifen.

(2) Die Orte, an denen die Messgeräte aufgestellt werden, und die Richtungen, in die die Empfänger ausgerichtet werden, sind so zu wählen, dass das Messergebnis den denkbar ungünstigsten Fall repräsentiert („worst-case“-Szenario). Hierzu kann es nötig sein, Messungen an verschiedenen Orten und in verschiedene Richtungen durchzuführen.

(3) Ein wichtiger Faktor ist die Dauer der Messung. Sie muss sich am zeitlichen Verlauf der Exposition orientieren und muss repräsentativ für die Exposition sein.

(4) Ferner sind die spezifischen Umgebungsbedingungen an den Arbeitsplätzen, wie z. B. Temperatur, Luftfeuchte sowie elektromagnetische Felder, zu berücksichtigen. So kann die Leistung eines Halbleiterlasers bei niedrigen Temperaturen wesentlich ansteigen.

3.4.7 Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung der Messergebnisse ist so durchzuführen, dass die Endergebnisse in den Strahlungsgrößen und Einheiten der Expositionsgrenzwerte vorliegen. Neben dem Messergebnis selbst ist auch die Messunsicherheit zu berechnen oder zur sicheren Seite abzuschätzen und anzugeben.

3.4.8 Beurteilung der Exposition

(1) Das Ergebnis der Messung wird mit dem entsprechenden Expositionsgrenzwert aus Anlage 4, Abschnitt A4.1 dieser TROS Laserstrahlung verglichen. Hierbei ist auch

die Messunsicherheit zu berücksichtigen. Dabei wird festgestellt, ob der Expositionsgrenzwert eingehalten ist oder überschritten wird. Ist eine solche klare Feststellung nicht möglich, weil das Messergebnis in der Nähe des Expositionsgrenzwertes liegt und die Messunsicherheit eine eindeutige Aussage nicht zulässt, dann sind zunächst Maßnahmen zur Verminderung der Exposition zu ergreifen und anschließend die Messung zu wiederholen.

(2) Zusätzlich zu dem Ergebnis der Beurteilung sind alle Faktoren festzuhalten, die zur Exposition der Beschäftigten beitragen oder für deren Bewertung von Bedeutung sind. So ist z. B. bei Beschäftigten mit erhöhter Fotosensibilität die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte nach Anlage 4, Abschnitt A4.1 dieser TROS Laserstrahlung nicht ausreichend und eine weitergehende Reduzierung der Exposition ggf. notwendig. Gegebenenfalls ist eine arbeitsmedizinische Beratung erforderlich.

(3) Wirkt Laserstrahlung auf mehrere Beschäftigte in gleicher Weise ein, dann kann nach § 4 Absatz 2 OStrV das Ergebnis einer geeigneten Stichprobenmessung als repräsentativ für die persönlichen Expositionen angesehen werden.

3.5 Anwendung von Schutzmaßnahmen

Die Auswahl und Anwendung von Schutzmaßnahmen ist Gegenstand des Teils 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung.

3.6 Wiederholung von Messungen und Bewertung

Wiederholungen sind insbesondere dann durchzuführen, wenn:

- sich die Laserstrahlungsquelle(n) oder das Strahlführungssystem (z. B. Optiken) ändern,
- sich die Arbeitsaufgaben verändern,
- sich die Expositionsbedingungen verändern,
- Schutzmaßnahmen in Anwendung sind und diese ggf. verändert werden sollen (z. B. bei geänderten Anforderungen für die Auswahl von Schutzmaßnahmen),
- sich der Stand der Technik hinsichtlich der Messtechnik verändert hat,
- auf Grund veränderter Vorschriften andere Expositionsgrenzwerte anzuwenden sind,
- Hinweise auf Expositionsgrenzwertüberschreitungen vorliegen, z. B. bei Hautrötungen von Beschäftigten.

3.7 Messbericht

(1) Die Ergebnisse von Vorprüfung, Messungen und Bewertung sind in einem Bericht zusammenzufassen. Sofern bereits auf Grundlage der Vorprüfung eine Aussage gemacht werden kann, ob Expositionsgrenzwerte eingehalten oder überschritten werden können, reicht ein Kurzbericht aus. Wird zusätzlich eine Messung und Bewertung der Exposition durchgeführt, ist ein ausführlicher Bericht anzufertigen.

Ein Messbericht enthält insbesondere Angaben zu:

- Anlass und Ziel der Messungen,

- Einzelheiten des Arbeitsplatzes (eventuell Fotografien oder Zeichnungen),
- ggf. den Namen der exponierten Beschäftigten,
- Analyse der Arbeitsaufgabe,
- Art und Typ der Laserstrahlungsquelle,
- verwendeten Schutzausrüstungen,
- der Expositionssituation und den Messorten,
- verwendeten Messeinrichtung(en) und Details zum Messverfahren,
- Expositionsgrenzwerten, die zur Beurteilung herangezogen wurden,
- Ergebnissen der Messung und der Beurteilung,
- Messunsicherheiten,
- Vorschlägen zur Verbesserung der Expositionssituation und der Sicherheit am Arbeitsplatz inklusive geeigneter Schutzmaßnahmen (soweit möglich),
- weiteren Beobachtungen, Erkenntnissen und Empfehlungen, z. B. für ärztliche Maßnahmen.

(2) Der Bericht ist so abzufassen, dass die Expositionssituation nachvollziehbar dargestellt wird. Es muss erkennbar sein, ob Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition erforderlich sind.

(3) Der Bericht ist gemäß § 3 Absatz 4 OStrV in einer solchen Form aufzubewahren, dass eine spätere Einsichtnahme möglich ist. Für Expositionen gegenüber UV-Strahlung sind diese Unterlagen mindestens 30 Jahre aufzubewahren.

4. Einflussfaktoren bei der Ermittlung der Expositionsgrenzwerte

(1) Die Expositionsgrenzwerte für Expositionen von Beschäftigten an Arbeitsplätzen gegenüber Laserstrahlung sind in Anlage 4, Abschnitt A4.1 dieser TROS Laserstrahlung aufgeführt.

(2) Die Expositionsgrenzwerte werden in Abhängigkeit von der Wellenlänge, der Expositionsdauer und teilweise der Winkelausdehnung der Quelle angegeben. Die Angabe erfolgt in $W \cdot m^{-2}$ (Bestrahlungsstärke) oder in $J \cdot m^{-2}$ (Bestrahlung).

Hinweis:

Hilfen für die Berechnung von Expositionen durch Laserstrahlung findet man auch in der Reihe DIN EN 60825 mit ihren diversen Teilen. Die Messungen können in Anlehnung an die einschlägigen Normen durchgeführt werden. Spezielle Normen zur Messung von Expositionen durch Laserstrahlung liegen zurzeit noch nicht vor.

4.1 Relevante Expositionsdauern

(1) Die OStrV umfasst Bewertungen je nach Arbeitsplatzanalyse mit Expositionsdauern bis zu 30 000 s pro Tag. Im Folgenden werden zur Orientierung einige wichtige Zeiten genannt, die für bestimmte Expositionsbedingungen typisch sind. Diese Expositionsdauern werden zum Teil auch bei der Klassifizierung vom Hersteller verwendet.

(2) Als typische relevante Expositionsdauern kommen 30 000 s (entspricht einem achtstündigen Arbeitstag), 100 s (typisch für Laserstrahlung mit Wellenlängen größer als 400 nm bei unterstelltem nichtbeabsichtigtem zufälligem Blick), 10 s oder 5 s (typisch für die Auswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Schutz-Filtern je nach Ausgabedatum der Norm, nach der der Filter geprüft wurde), 2 s (typisch für den bewussten Blick eines unterwiesenen Beschäftigten in einen Laser der Klasse 2 beim Justieren eines feststehenden Lasers) und die Zeitdauer von 0,25 s für den kurzzeitigen, zufälligen Blick (z. B. in den sichtbaren Strahl eines handgehaltenen oder -geführten Laserpointers) zur Anwendung (siehe Tabelle 2).

Tab. 2 Typische Expositionsdauer für verschiedene Anwendungsfälle

Expositionsdauer	Anwendungen
0,25 s	typisch für den kurzzeitigen, zufälligen Blick in den sichtbaren Laserstrahl eines handgehaltenen oder -geführten Laserpointers oder eines anderen Lasers
2 s	typisch für den bewussten Blick eines unterwiesenen Beschäftigten in den Laserstrahl eines Klasse-2-Lasers beim Justieren (feststehender Laser)
5 s	typisch für die Auswahl von Laser-Schutzbrillen und Filtern je nach Ausgabedatum der Norm, nach der der Filter geprüft wurde (seit 2010)
10 s	typisch für die Auswahl von Laser-Schutzbrillen und Filtern je nach Ausgabedatum der Norm, nach der der Filter geprüft wurde (bis 2010)
100 s	typisch für Laserstrahlung mit Wellenlängen größer als 400 nm bei unterstelltem nichtbeabsichtigtem zufälligen Blick
30 000 s	typisch für Laserstrahlung mit unterstelltem beabsichtigtem Blick in Richtung Laserstrahlungsquelle über längere Zeiträume, d. h. länger als 100 s

4.2 Strahlung mehrerer Wellenlängen

(1) Bei Expositionen, die Laserstrahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen beinhalten, muss zunächst geprüft werden, ob die zulässigen Expositionsgrenzwerte für die einzelnen Wellenlängen überschritten sind. Daneben ist aber für verschiedene Wellenlängenbereiche eine Additivität der Wirkung der Strahlung zu berücksichtigen. Beispielsweise kann eine Bestrahlung im UV-A-Wellenlängenbereich ebenso zur Ausbildung eines Grauen Stars beitragen, wie die Einwirkung von IR-A-Strahlung. Einen Überblick bezüglich der Additivität gibt Tabelle 3.

Tab. 3 Additive Wirkung der Strahlungseinwirkung verschiedener Wellenlängenbereiche für Auge und Haut

Wellenlängenbereich	100 nm bis 315 nm	315 nm bis 400 nm	400 nm bis 1 400 nm	1 400 nm bis 10^6 nm
100 nm bis 315 nm	Auge/Haut			
315 nm bis 400 nm		Auge/Haut	Haut	Auge/Haut
400 nm bis 1 400 nm		Haut	Auge/Haut	Haut
1 400 nm bis 10^6 nm		Auge/Haut	Haut	Auge/Haut

(2) Liegt eine additive Wirkung von i verschiedenen Wellenlängen λ_i vor, so muss die Summe der Quotienten aus der Bestrahlungsstärke E_i und der jeweiligen

Expositionsgrenzwerte E_{EGW,λ_i} für alle Werte von i gebildet werden. Der Grenzwert ist eingehalten, wenn diese Summe kleiner als 1 ist:

$$\sum_{\lambda_i} \frac{E_i}{E_{EGW,\lambda_i}} \leq 1 \quad \text{Gl. 4.1}$$

(3) Entsprechendes gilt für H_i , falls der Expositionsgrenzwert als Bestrahlung angegeben wird.

(4) Liegt keine additive Wirkung vor, so muss jeder einzelne Expositionsgrenzwert eingehalten werden.

4.3 Ermittlung des Korrekturfaktors C_E ausgedehnter Quellen

Beim Betrachten nahezu paralleler Laserstrahlung (direkter Blick in den Laserstrahl) kann auf der Netzhaut ein minimaler Fleck von ca. 25 μm Durchmesser entstehen. Auf diesen ungünstigsten Fall beziehen sich die Expositionsgrenzwerte. Im Fall des Blicks in eine ausgedehnte Quelle kann der Expositionsgrenzwert um einen Korrekturfaktor C_E angehoben werden. Dieser berücksichtigt die Vergrößerung des Abbilds auf der Netzhaut. Die Größe des Laserstrahlflecks auf der Netzhaut wird durch die Winkelausdehnung α gegeben, unter dem die Quelle erscheint (Anlage 2, Abschnitt A2.3 dieser TROS Laserstrahlung). Der Korrekturfaktor C_E ist der Tabelle A4.6 zu entnehmen.

Hinweis:

Die Anwendung des Korrekturfaktors wird in den Abschnitten 5.4 und 5.7 dieser TROS Laserstrahlung mit Beispielrechnungen erläutert.

5. Beispiele zur Berechnung von Expositionen und Expositionsgrenzwerten

Aus den Herstellerangaben über die wichtigsten Daten des Lasers und der Strahlführung ist es meist möglich, die Bestrahlungsstärke E und die Bestrahlung H zu berechnen. Für die Aufgabe benötigt man Angaben über die Laserleistung bei kontinuierlichen Lasern und die Impulsenergie, Impulsbreite und Impuls-wiederholfrequenz bei gepulsten Lasern. Weiterhin benötigt man Angaben über den Strahldurchmesser (in dem 63 % der Laserleistung enthalten ist) und den Strahlverlauf (Konvergenz oder Divergenz). Daraus lässt sich bei verschiedenen Anwendungen der kleinste relevante Strahldurchmesser ermitteln.

5.1 Kollimierte Laserstrahlung

Bei kollimierter Laserstrahlung lässt sich der kleinste relevante Strahldurchmesser aus der Strahldivergenz und dem minimalen Abstand der Beschäftigten zur Laserstrahlungsquelle bestimmen (siehe Anlage 2, Abschnitt A2.1). Die Exposition kann in diesem und in den folgenden Fällen aus der angegebenen Laserleistung oder Impulsenergie und der Fläche, die dem kleinsten relevanten Durchmesser zugeordnet ist, berechnet werden.

Beispiel:

Ein Nd:YAG-Laser (Wellenlänge $\lambda = 1\,064\text{ nm}$, Leistung $P = 100\text{ mW}$) strahlt mit einem Durchmesser von $d_{63} = 2\text{ mm}$. Zu berechnen ist die Bestrahlungsstärke E für

eine Exposition der Augen und diese ist mit dem Expositionsgrenzwert E_{EGW} zu vergleichen. Für den Fehlerfall wird von einer maximalen Expositionsdauer von $t = 10 \text{ s}$ ausgegangen. Die Strahldivergenz soll in diesem Beispiel vernachlässigt werden. Die Winkelausdehnung α ist kleiner als $1,5 \text{ mrad}$ („Punktlichtquelle“).

Zunächst ist anhand von Tabelle 1 zu prüfen, welcher Blendendurchmesser D für die Berechnung der Fläche A zwecks Vergleichs mit dem Expositionsgrenzwert zu nehmen ist. Es muss danach für das Auge ein Blendendurchmesser von $D = 7 \text{ mm}$ verwendet werden.

Bestrahlte Fläche:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (7 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 3,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad \text{Gl. 5.1}$$

Bestrahlungsstärke:

$$E = \frac{P}{A} = \frac{0,1 \text{ W}}{3,85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2} = 2597 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.2}$$

Die Berechnung des Expositionsgrenzwertes E_{EGW} erfolgt gemäß Anlage 4, Tabelle A4.4:

$$E_{EGW} = 10 \cdot C_A \cdot C_C \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.3}$$

Aus Anlage 4, Tabelle A4.6 entnimmt man die Parameter $C_A = 5$ und $C_C = 1$. Damit ergibt sich $E_{EGW} = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Die berechnete Bestrahlungsstärke $E = 2597 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ liegt weit über dem Expositionsgrenzwert. Vom Arbeitgeber müssen geeignete Schutzmaßnahmen ausgewählt und getroffen werden.

Hinweis 1:

Bei Verwendung der Tabelle A4.8 „Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges“ aus Anlage 4 (kann bei der Auswahl einer Laser-Schutzbrille verwendet werden) würde sich in diesem Beispiel der Wert $E_{EGW} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ergeben.

Hinweis 2:

Zur Bestimmung der erforderlichen Schutzstufe der Laser-Schutzbrille muss in diesem Fall die Bestrahlungsstärke auf Basis des tatsächlichen Laserstrahldurchmessers von 2 mm berechnet werden.

5.2 Fokussierung von Laserstrahlung mit einer Linse

(1) Der kleinste relevante Strahldurchmesser ist abhängig vom Strahldurchmesser an der Linse sowie von der Brennweite der Linse und wird im kleinstmöglichen Abstand des Beobachters zur Laserstrahlungsquelle bestimmt (siehe Abbildung 3). Bei sichtbarer Laserstrahlung und im IR-A-Spektralbereich (400 nm bis 1400 nm) – im Sinne einer „worst-case“-Abschätzung – kann von einem kleinsten Expositionsabstand von 100 mm hinter dem Fokus ausgegangen werden. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass das schärfste (kleinste) Bild auf der Netzhaut in der Regel bei diesem Abstand entsteht.

(2) Man kann den Strahldurchmesser d_x am Expositionsort wie folgt berechnen:

$$d_x = \frac{d_{63} \cdot x}{f} \quad \text{Gl. 5.4}$$

Dabei ist d_{63} der Strahldurchmesser an der Linse, x die Entfernung des Orts der Exposition vom Fokus und f die Brennweite der Linse.

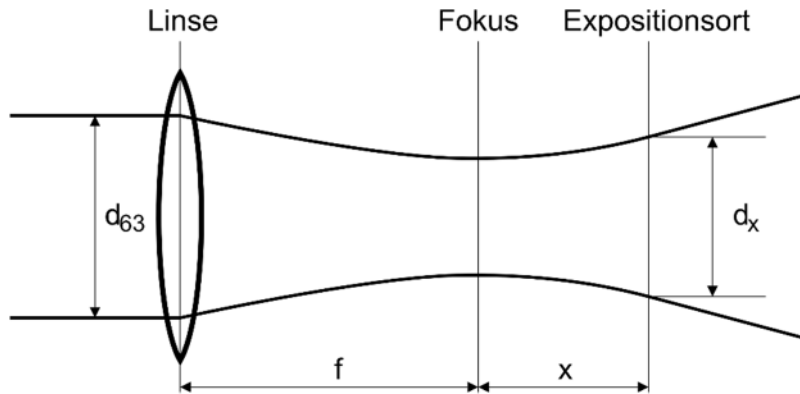


Abb. 3 Laserstrahlung mit einer Linse gebündelt

Beispiel:

Ein Diodenlaser (Wellenlänge $\lambda = 950 \text{ nm}$, Leistung $P = 1,1 \text{ W}$) sendet einen nahezu parallelen Laserstrahl mit einem Durchmesser d_{63} von 3 mm aus und wird durch eine Linse mit der Brennweite $f = 10 \text{ mm}$ fokussiert. Zur Ermittlung der maximalen Gefährdung für eine Exposition der Augen und der Haut über $t = 100 \text{ s}$ wird die Bestrahlungsstärke E mit den Expositionsgrenzwerten E_{EGW} verglichen.

Berechnung für die Augengefährdung:

Da der Laserstrahl auf die Netzhaut fokussiert werden kann, wird der Strahldurchmesser d_x in diesem Beispiel im ungünstigsten Abstand von $x = 100 \text{ mm}$ Entfernung vom Fokus der Linse bestimmt:

$$d_x = \frac{d_{63} \cdot x}{f} = \frac{3 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 30 \text{ mm} \quad \text{Gl. 5.5}$$

Der Durchmesser des Strahls ist größer als die Messblende von 7 mm nach Abschnitt 3.4.3, Tabelle 1, und ist somit für die Berechnung der Strahlquerschnittsfläche A anzuwenden.

Berechnung der Strahlquerschnittsfläche A :

$$A = \frac{\pi \cdot d_x^2}{4} = \frac{\pi \cdot (30 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{Gl. 5.6}$$

$$E = \frac{P}{A} = \frac{1,1 \text{ W}}{7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1549 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.7}$$

Expositionsgrenzwert E_{EGW} :

$$E_{\text{EGW}} = 10 \cdot C_A \cdot C_C \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Aus Anlage 4, Tabelle A4.6 entnimmt man die Parameter $C_A = 10^{0,002 \cdot (\lambda - 700)} = 3,16$ und $C_C = 1$. Damit erhält man $E_{EGW} = 31,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Die berechnete Bestrahlungsstärke $E = 1\,549 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ liegt weit über dem Expositionsgrenzwert. Entsprechende technische und organisatorische Schutzmaßnahmen müssen vom Arbeitgeber getroffen werden.

Berechnung für die Hautgefährdung:

Da der Laserstrahl auf die Haut (dies gilt auch für die Hornhaut des Auges) fokussiert werden kann, muss der Durchmesser im Fokus der Linse bestimmt werden. Der Durchmesser des Strahls im Fokus ist daher kleiner als die Messblende mit einem Durchmesser von 3,5 mm. Nach Abschnitt 3.4.3 ist somit für die Berechnung der Fläche A die Messblende entsprechend der Tabelle 1 anzuwenden ($D = 3,5 \text{ mm}$).

Berechnung der Strahlquerschnittsfläche A:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 9,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{Gl. 5.8}$$

$$E = \frac{P}{A} = \frac{1,1 \text{ W}}{9,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 114\,583 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.9}$$

Expositionsgrenzwert E_{EGW} für die Haut aus Anlage 4, Tabelle A4.5:

$$E_{EGW} = 2 \cdot 10^3 \cdot C_A \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.10}$$

Mit $C_A = 3,16$, ergibt sich $E_{EGW} = 6\,320 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Die berechnete Bestrahlungsstärke $E \approx 115\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ liegt deutlich über dem Expositionsgrenzwert. Entsprechende technische und organisatorische Schutzmaßnahmen müssen vom Arbeitgeber getroffen werden.

5.3 Laserstrahlung aus einem Lichtwellenleiter

(1) Laserstrahlung tritt aus Lichtwellenleitern divergent in Abhängigkeit von der numerischen Apertur ($NA = \sin(\varphi/2)$, φ = voller Öffnungswinkel) aus (siehe Abbildung 4). Als kleinstmöglicher Abstand von dem Laseraustritt kann im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1 400 nm ein Abstand von 100 mm angenommen werden.

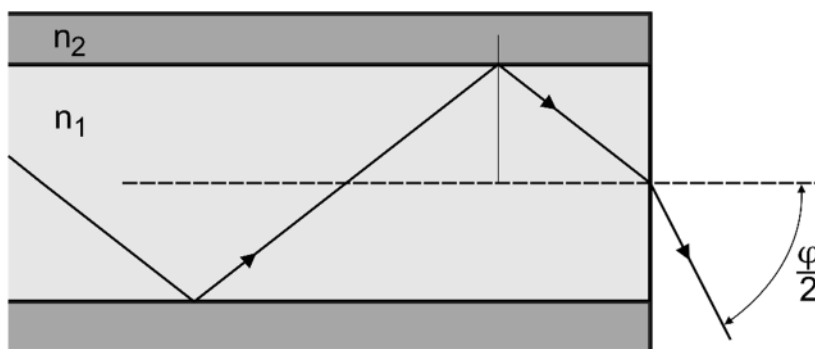


Abb. 4 Laserstrahlung aus einem Lichtwellenleiter (n_1 = Brechungsindex des Kerns, n_2 = Brechungsindex des Mantels)

(2) In der folgenden Tabelle 4 wird der Zusammenhang zwischen der Numerischen Apertur NA und dem Strahldurchmesser bei dem ungünstigsten Abstand von 100 mm angegeben. Wenn die austretende Laserleistung (z. B. aus dem Datenblatt) bekannt ist, kann auf diese Weise die Bestrahlungsstärke im ungünstigsten Abstand von 100 mm vom LWL-Austritt berechnet werden.

Tab. 4 Strahldurchmesser in 100 mm Entfernung in Abhängigkeit von der Numerischen Apertur NA

NA	φ in Grad	Strahldurchmesser in mm
0,0	0,0	0
0,1	11,5	20,1
0,2	23,1	40,8
0,3	34,9	62,9
0,4	47,2	87,3
0,5	60,0	115,5
0,6	73,7	150,0
0,7	88,9	196,0
0,8	106,3	266,7
0,9	128,3	412,9

Hinweis:

Weitere nützliche Informationen zu Laserstrahlung, die in Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWLKS) genutzt wird, werden ausführlich in [12] behandelt.

5.4 Ausgedehnte Quellen bei vollkommen diffuser Reflexion

(1) Beim direkten Blick in einen gebündelten Laserstrahl (mit einem kleineren Durchmesser als dem der Pupille) wird u. U. die gesamte in das Auge fallende Strahlungsleistung durch die Augenlinse auf einen kleinen Punkt auf der Netzhaut fokussiert. Bei Blick in ausgedehnte Quellen entsteht auf der Netzhaut ein größeres Abbild, über welches die einfallende Strahlungsleistung verteilt wird. Der für den obigen Fall („Punktlichtquellen“) gültige Expositionsgrenzwert kann dann um den Faktor C_E (siehe Anlage 4, Tabelle A4.6) vergrößert werden. Eine ausgedehnte Quelle kann beispielsweise vorliegen, wenn ein aufgeweiteter Laserstrahl auf eine diffus reflektierende Wand (z. B. matt-weiß gestrichene Wand, keine spiegelnd reflektierende Flächen vorhanden) gerichtet ist und in diese Reflexionsstelle geblickt wird.

(2) Dabei ist zu berücksichtigen, dass diffuse Reflexion häufig auch gerichtet reflektierte Anteile besitzt. Dieses Beispiel ist nicht anwendbar bei optischen Strahlungsleistungen, die das Material (in diesem Beispiel die Wand) verändern würden.

Beispiel:

Ein Laserstrahl (Wellenlänge $\lambda = 670$ nm, Strahldivergenz $\varphi = 10$ mrad) mit der Leistung $P = 1,1$ W wird an einer Fläche mit einem Fleckdurchmesser von $d_{63} = 1,5$ cm ideal diffus reflektiert. Zu berechnen ist der Expositionsgrenzwert E_{EGW} für thermische Netzhautschädigung für eine maximale Expositionsdauer von $t = 100$ s (zufälliger unbeabsichtigter Blick, siehe Abschnitt 4.1) und eine minimale Wandentfernung von

$r = 1,2 \text{ m}$ und es ist festzustellen, ob eine sichere Betrachtung in diesem Abstand möglich ist.

Lösung:

Der Expositionsgrenzwert für thermische Netzhautschädigung wird nach Tabelle A4.4 (Bereich 400 nm - 700 nm) berechnet. Er hängt von den Parametern α , C_E und T_2 ab. Nach Anlage 2, Abschnitt A2.3 gilt für die Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle:

$$\alpha = \frac{d_{63}}{r} = \frac{0,015 \text{ m}}{1,2 \text{ m}} = 0,0125 \text{ rad} = 12,5 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.11}$$

Dies gilt nur bei senkrechtem Einfall und Blick auf die diffus reflektierende Fläche („worst-case“-Szenario). Bei schrägem Blick wird der Fleck in Form einer Ellipse gesehen und α ist entsprechend anzupassen.

Damit wird C_E nach Anlage 4, Tabelle A4.6:

$$C_E = \frac{\alpha}{\alpha_{\min}} = \frac{12,5 \text{ mrad}}{1,5 \text{ mrad}} = 8,33 \quad \text{Gl. 5.12}$$

T_2 berechnet sich wie folgt (Tabelle A4.6):

$$T_2 = 10 \cdot 10^{\frac{\alpha - 1,5}{98,5}} \text{ s} = 12,93 \text{ s} \quad \text{Gl. 5.13}$$

Mit diesen Werten ($\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ und $t > T_2$) berechnet sich der Expositionsgrenzwert nach Tabelle A4.4 wie folgt:

$$E_{\text{EGW}} = 18 \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 79,07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.14}$$

Beim idealen Lambert'schen Strahler (in den Halbraum) errechnet sich die Bestrahlungsstärke in Augenebene im Abstand von $r = 1,2 \text{ m}$ aus

$$E = \rho \cdot \frac{P \cdot \cos \varepsilon}{\pi \cdot r^2}, \quad \text{Gl. 5.15}$$

wobei ρ Reflexionsgrad und ε Betrachtungswinkel in Bezug auf die reflektierende Fläche sind. Unter „worst-case“-Bedingungen, d. h. für $\rho = 1$ (keine Verluste) und $\varepsilon = 0$ (senkrecht zur diffus reflektierenden Oberfläche, $\cos \varepsilon = 1$), gilt:

$$E = \frac{P}{\pi \cdot r^2} = \frac{1,1 \text{ W}}{4,5 \text{ m}^2} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.16}$$

Die Bestrahlungsstärke $E = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ im Abstand von $1,2 \text{ m}$ liegt damit deutlich unter dem Expositionsgrenzwert $E_{\text{EGW}} = 79,07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ für 100 s und die Reflexionsstelle kann somit sicher für diese Zeit betrachtet werden. Danach bräuchten keine Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Bei der Annahme, es würde nur 10 % der Strahlung nahezu spiegelnd reflektiert und dieser Strahlungsanteil in einem Abstand von 1,2 m aufgrund der Divergenz auf eine Strahlquerschnittsfläche von $A = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ aufgeweitet, dann würde sich dort eine Bestrahlungsstärke von

$$E = \frac{0,1 \cdot 1,1 \text{ W}}{1,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 973 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.17}$$

ergeben. Dieser so berechnete Wert liegt um den Faktor 12,3 oberhalb des Expositionsgrenzwertes. Schutzmaßnahmen wären dann erforderlich.

5.5 Exposition gegenüber Laserstrahlung mit verschiedenen Wellenlängen

Beispiel:

Ein aufgeweiteter Nd:YAG-Laserstrahl (cw) strahlt mit $\lambda_1 = 1\,064 \text{ nm}$, $P_1 = 1,5 \text{ mW}$ und $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$, $P_2 = 0,4 \text{ mW}$, Strahlquerschnitt jeweils $38,5 \text{ mm}^2$. Wie hoch sind die Expositionsgrenzwerte für beide Wellenlängen bei einer Bestrahlungsdauer von $t_1 = 2 \text{ s}$ und $t_2 = 10 \text{ s}$? Die Winkelausdehnung α ist kleiner als $1,5 \text{ mrad}$ („Punktlichtquelle“). Wird der Expositionsgrenzwert für thermische Netzhautschädigung eingehalten?

Lösung:

Die Expositionsgrenzwerte werden nach Tabellen A4.3 und A4.4 berechnet. Sie hängen von den Parametern C_E , C_C und t ab.

a) $t_1 = 2 \text{ s}$ (Tabelle A4.3)

Für die Wellenlänge $\lambda_1 = 1\,064 \text{ nm}$ gilt der Expositionsgrenzwert

$$H_{\text{EGW},\lambda_1} = 90 \cdot C_C \cdot C_E \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 151,4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}, \quad \text{Gl. 5.18}$$

mit $C_C = 1$ und $C_E = 1$. Damit folgt für den Expositionsgrenzwert, ausgedrückt als Bestrahlungsstärke:

$$E_{\text{EGW},\lambda_1} = \frac{H_{\text{EGW},\lambda_1}}{t_1} = \frac{151,4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{2 \text{ s}} = 75,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.19}$$

Die Bestrahlungsstärke des Lasers für die Wellenlänge λ_1 beträgt:

$$E_1 = \frac{P_1}{A} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{38,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 39,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.20}$$

Für die Wellenlänge $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$ gilt der Expositionsgrenzwert

$$H_{\text{EGW},\lambda_2} = 18 \cdot C_E \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} = 30,3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.21}$$

bzw.

$$E_{\text{EGW},\lambda_2} = \frac{H_{\text{EGW},\lambda_2}}{t_1} = \frac{30,3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}}{2 \text{ s}} = 15,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.22}$$

Der Laser hat bezüglich dieser Wellenlänge eine Bestrahlungsstärke von

$$E_2 = \frac{P_2}{A} = \frac{4 \cdot 10^{-4} \text{ W}}{38,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 10,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.23}$$

b) $t_2 = 10 \text{ s}$ (Tabelle A4.4)

Für die Wellenlänge $\lambda_1 = 1064 \text{ nm}$ gilt der Expositionsgrenzwert

$$E_{\text{EGW},\lambda_1} = 10 \cdot C_A \cdot C_C \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}, \quad \text{Gl. 5.24}$$

mit $C_A = 5$ und $C_C = 1$. Für die Wellenlänge $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$ gilt der Expositionsgrenzwert:

$$E_{\text{EGW},\lambda_2} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.25}$$

Überprüfung, ob der Expositionsgrenzwert eingehalten ist:

Nach Abschnitt 4.2 muss überprüft werden, ob die Forderung

$$\sum_{\lambda_i} \frac{E_i}{E_{\text{EGW},\lambda_i}} \leq 1$$

gilt. Im Fall der Expositionsdauer $t_1 = 2 \text{ s}$ ergibt sich:

$$\frac{E_1}{E_{\text{EGW},\lambda_1}} + \frac{E_2}{E_{\text{EGW},\lambda_2}} = \frac{39,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{75,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} + \frac{10,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{15,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} = 1,20 > 1 \quad \text{Gl. 5.26}$$

und im Fall der Expositionsdauer $t_2 = 10 \text{ s}$ erhält man

$$\frac{E_1}{E_{\text{EGW},\lambda_1}} + \frac{E_2}{E_{\text{EGW},\lambda_2}} = \frac{39,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{50,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} + \frac{10,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{10,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} = 1,82 > 1. \quad \text{Gl. 5.27}$$

Der Expositionsgrenzwert wird bei beiden Expositionsdauern überschritten.

5.6 Abschätzung der Gefährdung durch einen einfachen Laserscanner

Beispiel:

Laserstrahlung von Scannern bzw. örtlich bewegter Laserstrahlung wird mit einer feststehenden Messblende bewertet. Es ergibt sich dann eine Impulsstrahlung.

Wellenlänge:	$\lambda = 650 \text{ nm}$
Laserleistung:	$P = 0,1 \text{ W}$
Scanfrequenz:	$f = 100 \text{ Hz}$
Scanbereich Durchmesser:	$d_{\text{scan}} = 200 \text{ mm}$
Strahldurchmesser:	$d = 1 \text{ mm}$
Durchmesser der Messblende zur Leistungsmessung (siehe Tabelle 1):	$D = 7 \text{ mm}$
Expositionsdurchmesser:	$a = D + d = 8 \text{ mm}$

Ein durch einen harmonisch angesteuerten Laserscanner bewegter Laserstrahl überstreicht das Auge. Die für den Betrachter gefährlichste Situation entsteht dann, wenn der Laserstrahl einen Richtungswechsel an den Orten $+r_{\text{scan}}$ und $-r_{\text{scan}}$ vornimmt (Abbildung 5), da der Laserstrahl in dieser Situation am längsten im Auge verharret. Gesucht wird die Expositionsdauer Δt , in der ein Betrachter dem Laserstrahl beim Richtungswechsel ausgesetzt wird.

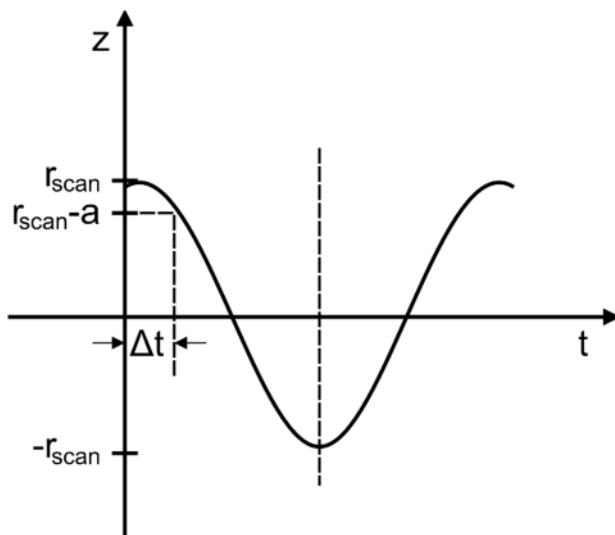


Abb. 5 Scanbereich und zeitlicher Verlauf beim Scannen

Für die Kosinusfunktion im Weg-Zeit Diagramm gilt:

$$z = r_{\text{scan}} \cdot \cos \omega t \quad \text{Gl. 5.28}$$

Mit $z = r_{\text{scan}} - a$ und der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi \cdot f$, folgt daraus:

$$r_{\text{scan}} - a = r_{\text{scan}} \cdot \cos (2\pi \cdot f \cdot \Delta t) \quad \text{Gl. 5.29}$$

$$2\pi \cdot f \cdot \Delta t = \arccos \frac{r_{\text{scan}} - a}{r_{\text{scan}}} \quad \text{Gl. 5.30}$$

Expositionsdauer Δt der Netzhaut:

$$\Delta t = \frac{\arccos \frac{r_{\text{scan}} - a}{r_{\text{scan}}}}{2\pi \cdot f} = \frac{\arccos \frac{92 \text{ mm}}{100 \text{ mm}}}{2 \cdot \pi \cdot 100 \text{ s}^{-1}} \approx 0,00064 \text{ s} \quad \text{Gl. 5.31}$$

Expositionsgrenzwert im sichtbaren Spektralbereich für Zeiten $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ s}$ bis 10 s beträgt (mit $C_E = 1$):

$$H_{\text{EGW}} = 18 \cdot t^{0,75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.32}$$

Da der Strahl an den Umkehrpunkten zweimal das Auge überstreicht, ist die Bestrahlungsdauer $t = 2 \cdot \Delta t$. Es folgt $H_{\text{EGW}} = 0,12 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ und

$$E_{\text{EGW}} = \frac{H_{\text{EGW}}}{t} = 92,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.33}$$

Die Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte) E des Laserstrahls beträgt:

$$E = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{0,1 \text{ W}}{38,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 2597 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.34}$$

In diesem Beispiel überschreitet die Leistungsdichte des Lasers den Expositionsgrenzwert um das 28-fache. Entsprechende Schutzmaßnahmen müssen festgelegt werden.

5.7 Beispiel zur Bewertung eines Linienlasers

(1) Ein Laser strahlt kontinuierlich mit einer Wellenlänge von $\lambda = 650 \text{ nm}$. Die Laserlinie wird durch eine Zylinderlinse (Stablinse) erzeugt. Es wird davon ausgegangen, dass $C_E > 1$ ist. Der Laser entspricht der Laserklasse 3B gemäß DIN EN 60825-1:2008 [4].

(2) Für eine Gefährdungsbeurteilung sollen zwei Situationen überprüft werden, bei denen die Beschäftigten der Laserstrahlung ausgesetzt sein könnten.

1. Der direkte Blick in den Laserstrahl

Es besteht die Möglichkeit, dass ein Beschäftigter im Abstand von 80 mm von der Gehäusevorderkante in die Austrittsöffnung des Lasers blickt.

Hinweis:

Dieser Abstand entspricht nicht den Klassifizierungsbedingungen der oben genannten Lasernorm und ist in der Regel unterschiedlich zur vorgenommenen Klassifizierung, die der Hersteller üblicherweise in einer Entfernung $\geq 100 \text{ mm}$ von der scheinbaren Quelle vornimmt.

2. Der Blick auf die reflektierte Laserlinie

Es wird angenommen, dass der Beschäftigte längere Zeit (3 h täglich) auf die von einer Wand reflektierte Laserlinie im Abstand von 400 mm blickt. Die Ausdehnung der Laserlinie in x-Richtung beträgt 100 mm und in y-Richtung 5 mm.

(3) Vorgehensweise:

Für die Abstände von 80 mm und 400 mm muss C_E ermittelt werden. Die Bestimmung von C_E erfolgt über die Ermittlung der Winkelausdehnung α , unter der die scheinbare Quelle am Auge erscheint (siehe A2.3). Zur Bestimmung der scheinbaren Quellengröße wird das Auge durch eine Sammellinse und eine CCD-Kamera simuliert (siehe Abbildungen 6 a und 6 b). Im Prüfaufbau ist für g die Entfernung von 80 mm bzw. 400 mm zwischen der Vorderkante des Linienlasers bis zur Mitte der Sammellinse einzustellen. Die CCD-Kamera ist so zu verschieben, dass die scheinbare Quelle „scharf“ abgebildet wird. Anhand des Kamerabildes werden die Größen B_x und B_y sowie die Bildweite b bestimmt. Wie im Laserschutz üblich, wird die Bestrahlungsstärke (oder Leistungsdichte) auf 63 % des Maximalwerts reduziert und daraus können B_x und B_y ermittelt werden (siehe Abbildung 7).

Mittels des Abbildungsmaßstabs g/b kann die scheinbare Quellengröße G_x in x- und G_y in y-Richtung bestimmt werden:

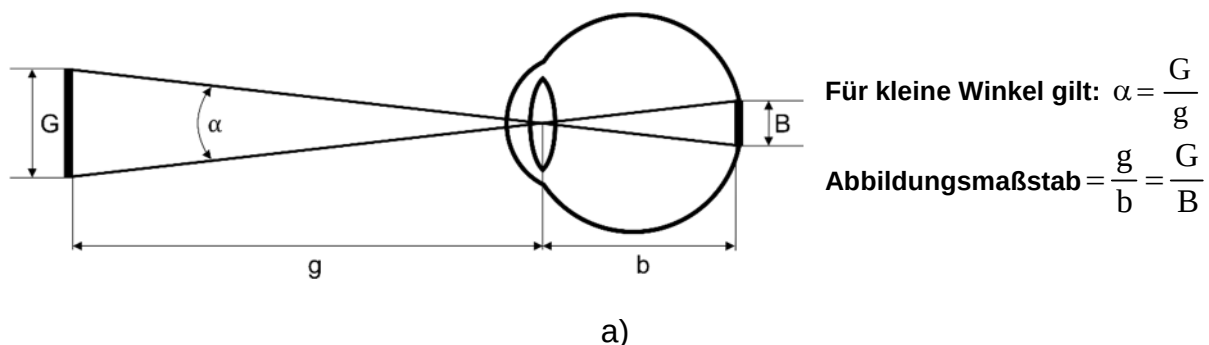
$$G_x = B_x \cdot \frac{g}{b} \quad \text{Gl. 5.35}$$

$$G_y = B_y \cdot \frac{g}{b} \quad \text{Gl. 5.36}$$

Aus den nun ermittelten Werten von G_x und G_y können α_x und α_y ermittelt werden:

$$\alpha_x = \frac{G_x}{g} \quad \text{Gl. 5.37}$$

$$\alpha_y = \frac{G_y}{g} \quad \text{Gl. 5.38}$$



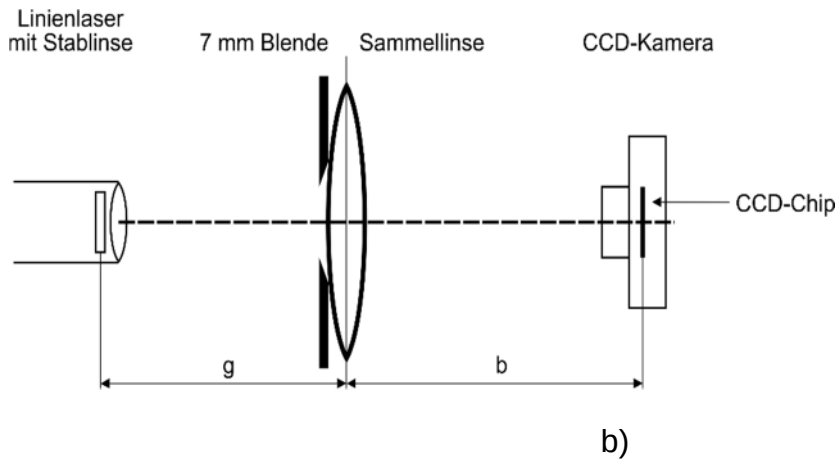


Abb. 6 Zur Bestimmung der Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle:

a) Winkelausdehnung α am Auge

b) Prüfaufbau

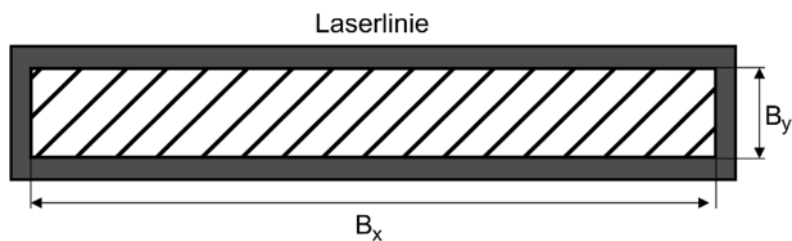


Abb. 7 Die schraffierte Fläche enthält 63 % der Energie der Laserstrahlung

Randbedingungen:

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

$$\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$$

Aus den beiden Winkelausdehnungen α_x und α_y ist entsprechend dieser TROS Laserstrahlung ein Mittelwert α_m wie folgt zu bilden:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_x + \alpha_y}{2} \quad \text{Gl. 5.39}$$

Daraus wird C_E berechnet mit:

$$C_E = \frac{\alpha_m}{\alpha_{\min}} \quad \text{Gl. 5.40}$$

Hinweis:

Der Wert für C_E liegt bei Laserstrahlung von Linienlasern im Abstand von etwa 80 mm vom Strahlaustritt üblicherweise im Bereich von 2 bis 5. Macht der Hersteller keine Angaben, so muss bei der Gefährdungsbeurteilung im Abstand bis 100 mm mit dem Faktor $C_E = 1$ gerechnet werden.

Nebenrechnung für g = 80 mm:

Mittels Messungen wurde B_x mit 0,01 mm und B_y mit 0,52 mm bestimmt. Der Abbildungsmaßstab g/b beträgt 1,41. Es ergibt sich $G_x = 0,014$ mm und $G_y = 0,733$ mm. Mit dem angenommenen Messabstand g von 80 mm folgt:

$$\alpha_x = \frac{0,014 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 0,18 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.41}$$

Da der minimale Wert für α_x 1,5 mrad beträgt, wird mit diesem Wert für α_x weiter gerechnet.

$$\alpha_y = \frac{0,733 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 9,16 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.42}$$

$$\alpha_m = \frac{1,5 \text{ mrad} + 9,16 \text{ mrad}}{2} = 5,33 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.43}$$

$$C_E = \frac{\alpha_m}{\alpha_{\min}} = \frac{5,33 \text{ mrad}}{1,5 \text{ mrad}} = 3,55 \quad \text{Gl. 5.44}$$

In diesem Beispiel wurde im Abstand von 80 mm mit der 7-mm-Blende eine Leistung P von 5 mW gemessen. Dieser Wert ist mit dem Grenzwert für die Laserklasse 2 für 0,25 s zu vergleichen. Er beträgt $P_{\text{EGW}} = 1 \text{ mW} \cdot C_E = 3,55 \text{ mW}$. Es ergibt sich, dass dieser Wert schon für eine Expositionsdauer von 0,25 s im Abstand von 80 mm überschritten wird.

Nebenrechnung für g = 400 mm:

Mit dem angenommenen Messabstand (Beobachtungsabstand von der Wand) von 400 mm und $G_x = 100$ mm und $G_y = 5$ mm folgt:

$$\alpha_x = \frac{100 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = 250 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.45}$$

$$\alpha_y = \frac{5 \text{ mm}}{400 \text{ mm}} = 12,5 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.46}$$

Da α_x maximal 100 mrad groß werden kann, wird α_x auf 100 mrad festgelegt.

$$\alpha_m = \frac{100 \text{ mrad} + 12,5 \text{ mrad}}{2} = 56,25 \text{ mrad} \quad \text{Gl. 5.47}$$

$$C_E = \frac{56,25 \text{ mrad}}{1,5 \text{ mrad}} = 37,5 \quad \text{Gl. 5.48}$$

Bei der Leistungsüberprüfung im Abstand von $g = 400$ mm ergibt sich eine Leistung P von 0,35 mW mit der 7-mm-Blende. Für die Bestimmung des Expositionsgrenzwertes

muss der Expositionsgrenzwert für $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ aus Tabelle A4.4 herangezogen werden:

$$E_{\text{EGW}} = 18 \cdot C_E \cdot T_2^{-0,25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{Gl. 5.49}$$

Der Expositionsgrenzwert muss für die Zeit T_2 bestimmt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Blickfixierung der Laserstrahlverteilung auch in längeren Zeitabschnitten (hier 3 h) nicht für längere Zeiten als T_2 erfolgt, sondern durch Augen- und Kopfbewegungen verhindert wird. T_2 entnimmt man aus Tabelle A4.6 für den Fall $1,5 \text{ mrad} < \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ und erhält

$$T_2 = 10 \cdot 10^{\frac{(\alpha-1,5)}{98,5}} \text{ s} = 36,0 \text{ s} \quad \text{Gl. 5.50}$$

Damit ergibt sich der Expositionsgrenzwert von $E_{\text{EGW}} = 275,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, oder, wenn man mit der Fläche A der Messblende von $38,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ multipliziert, $P = 10,6 \text{ mW}$. Dieser Expositionsgrenzwert wird also eingehalten. Vorübergehende Blendung ist jedoch möglich und muss speziell betrachtet werden.

6. Literaturhinweise

- [1] DIN EN 207:2012-04: Persönlicher Augenschutz – Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen)
- [2] DIN EN 208:2010-04: Persönlicher Augenschutz – Augenschutzgeräte für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)
- [3] DIN EN 12254:2012-04: Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
- [4] DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
- [5] DIN EN 60825-4:2011-12: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
- [6] DIN EN 61040:1993-08: Empfänger, Meßgeräte und Anlagen zur Messung von Leistung und Energie von Laserstrahlen
- [7] DIN EN ISO 11145:2008-11: Optik und Photonik – Laser und Laseranlagen – Begriffe und Formelzeichen
- [8] DIN EN ISO 11146-1:2005-04: Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für Laserstrahlabmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen – Teil 1: Stigmatische und einfach astigmatische Strahlen
- [9] DIN EN ISO 11146-2:2005-05: Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für Laserstrahlabmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen – Teil 2: Allgemein astigmatische Strahlen
- [10] DIN EN ISO 11554:2008-11: Optik und Photonik – Laser und Laseranlagen – Prüfverfahren für Leistung, Energie und Kenngrößen des Zeitverhaltens von Laserstrahlen
- [11] DIN EN 60825 Beiblatt 13:2013-04: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Beiblatt 13: Messungen zur Klassifizierung von Lasereinrichtungen
- [12] DGUV Information 203-039: Umgang mit Lichtwellenleiter- Kommunikations-Systemen (LWKS)
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5031.pdf>

Anlage 1 Messgrößen und Parameter zur Charakterisierung von Laserstrahlung

Die Beschreibung der Eigenschaften der von Laser-Einrichtungen emittierten Strahlung erfolgt durch Angabe verschiedener Messgrößen bzw. Parameter aus den Tabellen A1, A2 und A3. Die Tabellen enthalten die wesentlichen Messgrößen und Parameter, die bei Berechnungen oder Messungen von Laserstrahlung berücksichtigt werden müssen. Erläuterungen zu diesen Größen sind in Anlage 2 aufgeführt. Umfassendere Auflistungen können je nach Anwendungsfall z. B. DIN EN ISO 11145 [7] oder DIN EN 60825-1 [4] entnommen werden. Für die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung sollte die Anzahl der Messgrößen und Parameter auf das Mindestmaß beschränkt werden, das eine vollständige und sachgerechte Analyse ermöglicht. In der Mehrzahl der Fälle sind als wesentliche Messgrößen die Leistung oder Energie, die Wellenlänge sowie das Strahlprofil des Laserstrahls zu bestimmen.

Tab. A1 Geometrische Größen und Größen zur Laserstrahlcharakterisierung

Formelzeichen	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
α	ebener Winkel, $\alpha = k / r$	Quotient aus dem vom ebenen Winkel aus einem Kreis herausgeschnittenen Kreisbogen k und dem Radius des Kreises r	rad
Ω	Raumwinkel $\Omega = A / r^2$	Quotient der vom räumlichen Winkel aus einer Kugel herausgeschnittenen Oberfläche A und dem Quadrat des Kugelradius	sr
A	Strahlquerschnittsfläche	kleinste Fläche, die einen bestimmten Anteil der Strahlungsleistung enthält	m ²
d	Strahldurchmesser	Durchmesser des kleinsten Kreises in einer Ebene senkrecht zur Strahlachse, der einen bestimmten Anteil der Strahlungsleistung enthält	m
φ, θ	Strahldivergenz, Divergenzwinkel, Fernfelddivergenzwinkel, Fernfeldöffnungswinkel	Vollwinkel, der durch das Geradenpaar gebildet wird, das asymptotisch die Einhüllende der zunehmenden Strahlabmessung enthält (wird bezüglich eines vorgegebenen Leistungsanteils definiert)	rad
t_H	Impulsdauer	Intervall zwischen den Zeitpunkten, bei denen die momentane Leistung 50 % der Spitzenleistung zum ersten und zum letzten Mal erreicht	s
F, f_P	Impulsfolgefrequenz, Impulswiederholfrequenz	Anzahl der Laserimpulse je Sekunde bei einem wiederholt gepulsten Laser	Hz
λ	Wellenlänge		nm
$\Delta\lambda_H$	wellenlängenbezogene spektrale Bandbreite	maximale Differenz zwischen den Wellenlängen, für die die spektrale Leistungsdichte die Hälfte ihres Maximalwertes erreicht	nm

Tab. A2 Radiometrische Größen

Formelzeichen	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
P, dP P_m, P_{av} P_{pk}	Strahlungsleistung, $P = dQ/dt$ mittlere Leistung Spitzenleistung	Energiemenge pro Zeiteinheit zeitlich gemittelte Leistung Maximalwert der Strahlungsleistung (innerhalb eines Laserimpulses)	W
Q, dQ	Strahlungsenergie		J
E, E(t)	Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte), $E = dP/dA$	die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit; E und E(t) (zeitlich variierende Bestrahlungsstärke) werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller der Laseranlage angegeben werden	$W \cdot m^{-2}$
H	Bestrahlung (Energiedichte), $H = dQ/dA$	zeitliches Integral der Bestrahlungsstärke	$J \cdot m^{-2}$
t	Zeit, Dauer der Strahlungseinwirkung		s
G	zeitlich integrierte Strahldichte	Integral der Strahldichte über eine bestimmte Expositionsdauer	$J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

Tab. A3 Laserschutzrelevante Parameter

Formelzeichen	Bezeichnung	Beschreibung/Bemerkung	Einheit
C_A, C_B, C_C	wellenlängenabhängige Wichtungsfaktoren	Wellenlänge in nm einsetzen	—
T_1	wellenlängenabhängiger Zeitparameter	zur Auswahl des relevanten Strahlungsgrenzwertes	s
$\alpha_{\min}$	kleinster Grenzwinkel, $\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$	oberhalb dieses Grenzwinkels erscheinen Laserstrahlungsquellen als ausgedehnt	rad
$\alpha_{\max}$	größter Grenzwinkel, $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$	größter anzuwendender Winkel zur Beschreibung ausgedehnter Quellen	rad
α	Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle	der ebene Winkel unter dem die scheinbare Quelle von einem Raumpunkt aus erscheint	rad
C_E	Korrekturfaktor für ausgedehnte Quellen	abhängig von der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle	—
T_2	Zeitparameter, abhängig von der Winkelausdehnung der scheinbaren Quelle	zur Auswahl des relevanten thermischen Grenzwertes	s
γ	Empfangswinkel	derjenige Winkel, innerhalb dessen ein Strahlungsempfänger anspricht	rad
C_P	$C_P = N^{-0,25}$, Korrekturfaktor für den Fall wiederholt gepulster Laserstrahlung	Reduktionsfaktor für den Einzelimpulsgrenzwert, N ist Anzahl der Impulse	—
$T_{\min}$	wellenlängenabhängiger Zeitparameter	Zeitdauer, unterhalb derer kürzere Einzelimpulse zu addieren sind	s
NOHD	Augensicherheitsabstand (engl.: nominal ocular hazard distance)	Entfernung, in der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert des Auges ist. Die zugrunde gelegte Zeit, z. B. 0,25 s oder 100 s ist in der Regel mit anzugeben.	m
ENOHD	erweiterter Augensicherheitsabstand (engl.: enlarged nominal ocular hazard distance)	Wie bei NOHD, aber mit der Berücksichtigung der Beobachtung mit vergrößernden optischen Instrumenten.	m
$t, \Delta t$	Expositionsdauer	Zeitdauer, die einer Sicherheitsanalyse zugrunde liegt	s

Anlage 2 Messgrößen und Parameter für die Berechnung oder die Messung von Laserstrahlung

A2.1 Kenngrößen eines (Gauß'schen) Laserstrahls

Zur Charakterisierung eines radialsymmetrischen Laserstrahls, der in seiner Grundmode ein radiales Intensitätsprofil besitzt, das durch eine Gauß'sche Verteilung (Abbildung A2.1) beschrieben werden kann, werden folgende Größen unter Verwendung von Zylinderkoordinaten benötigt:

- Abstand von der Strahltaile (z),
- radiale Koordinate (r),
- die Position der Strahltaile ($z = 0$),
- der Durchmesser der Strahltaile ($d_0 = 2 \cdot w_0$),
- Strahlradius an der Stelle z ($w(z)$), bzw. Strahldurchmesser an der Stelle z ($d(z) = 2 \cdot w(z)$),
- Rayleigh-Länge (z_R),
- die Strahldivergenz oder der Fernfelddivergenzwinkel (φ),
- Bestrahlungsstärke $E(r, z)$ an der Stelle r, z .

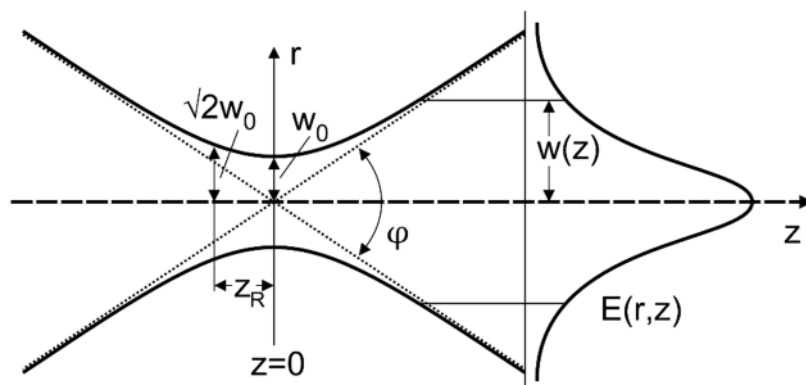


Abb. A2.1 Propagation eines Gauß'schen Strahls

A2.1.1 Strahldurchmesser und Divergenz

(1) Für den Gauß'schen Strahl der Wellenlänge λ gilt der fundamentale Zusammenhang zwischen Strahldurchmesser in der Strahltaile d_0 und Strahldivergenz im Fernfeld φ gemäß Gl. A2.1:

$$d_0 \cdot \varphi = \frac{4 \cdot \lambda}{\pi}$$

(2) Das heißt, das Strahlparameterprodukt (Produkt aus Strahltaillendurchmesser d_0 und Strahldivergenz im Fernfeld (Fernfelddivergenzwinkel, ϕ)) hängt nur von der Wellenlänge ab. Eine kleine Strahltaille ist mit einer großen Strahldivergenz verbunden und umgekehrt. Für den Strahldurchmesser $d(z)$ entlang der Ausbreitungsrichtung gilt:

$$d(z) = d_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot \lambda \cdot z}{\pi \cdot d_0^2} \right)^2}$$

Gl. A2.2

(3) Der Übergang zwischen Nah- und Fernfeldbereich des Laserstrahls, d. h. zwischen Orten in der Nähe zur Strahltaile und in großem Abstand davon, wird durch die sogenannte Rayleigh-Länge z_R beschrieben. Sie ist als derjenige Abstand von der Strahltaile definiert, bei der sich die Strahlquerschnittsfläche verdoppelt bzw. der Strahldurchmesser um den Faktor $\sqrt{2}$ vergrößert hat. Es gilt:

$$z_R = \frac{d_0^2}{\varphi} = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4 \cdot \lambda}$$

Gl. A2.3

(4) Für größere Abstände ($z \gg z_R$) gilt $d(z) = \varphi \cdot z$.

A2.1.2 Leistungsdichteverteilung

(1) Die radiale Leistungsdichteverteilung des Laserstrahls $E(r, z)$ für den Abstand z von der Strahltaile wird durch die Funktion

$$E(r, z) = E(0, z) \cdot e^{-\frac{8 \cdot r^2}{d^2(z)}}$$

Gl. A2.4

beschrieben. Dabei ist $E(0, z)$ die Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) auf der optischen Achse, r die radiale Koordinate und $d(z)$ der Strahldurchmesser an der Stelle z :

$$d(z) = 2 \cdot w(z) = 2 \cdot w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2}$$

Gl. A2.5

(2) Der Wert der Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) am Ort $r = d(z)/2$ beträgt:

$$E\left(\frac{d(z)}{2}, z\right) = \frac{E(0, z)}{e^2} \approx 0,14 \cdot E(0, z)$$

Gl. A2.6

Die Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) ist also am Ort des Strahlradius im Vergleich zum Maximalwert auf den $1/e^2$ -Teil abgefallen.

(3) In den sicherheitsrelevanten Normen und Vorschriften wird jedoch eine andere Definition des Strahldurchmessers bzw. des Strahlradius verwendet. Hier bezieht man den Strahldurchmesser d_{63} auf den Abfall der Leistungsdichte auf den $1/e$ -Teil des Maximums, sodass man anstatt Gl. A2.4, die Gleichung

$$E(r, z) = E(0, z) \cdot e^{-\frac{4 \cdot r^2}{d_{63}^2(z)}}$$

Gl. A2.7

zur Berechnung von $E(r, z)$ heranziehen muss.

(4) Daraus folgen die Zusammenhänge zwischen den Strahldurchmessern in den Sicherheitsnormen und anderen Normen der Strahlungsphysik:

$$d_{63}(z) = \frac{d(z)}{\sqrt{2}} \quad \text{Gl. A2.8}$$

Dabei ist d_{63} der Strahldurchmesser, der 63 % der gesamten Strahlungsleistung umfasst. Da die Divergenz des Laserstrahls über den Strahldurchmesser definiert wird, gilt der Zusammenhang aus Gl. A2.8 auch hinsichtlich Angaben bzgl. der Strahldivergenz:

$$\varphi_{63} = \frac{\varphi}{\sqrt{2}} \quad \text{Gl. A2.9}$$

Die Strahldivergenz φ_{63} in sicherheitsrelevanten Normen ist also über diejenige radiale Strahlenbegrenzung im Fernfeld definiert, für die die Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) auf den 1/e-Teil (ca. 37 %) abgefallen ist, d. h. die Leistungsdichte hat um etwa 63 % abgenommen.

A2.1.3 Leistung durch eine Blende

(1) Berechnungen bezüglich Expositionsgrenzwerten erfordern häufig die Angabe desjenigen Anteils der Gesamtleistung oder -energie, die in einem spezifizierten Abstand durch eine vorgegebene Blende fällt. Für einen Gauß'schen Strahl kann dieser Anteil, der durch eine kreisförmige Blende des Durchmessers d_B hindurch tritt, durch den Kopplungsparameter η ausgedrückt werden:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\frac{d_B}{d_{63}}\right)^2} \quad \text{Gl. A2.10}$$

Dabei ist d_{63} der Strahldurchmesser gemessen an den 63 %-Punkten (d. h. 1/e-Punkten) für einen Gauß'schen Strahl im Abstand der Blende.

(2) Der Strahlungsanteil, der durch die Blende hindurch tritt, ist dann

$$P_B = \eta \cdot P \quad \text{Gl. A2.11}$$

oder

$$Q_B = \eta \cdot Q \quad \text{Gl. A2.12}$$

Hierbei sind P die Gesamtleistung und Q die Gesamtenergie.

(3) Es lässt sich derjenige Leistungsanteil berechnen, der durch eine vorgegebene Blende mit dem Durchmesser d_B fällt:

$$P(d_B, z) = P \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{d_B}{d_{63}}\right)^2} \right) \quad \text{Gl. A2.13}$$

Durch eine Blende mit dem Durchmesser $d_B = d / \sqrt{2}$ fällt demnach ein Leistungsanteil von 63 % der Gesamtleistung des Laserstrahls.

A2.2 Größen zur zeitlichen Charakterisierung von Laserstrahlen

(1) In Abbildung A2.2 wird der zeitliche Verlauf der Laserstrahlung für verschiedene Impulsformen dargestellt. Als Impulsbreite gibt man in der Regel die Halbwertsbreite t_H an.

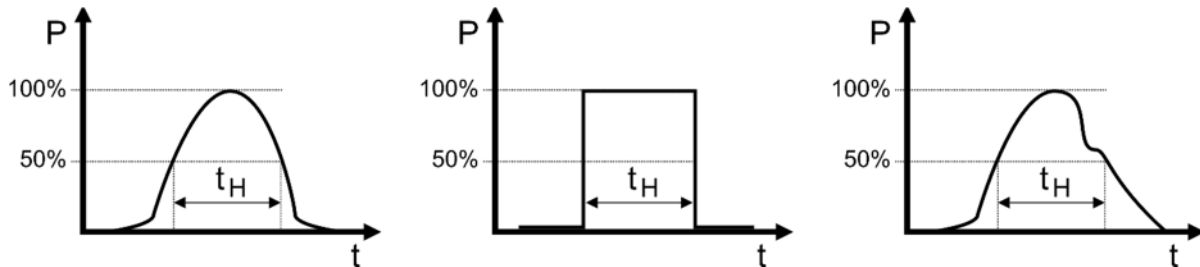


Abb. A2.2 Impulsdauer t_H für den Fall eines gaußförmigen, eines Rechteck- und eines unregelmäßigen Impulses

(2) Abbildung A2.3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Leistung bei einer regelmäßigen Impulsfolge. Die Impulsfolgefrequenz f_P wird durch die Zahl der Impulse pro Sekunde gegeben.

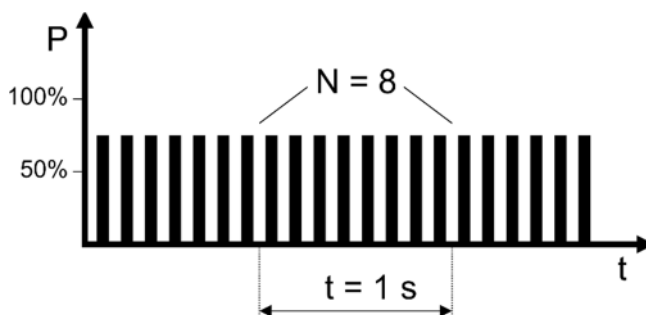


Abb. A2.3 Impulsfolgefrequenz für einen regelmäßig gepulsten Laser mit $f_P = 8 \text{ Hz}$

A2.3 Winkelausdehnung α einer scheinbaren Quelle

(1) Die durch einen Strahler bzw. eine diffuse Reflexion erzeugte Bildgröße auf der Netzhaut wird durch die Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle bestimmt (Abbildung A2.4). Für kleine Winkel gilt näherungsweise

$$\alpha = \frac{d_Q}{r}, \quad \text{Gl. A2.14}$$

wobei d_Q den Durchmesser der scheinbaren Quelle und r den Abstand zur scheinbaren Quelle darstellt.

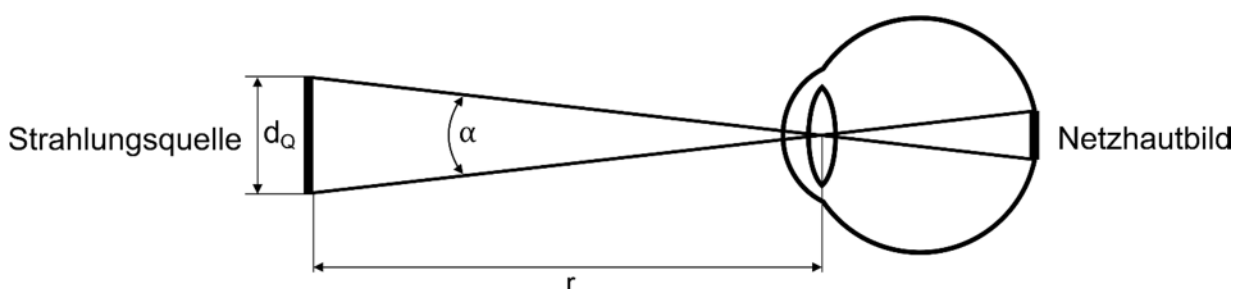


Abb. A2.4 Winkelausdehnung α der scheinbaren Quelle

(2) Jeder Blick in einen kollimierten Strahl oder auf eine Laserstrahlungsquelle, die eine Winkelausdehnung von weniger als $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad besitzt, wird als „direkter Blick in den Strahl“ oder „Blick auf eine Punktquelle“ bezeichnet. Die beiden Begriffe sind für die Zwecke dieser Betrachtung gleichbedeutend.

(3) Der Übergang zwischen der „Punktquellenbetrachtung“ und dem „Blick auf eine ausgedehnte Quelle“ wird durch den Minimalwinkel $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad festgelegt.

(4) Bei rechteckigen oder länglichen Quellen mit einer minimalen Ausdehnung d_{Q1} und einer maximalen Ausdehnung d_{Q2} gilt:

$$d_Q = \frac{d_{Q1} + d_{Q2}}{2} \quad \text{bzw.} \quad \text{Gl. A2.15}$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad \text{Gl. A2.16}$$

Dabei muss beachtet werden, dass der kleinste auftretende Wert α_1 auf den Wert $\alpha_{\min} = 1,5$ mrad gesetzt wird, wenn er kleiner als 1,5 mrad ist. Ebenso wird auch der größte auftretende Wert α_2 auf den Wert von $\alpha_{\max} = 100$ mrad begrenzt, wenn er $\alpha_{\max}$ überschreitet.

A2.4 Grenz-Empfangswinkel γ_P bei fotochemischer Gefährdung

Der Grenz-Empfangswinkel γ_P kann nach Abbildungen A2.5 oder A2.6 festgelegt werden. In Abbildung A2.5 wird der Grenz-Empfangswinkel γ_P durch eine Blende vor der Strahlungsquelle begrenzt. Wird die Strahlungsquelle mit einer Linse auf die Detektorfläche abgebildet, kann der Empfangswinkel durch eine Blende vor dem Detektor begrenzt werden (Abbildung A2.6).

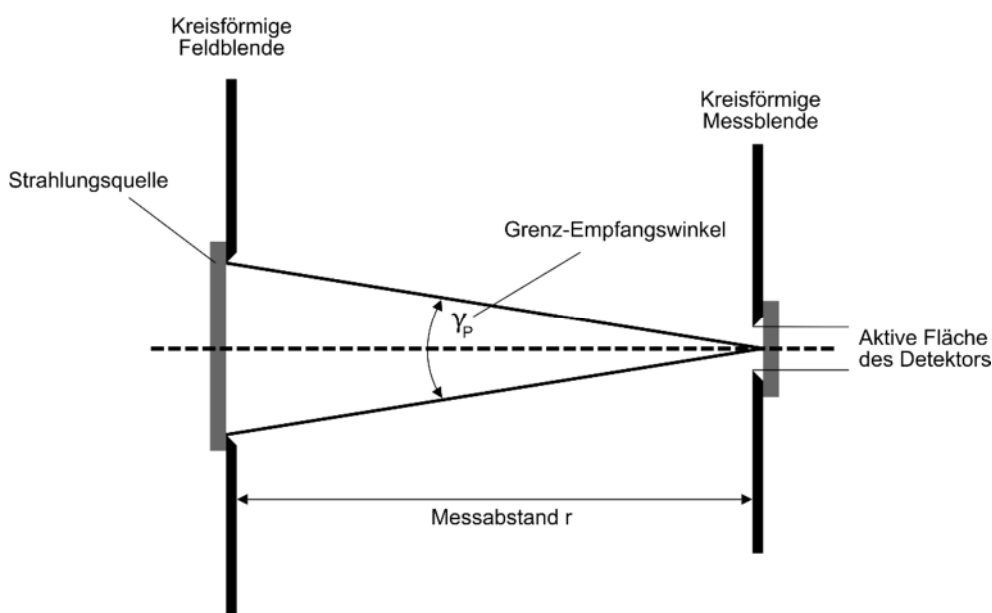
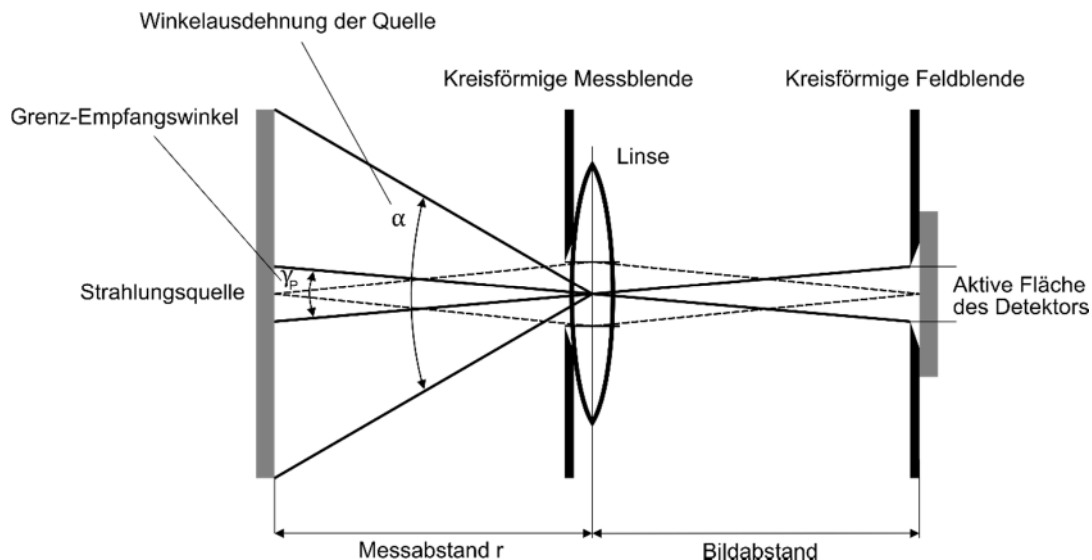


Abb. A2.5 Begrenzung des Empfangswinkels γ_P durch eine Blende vor der Strahlungsquelle

Abb. A2.6 Begrenzung des Empfangswinkels γ_P durch eine Blende vor dem Detektor

A2.5 Augensicherheitsabstand NOHD (Nominal Ocular Hazard Distance)

A2.5.1 Direkter Laserstrahl

(1) Der Augensicherheitsabstand NOHD stellt die Entfernung von einer Laserstrahlungsquelle dar, bei der die Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung unter die Expositionsgrenzwerte fällt.

(2) Bei den folgenden Berechnungen muss eine bestimmte Expositionsdauer angenommen werden. Es handelt sich z. B. um den NOHD-Wert bei 10 s oder NOHD-Wert bei 100 s. Bei den Angaben in Datenblättern und den Vergleichen muss diese Zeit berücksichtigt werden.

(3) Für üblicherweise kleine Werte der Strahldivergenz φ lässt sich die Bestrahlungsstärke E im Fernfeld für den Abstand r (siehe Abbildung A2.7) als

$$E = \frac{4 \cdot P \cdot e^{-\mu r}}{\pi \cdot (d + r \cdot \varphi)^2} \quad \text{Gl. A2.17}$$

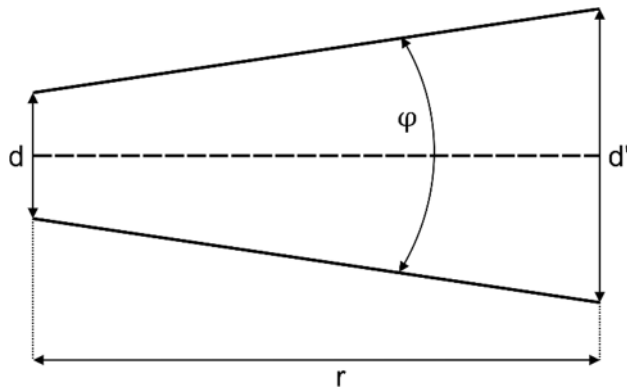
angeben. Dabei werden d und φ an den 1/e-Punkten des Strahlungsprofils gemessen, wobei für das Strahlungsprofil eine Gauß'sche Verteilung angenommen wird und es sind:

r - Abstand vom Laserausgang (außerhalb der Rayleigh-Länge),

P - Laserleistung,

μ - Absorptionskoeffizient und

d - Strahldurchmesser am Laserausgang.



$$d' = d + 2 \cdot r \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \approx d + r \cdot \varphi$$

Abb. A2.7 Aufweitung eines Laserstrahls

(4) Der Exponentialfaktor in Gl. A2.17 stellt die durch die Schwächung in der Atmosphäre verursachten Verluste dar und kann vernachlässigt werden, wenn die Sichtweite deutlich größer als der Augensicherheitsabstand ist. Es ergibt sich dann:

$$E = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (d + r \cdot \varphi)^2} \quad \text{Gl. A2.18}$$

(5) Wenn E durch den Expositionsgrenzwert E_{EGW} ersetzt wird, wird r zum NOHD und die Gleichung kann entsprechend aufgelöst werden:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot E_{EGW}}} - d}{\varphi} \quad \text{Gl. A2.19}$$

(6) Da der Strahldurchmesser d am Laserausgang in der Regel sehr klein bezogen auf das Ergebnis des Wurzelausdrucks ist, kann er für eine einfache Abschätzung zur sicheren Seite hin entfallen.

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot E_{EGW}}}}{\varphi} \quad \text{Gl. A2.20}$$

(7) Diese Gleichung zeigt, dass bei 100-facher Leistung der NOHD um den Faktor 10 zunimmt, und bei Verringerung der Strahldivergenz um den Faktor 100, erhöht sich auch der NOHD um den Faktor 100.

(8) Wenn die Schwächung durch atmosphärische Absorption berücksichtigt werden soll, kann Gl. A2.17 nicht elementar nach r aufgelöst werden. Die folgende Gleichung gibt jedoch ein Ergebnis wieder, das auf der sicheren Seite liegt:

$$\text{NOHD}_\mu = 0,5 \cdot \text{NOHD} \cdot (1 + e^{-\mu \cdot \text{NOHD}}) \quad \text{Gl. A2.21}$$

Dabei ist NOHD_μ der Sicherheitsabstand unter Berücksichtigung von Abschwächung durch die Atmosphäre und NOHD der Abstand in Meter, der sich durch Anwendung von Gl. A2.19 ergibt. Alternativ kann NOHD_μ auch iterativ aus Gl. A2.17 ermittelt werden.

(9) Einen zuverlässigen Schätzwert für μ , den Schwächungskoeffizienten durch atmosphärische Absorption, kann man aus folgender Gleichung gewinnen:

$$\mu = \frac{3,91}{V} \cdot \left(\frac{0,55}{\lambda} \right)^A \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1} \quad \text{Gl. A2.22}$$

Dabei ist

V – Sichtweite in km,

λ – Wellenlänge in μm ($0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2 \mu\text{m}$) und

$A = 0,585 \cdot V^{0,33}$.

A2.5.2 Erweiterter Augensicherheitsabstand ENOHD bei Verwendung optischer Instrumente

(1) Wenn beim Blick in Laserstrahlung im Wellenlängenbereich der Netzhautgefährdung optische Instrumente (Fernrohre, Ferngläser usw.) verwendet werden (Abbildung A2.8), ist es notwendig, den Augensicherheitsabstand NOHD zu vergrößern, um der Zunahme der auf das Auge einwirkenden Strahlung Rechnung zu tragen.

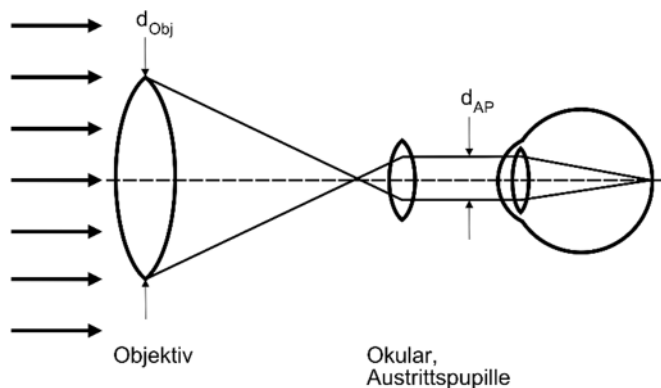


Abb. A2.8 Sammelnde Wirkung eines Fernrohrs

(2) Unter der Bedingung, dass der Durchmesser des Strahlenbündels größer als der Objektdurchmesser d_{Obj} und der Durchmesser der Austrittspupille d_{AP} größer als der Durchmesser der Messblende d_{M} ist ($d_{\text{AP}} > d_{\text{M}}$), gilt näherungsweise:

$$\text{ENOHD} = \text{NOHD} \cdot M \quad \text{Gl. A2.23}$$

Dabei ist ENOHD erweiterter Augensicherheitsabstand und M die Vergrößerung des Instruments, die sich folgendermaßen berechnet:

$$M = \frac{d_{\text{Obj}}}{d_{\text{AP}}} \quad \text{Gl. A2.24}$$

(3) Für den Fall, dass der Durchmesser der Austrittspupille d_{AP} kleiner als der Durchmesser der Messblende d_{M} ist ($d_{\text{AP}} < d_{\text{M}}$), gilt

$$\text{ENOHD} = \text{NOHD} \cdot G \quad \text{Gl. A2.25}$$

mit

$$G = \frac{d_{\text{Obj}}}{d_{\text{M}}} \quad \text{Gl. A2.26}$$

Wenn daher G kleiner als M ist, wird im Fall von Gleichung A2.23 der ENOHD kleiner.

Hinweis:

Die Bestimmung des NOHD hängt von einer Reihe zusätzlicher Parameter ab:

- Der NOHD wird nach dem beschriebenen Verfahren von einem Bezugspunkt z. B. von der Strahltille und nicht zwangsläufig von der Austrittsöffnung des Lasers an gerechnet. Der Abstand von der Strahlaustrittsöffnung bis zur Strahltille kann, wenn nicht bekannt, nach Anlage 3 ermittelt werden und ist zum NOHD hinzuzurechnen.
- Von einer Vergrößerungswirkung optischer Geräte, die für die Beobachtung bei Tag konzipiert sind, kann, abgesehen von solchen mit Spiegelsystem, nicht ausgegangen werden, wenn die Wellenlänge kleiner als 302,5 nm oder größer als 4 000 nm ist. Die Transmission der dafür geeigneten Gläser ist bei diesen Wellenlängen so niedrig, dass eine effektive Vergrößerungswirkung nicht entsteht.

Beispiel 1:

Ein Laser mit einem Gauß'schen Strahlprofil hat eine Emissionsleistung von $P = 4 \text{ W}$, eine Strahldivergenz von $\varphi = 0,7 \text{ mrad}$ und einen Durchmesser des austretenden Strahlenbündels von $d = 1 \text{ mm}$. Berechne den Sicherheitsabstand NOHD, wenn der entsprechende Expositionsgrenzwert $E_{\text{EGW}} = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ beträgt und eine vernachlässigbare atmosphärische Schwächung angenommen wird.

Lösung:

Die Anwendung von Gl. A2.19 ergibt:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot 4 \text{ W}}{\pi \cdot 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}} - 0,001 \text{ m}}{0,7 \cdot 10^{-3} \text{ rad}} = 1,018 \text{ km} \quad \text{Gl. A2.27}$$

Beispiel 2:

Dem Laser aus Beispiel 1 wird eine strahlaufweitende Optik vorgesetzt. Diese verringert die Strahldivergenz auf $\varphi = 0,1 \text{ mrad}$ und vergrößert den Durchmesser des Strahlenbündels am Austritt auf $d = 7 \text{ mm}$. Berechne den neuen Sicherheitsabstand NOHD.

Lösung:

Der NOHD ist:

$$\text{NOHD} = \frac{\sqrt{\frac{4 \cdot 4 \text{ W}}{\pi \cdot 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}} - 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ rad}} = 7,068 \text{ km} \quad \text{Gl. A2.28}$$

Man beachte die Bedeutung der Strahldivergenz für die Größe des NOHD. Man beachte ferner, dass in diesem Beispiel der Durchmesser d des austretenden Strahlenbündels vernachlässigt werden kann.

Beispiel 3:

Der Laser aus Beispiel 1 wird mit einem Fernglas 8x30 beobachtet, es wird also mit einem Fernglas in die Austrittsöffnung des Lasers geblickt. Das Fernglas hat eine achtfache Vergrößerung und einen Objektivdurchmesser von 30 mm. Berechne den erweiterten Augensicherheitsabstand ENOHD.

Lösung:

Bei Anwendung der Gleichung A2.23 und des Vergrößerungsfaktors M ergibt sich:

$$\text{ENOHD} = 1,018 \text{ km} \cdot 8 = 8,144 \text{ km} \quad \text{Gl. A2.29}$$

Bei Anwendung des Vergrößerungsfaktors G ergibt sich für eine Laserwellenlänge von 1 064 nm mit

$$\text{ENOHD} = 1,018 \text{ km} \cdot \frac{30 \text{ mm}}{7 \text{ mm}} = 4,363 \text{ km} \quad \text{Gl. A2.30}$$

ein deutlich niedrigerer Wert. Dieser Wert darf verwendet werden, da der Durchmesser der Austrittspupille

$$d_{\text{AP}} = \frac{30 \text{ mm}}{8} = 3,75 \text{ mm} \quad \text{Gl. A2.31}$$

kleiner als der der Messblende von $d_M = 7 \text{ mm}$ ist.

Hinweis:

Der eingesetzte NOHD aus Gl. A2.23 darf nur übernommen werden, wenn der darin eingesetzte Strahldurchmesser sehr klein (deutlich kleiner als die Messblende) oder 0 ist. Liegt eine Strahltaile außerhalb der Strahlaustrittsöffnung vor, so ist der Abstand bis zur Strahltaile dem ENOHD hinzuzurechnen.

A2.6 Emission aus Lichtwellenleitern – Durchmesser des divergenten Strahls

(1) Die Abstrahlung von Lichtwellenleitern wird üblicherweise durch die sogenannte numerische Apertur NA charakterisiert. Diese bezeichnet den Sinus des halben Divergenzwinkels $\varphi_5/2$ der Abstrahlcharakteristik, gemessen bei den Punkten mit 5 % der Spitzenbestrahlungsstärke:

$$NA = \sin \frac{\varphi_5}{2} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\varphi_5}{2} = \arcsin NA \quad \text{Gl. A2.32}$$

(2) Für einen Strahl mit Gauß'scher Strahlcharakteristik enthält der Strahldurchmesser, der auf den 5 %-Wert der maximalen Bestrahlungsstärke bezogen ist, 95 % der gesamten Leistung oder Energie. Der Strahldurchmesser d_{95} im Abstand a von der Quelle wird berechnet zu

$$d_{95} = d_F + 2 \cdot a \cdot \tan \frac{\varphi_5}{2} = d_F + 2 \cdot a \cdot \tan(\arcsin NA) \quad \text{Gl. A2.33}$$

(3) Wenn der Durchmesser der emittierenden Faser d_F in der Größenordnung kleiner als $150 \mu\text{m}$ ist, kann er in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Außerdem wird für Sicherheitsberechnungen der Durchmesser mit 63 % der Gesamtleistung verwendet. Der Umrechnungsfaktor für den Gauß'schen Strahl ist $d_{95}/d_{63} = 1,7$. Daher ergibt sich der Strahldurchmesser näherungsweise zu:

$$d_{63} = \frac{d_{95}}{1,7} = \frac{2 \cdot a \cdot \tan(\arcsin NA)}{1,7} \approx \frac{2 \cdot a \cdot NA}{1,7} \quad \text{Gl. A2.34}$$

(4) Die abstandsabhängige Leistungsdichte (Bestrahlungsstärke) für einen Einmoden-Lichtwellenleiter (SM-LWL, SM von „single-mode“) beträgt:

$$E = \frac{P}{d_{63}^2 \cdot \frac{\pi}{4}} = \frac{1,7^2 \cdot P}{\pi \cdot a^2 \cdot NA^2} = 0,92 \cdot \frac{P}{a^2 \cdot NA^2} \quad \text{Gl. A2.35}$$

(5) Ein Einmoden-Lichtwellenleiter ist ein spezieller Fall einer Punktlichtquelle. Die Strahldivergenz eines SM-LWL wird durch den Durchmesser des Modenfeldes ω_0 und die Wellenlänge λ der Quelle bestimmt. Der Strahldurchmesser eines SM-LWL wird im Abstand a angenähert durch:

$$d_{63}(\text{SM}) = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a \cdot \lambda}{\pi \cdot \omega_0} \quad \text{Gl. A2.36}$$

Anlage 3 Beschreibung von Messgeräten

A3.1 Detektoren für Laserstrahlung

(1) Messungen der Strahlungsleistung werden meist an Dauerstrichlasern, Messungen der Strahlungsenergie an gepulsten Lasern ausgeführt.

(2) Die am häufigsten eingesetzten Detektoren sind Si-Detektoren im sichtbaren Spektralbereich (fotoelektrischer Effekt), pyroelektrische Empfänger im sichtbaren und infraroten Spektralbereich (hauptsächlich zum Nachweis gepulster oder modulierter Strahlung) und sogenannte Thermosäulen. Die letzteren beiden Detektorarten können in einem großen Spektralbereich eingesetzt werden. Tabelle A3.1 gibt einen groben Überblick über einige Detektorarten und die jeweiligen Haupteinsatzbereiche.

Tab. A3.1 Detektoren zur Leistungs- und Energiemessung

Detektor	Wellenlängenbereich in μm
Photomultiplier	0,18 – 0,9
Si	0,2 – 1,1
InGaAs	0,9 – 1,6 (2,6)
PbS	0,8 – 3,0
InSb	1 – 5,5
HgCdTe	2 – 15
Pyroelektrische Empfänger	0,2 – 20
Thermosäule	0,2 – 20

(3) Empfänger für optische Strahlung müssen für ihre Messaufgabe kalibriert sein.

A3.2 Messverfahren zur Bestimmung der Strahlcharakteristik von Laserstrahlen

(1) In DIN EN ISO 11146 [8, 9] werden drei alternative Prüfverfahren zur Bestimmung der Strahlparameter beschrieben: das Verfahren der variablen Apertur (Abbildung A3.1), die Messung nach dem Prinzip der bewegten Messerschneide (Abbildung A3.2) und das Verfahren des bewegten Schlitzes (Abbildung A3.3).

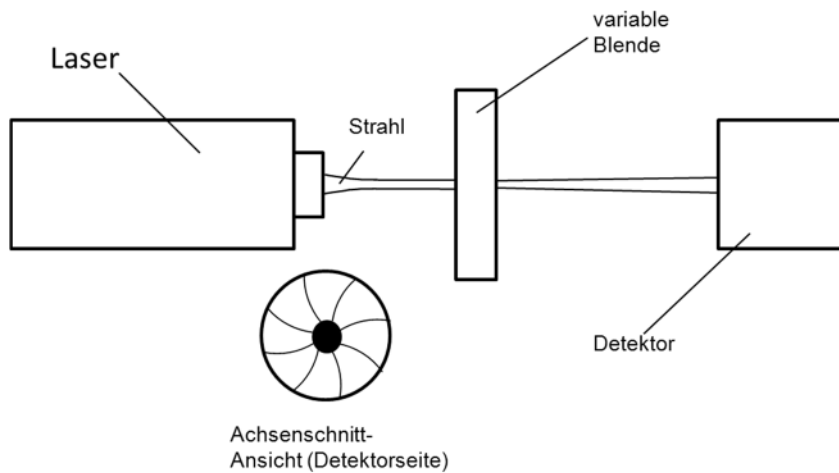


Abb. A3.1 Prinzip des Verfahrens der variablen Apertur

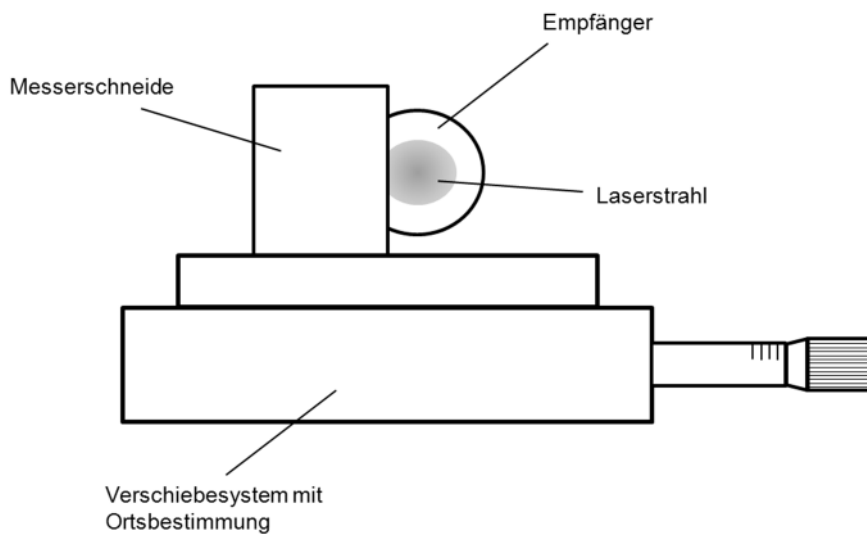


Abb. A3.2 Prinzip der Methode der bewegten Messerschneide

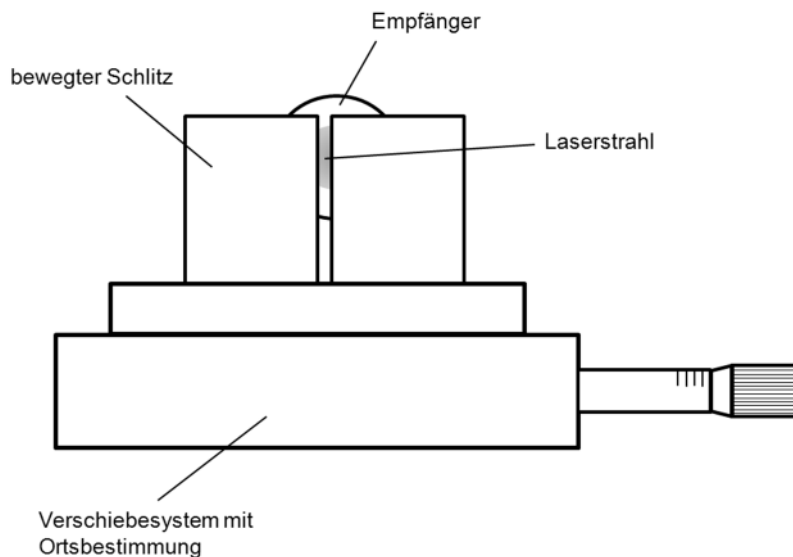


Abb. A3.3 Prinzip der Methode des bewegten Schlitzes

(2) Es werden dabei jeweils ortsabhängige Messungen des Strahldurchmessers d durchgeführt. Bei der ersten Methode wird d durch Messungen der Laserleistung bei verschiedenen Durchmessern der Blende bestimmt, während er bei den anderen Verfahren aus Leistungsmessungen in Abhängigkeit der transversalen Verschiebung der Schneide oder des Schlitzes erfolgt. Je nach Wahl des Verfahrens müssen bestimmte Randbedingungen eingehalten und Korrekturen vorgenommen werden. Moderne, automatisch arbeitende Systeme mit Bildverarbeitung, die die Messbedingungen der Norm einhalten, sind kommerziell erhältlich.

(3) Die obige Norm sieht bei frei zugänglichen Strahltaillen mindestens zehn Messungen zur Auswertung vor. Dabei sollen etwa die Hälfte in der Nähe der Strahltaille bis zu einem Abstand von plus oder minus einer Rayleigh-Länge z_R erfolgen und die andere Hälfte in Abständen größer als zwei Rayleigh-Längen von der Taile (Abbildung A3.4). Ist die Strahltaille nicht zugänglich, muss das Verfahren auf eine künstlich erzeugte Taile angewendet werden.

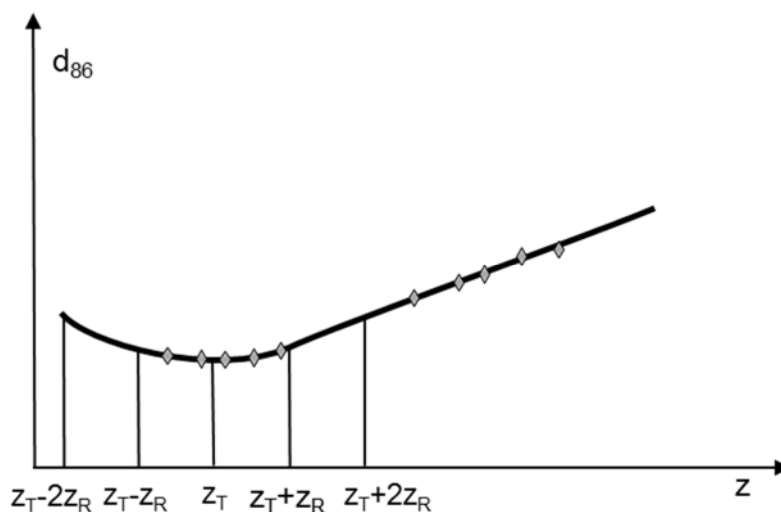


Abb. A3.4 Bestimmung der Strahlparameter durch ortsabhängige Messung des Strahlquerschnitts

(4) Aus einer parabolischen Anpassung der gemessenen Strahldurchmesser d gemäß

$$d^2(z) = A + B \cdot z + C \cdot z^2 \quad \text{Gl. A3.1}$$

können dann die Strahlparameter d_0 und φ_0 gewonnen werden. Bei den Größen A , B und C handelt es sich um Fit-Parameter der parabolischen Anpassung.

(5) So ergibt sich der Strahldurchmesser in der Strahltaile d_0 zu

$$d_0 = \sqrt{A - \frac{B^2}{4 \cdot C}} \quad \text{Gl. A3.2}$$

(6) Die Strahldivergenz (Fernfeldöffnungswinkel, Divergenzwinkel) φ_0 , insbesondere bei nicht zugänglichen Strahltaillen, kann nach obiger Norm bestimmt werden, indem ein fokussierendes Objekt der Brennweite f in den Strahlengang gebracht wird. Dies führt zur Bildung einer künstlichen Strahltaile. Der Durchmesser d_0 wird nach Gleichung A3.2 bestimmt. Damit kann die Strahldivergenz des freien Laserstrahls berechnet werden:

$$\varphi_0 = \frac{d_0}{f} \quad \text{Gl. A3.3}$$

Anlage 4 Expositionsgrenzwerte

A4.1 Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung

(1) Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für Laserstrahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von der Wellenlänge und der Expositionsdauer ab. Die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten¹⁾ (EGW) der Tabellen A4.3 bis A4.5 zu vergleichen. Für die jeweilige Laserstrahlenquelle können mehrere Expositionsgrenzwerte relevant sein.

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

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

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

P Leistung, ausgedrückt in Watt (W);

A Fläche, ausgedrückt in Quadratmeter (m²);

E, E(t) Bestrahlungsstärke oder Leistungsdichte: die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter (W · m⁻²); die Werte E und E(t) werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller der Arbeitsmittel angegeben werden;

H Bestrahlung: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter (J · m⁻²);

t Zeit, Expositionsdauer: Δt = t₂ - t₁, ausgedrückt in Sekunden (s);

λ Wellenlänge, ausgedrückt in Nanometern (nm);

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

γ_P Grenz-Empfangswinkel, ausgedrückt in Milliradian (mrad);

D Durchmesser der Messblende; die Messblende ist die kreisförmige Fläche mit dem Durchmesser D, über die Bestrahlungsstärke und Bestrahlung gemittelt werden;

α Winkelausdehnung einer Quelle, ausgedrückt in Milliradian (mrad);

L, L(t) Strahldichte der Quelle, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian (W · m⁻² · sr⁻¹);

1) Grenzwerte für die Einwirkung von Laserstrahlung auf Personen sind als Expositionsgrenzwerte festgelegt.

- G integrierte Strahldichte: das Integral der Strahldichte über eine bestimmte Expositionsdauer, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter pro Steradian ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$); Strahlungsenergie je Flächeneinheit einer Abstrahlfläche je Einheitsraumwinkel der Emission.

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

Wellenlänge λ in nm	Wellenlängenbereich	Betroffenes Organ	Tabelle für die Expositionsgrenzwerte
100 ¹⁾ – 400	UV	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
400 – 600	sichtbar	Auge	A4.4
400 – 700	sichtbar	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
700 – 1 400	IR-A	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5
1 400 – 10 ⁶	IR-B, IR-C	Auge	A4.3, A4.4
		Haut	A4.5

Tab. A4.2 Akute und Langzeitwirkungen von Laserstrahlung

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

1) Nach § 2 „Begriffsbestimmungen“ der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.

Tab. A4.3 Expositionsgrenzwerte für die Einwirkung von Laserstrahlung auf das Auge, kurze Expositionsdauer ($t < 10$ s)

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s							
			10 ⁻¹³ – 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ – 1,8·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻⁵ – 5·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	10 ⁻³ – 10	
UV-C	100 ¹⁾ - 280	1 mm für t ≤ 0,35 s ²⁾ ; 1,5 · t ^{0,375} mm für 0,35 s < t < 10 s	E = 3 · 10 ¹⁰ W · m ⁻²	H = 30 J · m ⁻²						
UV-B	280 - 302									
	303			H = 40 J · m ⁻² ; für t < 2,6 · 10 ⁻⁹ s						
	304			H = 60 J · m ⁻² ; für t < 1,3 · 10 ⁻⁸ s						
	305			H = 100 J · m ⁻² ; für t < 1,0 · 10 ⁻⁷ s						
	306			H = 160 J · m ⁻² ; für t < 6,7 · 10 ⁻⁷ s						
	307			H = 250 J · m ⁻² ; für t < 4,0 · 10 ⁻⁶ s						
	308			H = 400 J · m ⁻² ; für t < 2,6 · 10 ⁻⁵ s						
	309			H = 630 J · m ⁻² ; für t < 1,6 · 10 ⁻⁴ s						
	310			H = 1000 J · m ⁻² ; für t < 1,0 · 10 ⁻³ s						
	311			H = 1,6 · 10 ³ J · m ⁻² ; für t < 6,7 · 10 ⁻³ s						
	312			H = 2,5 · 10 ³ J · m ⁻² ; für t < 4,0 · 10 ⁻² s						
	313			H = 4,0 · 10 ³ J · m ⁻² ; für t < 2,6 · 10 ⁻¹ s						
	314			H = 6,3 · 10 ³ J · m ⁻² ; für t < 1,6 s						
	UV-A			315 - 400	H = 5,6 · 10 ³ · t ^{0,25} J · m ⁻²					

Tab. A4.3 Fortsetzung

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s							
			10 ⁻¹³ – 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ – 1,8·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻⁵ – 5·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	10 ⁻³ – 10	
Sichtbar und IR-A	400 – 700	7 mm	H = 1,5·10 ⁻⁴ ·C _E J·m ⁻²	H = 2,7·10 ⁴ ·t ^{0,75} ·C _E J·m ⁻²	H = 5·10 ⁻³ ·C _E J·m ⁻²		H = 18·t ^{0,75} ·C _E J·m ⁻²			
	700 – 1 050		H = 1,5·10 ⁻⁴ ·C _A ·C _E J·m ⁻²	H = 2,7·10 ⁴ ·t ^{0,75} ·C _A ·C _E J·m ⁻²	H = 5·10 ⁻³ ·C _A ·C _E J·m ⁻²		H = 18·t ^{0,75} ·C _A ·C _E J·m ⁻²			
	1 050 – 1 400		H = 1,5·10 ⁻³ ·C _C ·C _E J·m ⁻²	H = 2,7·10 ⁵ ·t ^{0,75} ·C _C ·C _E J·m ⁻²	H = 5·10 ⁻² ·C _C ·C _E J·m ⁻²			H = 90·t ^{0,75} ·C _C ·C _E J·m ⁻²		
IR-B und IR-C	1 400 – 1 500	siehe c	E = 10 ¹² W·m ⁻²		H = 10 ³ J·m ⁻²			H = 5,6·10 ³ ·t ^{0,25} J·m ⁻²		
	1 500 – 1 800		E = 10 ¹³ W·m ⁻²		H = 10 ⁴ J·m ⁻²					
	1 800 – 2 600		E = 10 ¹² W·m ⁻²		H = 10 ³ J·m ⁻²			H = 5,6·10 ³ ·t ^{0,25} J·m ⁻²		
	2 600 – 10 ⁶		E = 10 ¹¹ W·m ⁻²		H = 100 J·m ⁻²	H = 5,6·10 ³ ·t ^{0,25} J·m ⁻²				
a Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengereren Wert darstellt. Expositionsgrenzwerte für Zeiten unterhalb 10⁻¹³ s werden dem jeweiligen Expositionsgrenzwert bei 10⁻¹³ s, ausgedrückt in Einheiten der Bestrahlungsstärke, gleichgesetzt. b Die in der Tabelle angegebenen Werte gelten für einzelne Laserimpulse. Bei mehrfachen Laserimpulsen müssen die Laserimpulsdauern, die innerhalb der Expositionsdauer t liegen, addiert werden. Die daraus resultierende Expositionsdauer muss in die Formel H = 5,6 · 10³ · t^{0,25} für t eingesetzt werden. c Wenn 1 400 nm ≤ □ < 10⁵ nm, dann gilt: - für t ≤ 0,35 s³⁾, D = 1 mm - für 0,35 s < t < 10 s, D = 1,5 · t^{0,375} mm. Wenn 10⁵ nm ≤ □ < 10⁶ nm, dann ist D = 11 mm.										

- 1) Nach § 2 „Begriffsbestimmungen“ der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.
- 2) Der Anfangspunkt der Funktion wurde – zur sicheren Seite hin – von 0,3 s auf 0,35 s verschoben, um eine bessere Anpassung zwischen variabler und fester Messblende zu erreichen. Zur Vereinfachung kann ein Durchmesser der Messblende von 1 mm verwendet werden.
- 3) Der Anfangspunkt der Funktion wurde – zur sicheren Seite hin – von 0,3 s auf 0,35 s verschoben, um eine bessere Anpassung zwischen variabler und fester Grenzblende zu erreichen.

Tab. A4.4 Expositionsgrenzwerte für die Exposition des Auges durch Laserstrahlung, lange Expositionsdauer ($t \geq 10$ s)

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D in mm	Expositionsdauer in s		
			$10 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
UV-C	100 ¹⁾ – 280	3,5		30	
UV-B	280 – 302			30	
	303			40	
	304			60	
	305			100	
	306			160	
	307			250	
	308		H =	400	$J \cdot m^{-2}$
	309			630	
	310			1 000	
	311			1 600	
	312			2 500	
	313			4 000	
	314			6 300	
				10 000	
UV-A	315 – 400				

Tab. A4.4 Fortsetzung

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D in mm	Expositionsdauer in s		
			10 – 10 ²	10 ² – 10 ⁴	10 ⁴ – 3·10 ⁴
Sichtbar	400 – 600 Fotochemische Netzhautschädigung (siehe b)	7	H = 100 · C _B J · m ⁻² ; γ = 11 mrad (siehe c)	E = 1 · C _B W · m ⁻² ; γ = 1,1 · t ^{0,5} mrad (siehe c)	E = 1 · C _B W · m ⁻² ; γ = 110 mrad (siehe c)
	400 – 700 Thermische Netzhautschädigung (siehe b)		α ≤ ²⁾ 1,5 mrad E = 10 W · m ⁻² α > 1,5 mrad und t ≤ T ₂ H = 18 · C _E · t ^{0,75} J · m ⁻² α > 1,5 mrad und t > T ₂ E = 18 · C _E · T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻²		
IR-A	700 – 1 400		α ≤ ³⁾ 1,5 mrad E = 10 · C _A · C _C W · m ⁻² α > 1,5 mrad und t ≤ T ₂ H = 18 · C _A · C _C · C _E · t ^{0,75} J · m ⁻² α > 1,5 mrad und t > T ₂ E = 18 · C _A · C _C · C _E · T ₂ ^{-0,25} W · m ⁻² (maximal 1 000 W · m ⁻²)		
IR-B und IR-C	1 400 – 10 ⁵	3,5	E = 1 000 W · m ⁻²		
	10 ⁵ – 10 ⁶	11			
a Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengeren Wert darstellt.					
b Bei kleinen Quellen mit einer Winkelausdehnung α ≤ 1,5 mrad sind statt der beiden Expositionsgrenzwerte E für Wellenlängen von 400 nm bis 600 nm nur die thermischen Expositionsgrenzwerte für 10 s ≤ t < T ₁ und die fotochemischen Expositionsgrenzwerte für längere Zeiten anzuwenden. Zu T ₁ und T ₂ siehe Tabelle A4.6. Der Expositionsgrenzwert für fotochemische Netzhautschädigung kann auch als Integral der Strahldichte über die Zeit ausgedrückt werden, wobei für 10 s ≤ t ≤ 10 000 s, G = 10 ⁶ · C _B J · m ⁻² · sr ⁻¹ , und für t > 10 000 s, L = 100 · C _B W · m ⁻² · sr ⁻¹ gilt. Zur Messung von G und L ist γ _P als Mittelung des Empfangswinkels zu verwenden.					
c Für Messungen des Expositionswertes ist γ _P wie folgt zu berücksichtigen:					
- Wenn α > γ, dann γ = γ _P . Bei Verwendung eines größeren Empfangswinkels würde die Gefährdung überbewertet.					
- Wenn α < γ, dann muss γ die betrachtete Quelle voll erfassen. Er ist ansonsten jedoch nicht beschränkt und kann größer sein als γ _P .					

¹⁾ Nach § 2 „Begriffsbestimmungen“ der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.

²⁾ redaktionelle Änderung

³⁾ redaktionelle Änderung

Tab. A4.5 Expositionsgrenzwerte für die Exposition der Haut durch Laserstrahlung

Wellenlänge λ in nm (siehe a)		Durchmesser der Messblende D	Expositionsdauer t in s					
			< 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ – 10 ⁻³	10 ⁻³ – 10	10 – 10 ³	10 ³ – 3 · 10 ⁴
UV (A, B, C)	100 ¹⁾ – 400	3,5 mm	E = 3 · 10 ¹⁰ W · m ⁻²	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge				
sichtbar und IR-A	400 – 700		E = 2 · 10 ¹¹ W · m ⁻²	H = 200 · C _A J · m ⁻²	H = 1,1 · 10 ⁴ · C _A · t ^{0,25} J · m ⁻²	E = 2 · 10 ³ · C _A W · m ⁻²		
	700 – 1 400		E = 2 · 10 ¹¹ · C _A W · m ⁻²					
IR-B und IR-C	1 400 – 1 500		E = 10 ¹² W · m ⁻²	Gleiche Werte wie Expositionsgrenzwerte für das Auge (siehe b)				
	1 500 – 1 800		E = 10 ¹³ W · m ⁻²					
	1 800 – 2 600		E = 10 ¹² W · m ⁻²					
	2 600 – 10 ⁶		E = 10 ¹¹ W · m ⁻²					

a Sind für eine Wellenlänge zwei Expositionsgrenzwerte aufgeführt, so ist unter Einbeziehung der zugeordneten Messverfahren das Ergebnis anzuwenden, welches den strengeren Wert darstellt.

b Für Expositionsdauern t > 10 s gilt:

- Für bestrahlte Hautflächen A_H > 0,1 m² beträgt der Expositionsgrenzwert E = 100 W · m⁻².
- Für Flächen von 0,01 m² bis 0,1 m² verändert sich der Expositionsgrenzwert umgekehrt proportional zur bestrahlten Hautfläche: E = 10 W / A_H.

¹⁾ Nach § 2 „Begriffsbestimmungen“ der OStrV ist der Wellenlängenbereich der optischen Strahlung auf 100 nm bis 1 mm festgelegt.

Tab. A4.6 Korrekturfaktoren und sonstige Berechnungsparameter

Parameter	Gültiger Spektralbereich λ in nm	Wert
C_A	< 700	1
	$700 - 1\,050$	$10^{0,002(\lambda - 700)}$
	$1\,050 - 1\,400$	5
C_B	$400 - 450$	1
	$450 - 600$	$10^{0,02(\lambda - 450)}$
C_C	$700 - 1\,150$	1
	$1\,150 - 1\,200$	$10^{0,018(\lambda - 1150)}$
	$1\,200 - 1\,400$	8
T_1	< 450	10 s
	$450 - 500$	$10 \cdot 10^{0,02(\lambda - 450)} \text{ s}$
	> 500	100 s

Parameter	Biologische Wirkung	Wert
$\alpha_{\min}$	alle thermischen Wirkungen	1,5 mrad

Parameter	Winkelausdehnung in mrad	Wert
C_E	$\alpha \leq \alpha_{\min}$	1
	$\alpha_{\min} < \alpha \leq 100$	$\alpha / \alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$\alpha_{\max} / \alpha_{\min}$ bei $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$\alpha \leq 1,5$	10 s
	$1,5 < \alpha \leq 100$	$10 \cdot 10^{[(\alpha - 1,5) / 98,5]} \text{ s}$
	$\alpha > 100$	100 s

Parameter	Expositionsdauer t in s	Wert in mrad
γ_P	$t \leq 100$	11
	$100 < t \leq 10^4$	$1,1 \cdot t^{0,5}$
	$t > 10^4$	110

Hinweis:

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

Tab. A4.7 Korrektur bei wiederholter Exposition (Impulsfolgen)

Gültiger Spektralbereich in nm	$T_{\min}$ in s
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9}
$400 < \lambda \leq 1\,050$	$18 \cdot 10^{-6}$
$1\,050 < \lambda \leq 1\,400$	$50 \cdot 10^{-6}$
$1\,400 < \lambda \leq 1\,500$	10^{-3}
$1\,500 < \lambda \leq 1\,800$	10^1
$1\,800 < \lambda \leq 2\,600$	10^{-3}
$2\,600 < \lambda \leq 10^6$	10^{-7}

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

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

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

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

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

Beispiel:

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

$$N = \frac{100 \text{ s}}{18 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 5,5 \cdot 10^6 \quad \text{Gl. A4.2}$$

Hinweis 1¹⁾:

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

Hinweis 2²⁾:

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

$315 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}$: 30 000 s, oder die anzuwendende Expositionsdauer, falls diese kürzer ist;

$400 \text{ nm} < \lambda \leq 1\,400 \text{ nm}$: T_2 (Tabelle A4.6) oder die anzuwendende Expositionsdauer, falls diese kürzer ist;

$\lambda > 1\,400 \text{ nm}$: 10 s.

Hinweis 3³⁾:

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

A4.2 Vereinfachte Expositionsgrenzwerte zur Auswahl von Laser-Schutz- und -Justierbrillen

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

Tab. A4.8 Vereinfachte maximal zulässige Bestrahlungswerte auf der Hornhaut des Auges

Wellenlängenbereich in nm	Bestrahlungsstärke E				Bestrahlung H			
	D*		M**		M		I***, R****	
	Impulsdauer in s	E / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	Impulsdauer in s	E / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	Impulsdauer in s	H / $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	Impulsdauer in s	H / $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$
$100 \leq \lambda < 315$	30 000	0,001	$< 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$	—	—	$> 10^{-9}$ bis $3 \cdot 10^4$	30
$315 \leq \lambda < 1\,400$	$> 5 \cdot 10^{-4}$ bis 10	10	—	—	$< 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$> 10^{-9}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$	0,005
$1\,400 \leq \lambda \leq 10^6$	$> 0,1$ bis 10	1 000	$< 10^{-9}$	10^{11}	—	—	$> 10^{-9}$ bis 0,1	100

* Dauerstrich (konstante Leistung über mindestens 0,25 s)

** Modengekoppelt (Emission in Impulsen, die kleiner als 10^{-7} s und länger als 1 ns sind)

*** Impuls (Emissionen die kürzer als 0,25 s und länger als 10^{-7} s sind)

**** Riesenimpuls (Emission in Impulsen, die kürzer als 10^{-7} s und länger als 1 ns sind)

Hinweis:

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

- 1) Die maximale Impulsdauer ist bereits in den Begriffsbestimmungen (Teil „Allgemeines“) beschrieben. Bei der Anwendung der Formel ist diese Einschränkung wichtig.
- 2) Die Zeitobergrenze T ist die Zeit der Einwirkung, ab der die Expositionsgrenzwerte in Leistung bzw. Bestrahlung ausgedrückt werden und sich mit zunehmender Expositionsdauer nicht mehr verschärfen.
- 3) Dieses Kriterium bewirkt, dass der Expositionsgrenzwert für einen Laserimpuls unter die Leistung fallen würde, die für einen Dauerstrichlaser für die kontinuierliche Strahlung gelten würde.

Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung

TROS Laserstrahlung*

Teil 3: Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung

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 gemacht.

Diese TROS Laserstrahlung, Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“, 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.

* GMBI. 12-15 vom 05.05.2015 S. 281

Inhalt

1.	Anwendungsbereich.....	151
2.	Begriffsbestimmungen.....	151
3.	Bestellung eines Laserschutzbeauftragten (LSB).....	151
4.	Grundsätze bei der Festlegung und Durchführung von Schutzmaßnahmen.....	151
5.	Rangfolge von Schutzmaßnahmen.....	152
6.	Unterweisung.....	159
7.	Betriebsanweisung.....	159
8.	Literaturhinweise.....	160
Anlage 1	Schutzmaßnahmen bei bestimmten Tätigkeiten, Verfahren und Betrieb spezieller Laser.....	162
Anlage 2	Zuordnung von Maßnahmen.....	165
Anlage 3	Beispiele zur Kennzeichnung und Abgrenzung von Laserbereichen.....	166
Anlage 4	Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Lichtwellenleiter- Kommunikations-Systemen (LWLKS).....	167
Anlage 5	Was ist bei der Erstellung einer Betriebsanweisung zu beachten?.....	173

1. Anwendungsbereich

(1) Der Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung beschreibt das Vorgehen bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik, wie es in der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) gefordert wird. Die Dokumentation der anzuwendenden Schutzmaßnahmen ist Teil der Gefährdungsbeurteilung (siehe auch Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung).

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

(3) 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. Begriffsbestimmungen

In diesem Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung werden Begriffe so verwendet, wie sie im Teil „Allgemeines“ der TROS Laserstrahlung definiert und erläutert sind.

3. Bestellung eines Laserschutzbeauftragten (LSB)

(1) Zur Gewährleistung des sicheren Betriebs einer Laser-Einrichtung der Klassen 3R, 3B und 4 ist nach § 5 OStrV ein Laserschutzbeauftragter (LSB) schriftlich zu bestellen. Anforderungen an die Fachkenntnisse sowie Aufgaben und Pflichten enthält Abschnitt 5 des Teils „Allgemeines“. Die Zuordnung der Laser-Einrichtungen zu Laserklassen bezieht sich auf Lasereinrichtungen, die nach DIN EN 60825-1:2008-05 [6] klassifiziert wurden. Die Klassifizierung nach dieser Norm gilt jedoch für das „Endgerät“ und nicht zwingend für „gekapselte“ Laser, z. B. in einer Einrichtung für die Materialbearbeitung. Wenn an derartigen Einrichtungen Wartungs- und Servicearbeiten durchgeführt werden, ist auch dafür – ggf. entsprechend einer theoretischen Klassenzuordnung – ein LSB zu bestellen. Dies gilt überhaupt beim Umgang mit nicht nach DIN EN 60825-1:2008-05 [6] klassifizierten Lasern (die Anwendung dieser Norm ist nicht zwingend) bzw. mit Entwicklungsmustern und Prototypen sowie mit LWL-Komponenten ab einem Gefährdungsgrad 3R.

(2) Auch bei Lasern der Klassen 1M und 2M kann das direkte Blicken in den Strahl mit Hilfe optischer Instrumente (Theodolit, usw.) eine Gefährdung darstellen. In solchen Fällen ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu prüfen, ob auch hier die Bestellung eines LSB sinnvoll ist.

4. Grundsätze bei der Festlegung und Durchführung von Schutzmaßnahmen

4.1 Allgemeines

(1) Ergibt die Gefährdungsbeurteilung (siehe Teil 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung) nach § 3 OStrV, dass eine Gefährdung durch Laserstrahlung nicht ausgeschlossen werden kann, dann sind nach §§ 3 und 7 OStrV Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung der Gefährdung durch Laserstrahlung nach dem Stand der Technik festzulegen und durchzuführen.

(2) Dabei sind die Entstehung und die Ausbreitung von Laserstrahlung vorrangig an der Quelle zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu ist der Laserbereich möglichst klein zu halten. Durch die Anwendung von Schutzmaßnahmen müssen in jedem Fall die Expositionsgrenzwerte nach Anlage 4, Abschnitt 4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung eingehalten werden.

(3) Ziel ist eine weitere Reduzierung der Expositionen auf ein erreichbares Minimum auch unterhalb der Expositionsgrenzwerte. Dies gilt insbesondere für Expositionen gegenüber ultravioletter Strahlung, da die festgelegten Expositionsgrenzwerte für den Schutz vor Langzeitschäden – wie Linsentrübung, Hautalterung und Hautkrebs – nicht ausgelegt sind.

(4) Ergibt die Gefährdungsbeurteilung, dass auch Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen der Laserstrahlung nicht auszuschließen sind, dann sind Schutzmaßnahmen nach dem Stand der Technik vorzusehen, die diese indirekten Gefährdungen wie vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr ausschließen oder minimieren.

5. Rangfolge von Schutzmaßnahmen

(1) Bei der Festlegung und Durchführung der Schutzmaßnahmen ist gemäß § 7 OStrV im Grundsatz die folgende Rangfolge zu berücksichtigen:

1. Vermeidung oder Minimierung von Gefährdungen durch Laserstrahlung an Arbeitsplätzen durch andere geeignete Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel (Substitutionsprüfung, Minimierungsgebot),
2. Technische Schutzmaßnahmen,
3. Organisatorische Schutzmaßnahmen,
4. Persönliche Schutzausrüstung (z. B. Augenschutz und Schutzkleidung).

(2) Kollektive Schutzmaßnahmen haben gemäß § 4 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) Vorrang vor individuellen.

(3) Wenn Sofortmaßnahmen die Exposition unter die Expositionsgrenzwerte absenken sollen, haben Schutzmaßnahmen, die sich schnell durchführen lassen, eine höhere Priorität.

5.1 Vermeidung oder Minimierung der Gefährdungen durch Laserstrahlung

(1) Die Arbeitsverfahren und Arbeitsmittel sind so auszuwählen, dass keine oder nur vernachlässigbare Expositionen der Beschäftigten gegenüber Laserstrahlung auftreten können.

(2) Sollte dies nicht möglich sein, sind alternative Arbeitsverfahren zu prüfen und gegebenenfalls anzuwenden, welche die Exposition der Beschäftigten durch Laserstrahlung so gering wie möglich halten (Substitutionsprüfung).

(3) Um Gefährdungen der Beschäftigten auszuschließen oder so weit wie möglich zu verringern, haben nach dem Stand der Technik folgende Schutzmaßnahmen Priorität:

- Laserstrahlung möglichst auf den Nutzungsort beschränken,
- Schutzmaßnahmen auf dem Ausbreitungsweg von Laserstrahlung direkt am Arbeitsplatz (z. B. Verrohrung) vorsehen,

- mit möglichst niedriger Laserleistung arbeiten (entsprechend der jeweiligen Anwendung),
- räumliche Ausdehnung des Laserbereichs möglichst klein halten,
- Zahl der sich im Laserbereich aufhaltenden Personen möglichst klein halten: Im Laserbereich dürfen sich nur Personen aufhalten, deren Aufenthalt dort erforderlich ist,
- Laser-Einrichtungen der Klasse 1 oder 2 zur Grundjustierung verwenden.

5.2 Technische Schutzmaßnahmen

(1) Technische Schutzmaßnahmen sind mit dem Ziel durchzuführen, die Expositionen der Beschäftigten vorrangig an der Quelle zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren.

(2) Zu den technischen Schutzmaßnahmen gehören z. B.

- geeignete Positionierung der Strahlungsquelle(n),
- Verwendung von Abschirmungen, Strahlfallen, Blenden, optischen Filtern,
- Einsatz von Schutzvorhängen und Schutzwänden,
- Einhausungen, ggf. mit Verriegelung,
- Abschränkungen,
- Vorrichtungen zur automatischen Abschaltung.

(3) Der Einschaltzustand der Laser-Einrichtung muss eindeutig angezeigt werden, z. B. in Räumen durch Warnleuchten oder Leuchttableaus oder bei Einsätzen im Freien durch Blinkleuchten oder Rundumleuchten.

(4) In Abhängigkeit von der Gefährdung, die von der Laser-Einrichtung ausgeht, kann es erforderlich sein, den Zugang schleusenartig auszubauen (z. B. bei medizinischen Anwendungen) oder Türkontakte vorzusehen, durch die der Laser beim Betreten des Laserbereiches ausgeschaltet wird (z. B. bei Robotern).

(5) Kann der Zugang zu Laserbereichen für nicht unterwiesene Personen nicht durch technische Maßnahmen gesichert werden, so sind persönliche Schutzmaßnahmen im Laserbereich erforderlich und die Gefährdung ist z. B. durch Warnleuchten oder ein akustisches Signal anzuzeigen.

(6) Bei räumlich getrennter Anordnung von Strahlquelle und Strahlaustritt (Arbeitskabine) darf die Laserstrahlung auch im Störfall nicht aus dem Zuleitungssystem austreten.

(7) Zum Schutz vor gefährlichen Reflexionen sind Gegenstände und Flächen mit reflektierenden Oberflächen aus der Umgebung des Laserstrahls soweit wie möglich fernzuhalten, zu entfernen oder abzudecken.

(8) Maßnahmen der Ersten Hilfe entsprechend § 10 ArbSchG, insbesondere die sofortige Leistung Erster Hilfe nach einem Arbeitsunfall, müssen trotz der vorhandenen Schutzmaßnahmen möglich sein.

(9) Werden mehrere Laser-Einrichtungen gleichzeitig in demselben Raum betrieben, sind deren Strahlengänge gegenseitig abzuschirmen. Falls möglich, sollte der

Strahlengang nur von einer Seite aus zugänglich sein. Die optische Achse darf in der Regel nicht auf Fenster und Türen gerichtet werden. Sollte dies im Einzelfall zwingend erforderlich sein, so sind weitere Schutzmaßnahmen notwendig.

(10) Laserschutzwände gemäß DIN EN 60825-4 [8] erfüllen die Anforderungen an Abschirmungen von Laserbereichen.

Hinweis:

Bezüglich der Verwendbarkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten Laserschutzwände verweist DIN EN ISO 11553-1 [10] auf die im Rahmen der „Niederspannungsrichtlinie“ 2006/95/EG harmonisierte Norm DIN EN 60825-4 [8], deren Anwendung für den Hersteller ebenfalls mit der Konformitätsvermutung verbunden ist. Neben einer Reihe konstruktiver Vorgaben verlangt diese Norm in jedem Fall die Ermittlung der sog. „vorhersehbaren Maximalbestrahlung“ (VMB) der Laserschutzwände. Diese muss unter Berücksichtigung vernünftigerweise vorhersehbarer Fehlerbedingungen im Einzelfall rechnerisch oder experimentell durch den Hersteller bestimmt und in der Benutzerinformation angegeben werden. Die Widerstandsfähigkeit der einzusetzenden Schutzwände muss sich grundsätzlich nach dieser VMB richten. Dafür kann der Arbeitgeber Schutzwände mit festgelegter Schutzwirkung von spezialisierten Herstellern beziehen, die für ihre Produkte eine sog. „Schutzgrenzbestrahlung“ (SGB) spezifizieren. Eine Grundlage für die Spezifikation von Schutzwänden mit festgelegter Schutzwirkung sind dreifach gestaffelte „Prüfklassen“: Wartungsintervalle, in denen die Wirksamkeit bzw. der Verschleiß der Schutzwände – z. B. durch Augenschein – geprüft wird. Die entsprechenden Zeitabstände können zwischen 10 s (bei kontinuierlicher Beobachtung) und 30 000 s (bei automatischem Produktionsablauf) betragen. Die Schutzwirkung von Laserschutzwänden muss bei Laserbearbeitungsmaschinen der Klasse 1 mindestens 30 000 s betragen.

(11) Für Laserleistungen $P < 100 \text{ W}$ oder der Laserenergie $Q < 30 \text{ J}$ pro Einzelimpuls erfüllen auch Abschirmungen gemäß DIN EN 12254 [4] die Anforderungen an Abschirmungen von Laserbereichen.

(12) Abschirmungen, die zur temporären Abgrenzung von Laserbereichen dienen, z. B. bei der Instandhaltung von Laser-Einrichtungen oder bei der medizinischen Anwendung, sind geeignet, wenn sie der DIN EN 12254 [4] entsprechen. Abschirmungen mit geringeren Beständigkeitsanforderungen als in der genannten Norm sind im Einzelfall zulässig, wenn sichergestellt wird, dass die Laser-Einrichtung rechtzeitig vor dem Versagen der Abschirmung abgeschaltet werden kann.

Hinweis:

Die DIN EN 12254 [4] gilt nicht für „Laserumschließungen“ und Lasergehäuse, die Teil der Laser-Einrichtung sind oder zum Anbau an ein Lasersystem geliefert werden, um eine Laser-Einrichtung (nach DIN EN 60825-1 [6]) zu bilden. Für diese Einhausungen (Umschließungen) gilt die DIN EN 60825-4 [8].

(13) Bei der Anwendung von Hochleistungslasern der Klasse 4 ist der Brandgefahr durch Verwendung geeigneter Strahlbegrenzungen zu begegnen (z. B. wassergekühlte Hohlkegel).

(14) Die Arbeitsumgebung ist möglichst hell und reflexionsarm zu gestalten.

5.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

(1) Soweit Gefährdungen der Beschäftigten durch Expositionen gegenüber Laserstrahlung durch technische Maßnahmen nicht ausgeschlossen oder so weit wie möglich verringert werden können, sind organisatorische Schutzmaßnahmen zu treffen.

(2) Zu organisatorischen Schutzmaßnahmen, die zur Verminderung der Gefährdung durch Laserstrahlung beitragen, gehören z. B.

- Minimierung der Expositionszeit durch Optimierung der Arbeitsabläufe,
- Vergrößerung des Abstandes zwischen der Laserstrahlungsquelle und dem bzw. den Beschäftigten,
- Wechsel von Tätigkeitsanteilen zwischen höher und niedriger exponierten Bereichen,
- Kennzeichnung, Abgrenzung und Festlegung von Zugangsregelungen zu Laserbereichen,
- Unterweisung und Üben der gefährlichen Arbeiten ohne Laserbetrieb, sodass die Beschäftigten die Tätigkeiten im Umfeld des Lasers sicher ausführen können.

5.3.1 Kennzeichnung von Laserbereichen

(1) Nach § 7 Absatz 3 OStrV ist ein Arbeitsbereich als Laserbereich zu kennzeichnen, wenn die Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung überschritten werden können. Die Kennzeichnung muss deutlich erkennbar und dauerhaft sein. Beispiele für geeignete Kennzeichnung enthält Anlage 3 dieser TROS Laserstrahlung.

(2) Der Zugang zum Laserbereich ist mit dem Warnzeichen W004 „Warnung vor Laserstrahl“ zu kennzeichnen. Weitere Details zur Kennzeichnung sind in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A1.3 [11] zu finden.

(3) Wenn bei zeitlich und räumlich beschränkter Anwendung von Laser-Einrichtungen auf Bühnen und in Studios der Laserbereich aus szenischen Gründen zugänglich sein kann, ist im Grundsatz neben der Unterweisung der Beschäftigten eine geeignete Kennzeichnung am Bühneneingang für die Darsteller anzubringen.

Hinweis:

Bei Verwendung von Showlasern, bei LiDAR-Anwendungen oder anderen Laser-Einrichtungen im Freien, bei denen eine Gefährdung des Luftverkehrs möglich ist, ist eine Meldung des Betriebes gemäß Luftverkehrsordnung bei der örtlichen Flugsicherung erforderlich.

5.3.2 Abgrenzung von Laserbereichen

(1) Der Laserbereich ist nach § 7 Absatz 3 OStrV abzugrenzen. Die Eignung der Abgrenzung ist für jeden Einsatzort und entsprechend der Gefährdung gesondert zu beurteilen und regelmäßig zu überprüfen.

(2) Die Abgrenzung kann z. B. durch Lichtschranken, Verriegelungen, bauliche Maßnahmen oder temporär durch Absperrketten erfolgen.

5.3.3 Zugangsregelung für Laserbereiche

(1) Im Laserbereich dürfen Beschäftigte nur tätig werden, wenn das Arbeitsverfahren dies erfordert. Der Zugang ist für Unbefugte einzuschränken, wenn dies durch technische Maßnahmen möglich ist. Ist dies nicht möglich, dann sind durch organisatorische Schutzmaßnahmen (z. B. Zugangsverbote) entsprechende Zugangsregelungen sicherzustellen.

(2) Laser-Einrichtungen der Klasse 3B und 4 sind in der Regel mit einem schlüsselbetätigten Hauptschalter am Gerät ausgerüstet. Neben einem schlüsselbetätigten Hauptschalter kann diese Art der Sicherung auch durch andere Steuer- und Bedienungseinrichtungen, wie z. B. Magnetkarten, oder auf andere Weise vom Hersteller gewährleistet werden. Der Schlüssel kann z. B. ein Passwort sein. Der Umgang, die Verantwortlichkeiten und die Berechtigungen (Schlüsselgewalt) sind durch den Arbeitgeber zu regeln.

5.4 Persönliche Schutzausrüstungen

(1) Wenn durch technische und organisatorische Schutzmaßnahmen Gefährdungen der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten nicht ausgeschlossen werden können, sind geeignete individuelle Schutzmaßnahmen anzuwenden. Dies betrifft insbesondere die Anwendung persönlicher Schutzausrüstung (PSA).

(2) Persönliche Schutzausrüstungen dienen zum Schutz der Augen und der Haut.

(3) Sie sind geeignet, wenn sie für die jeweiligen Beschäftigten unter Berücksichtigung der jeweiligen Arbeitsbedingungen zur Sicherstellung von Sicherheit und Gesundheitsschutz ausgewählt wurden und den Anforderungen der Verordnung über die Bereitstellung von persönlichen Schutzausrüstungen auf dem Markt (8. ProdSV) entsprechen.

(4) Die Beteiligung der Beschäftigten bei der Auswahl von persönlichen Schutzausrüstungen erhöht die Akzeptanz und damit die Benutzung der Schutzausrüstung. Die Mitbestimmungsrechte der Beschäftigtenvertretung ergeben sich aus dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) in Verbindung mit dem Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG) und anderen entsprechenden Rechtsgrundlagen, z. B. dem Arbeitssicherheitsgesetz (ASiG).

(5) Für jede bereitgestellte persönliche Schutzausrüstung hat der Arbeitgeber die erforderlichen Informationen für die Benutzung in für die Beschäftigten verständlicher Form und Sprache bereitzuhalten. Gemäß § 12 ArbSchG in Verbindung mit § 3 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung – PSA-BV) hat der Arbeitgeber die Beschäftigten darin zu unterweisen, wie die persönlichen Schutzausrüstungen sicherheitsgerecht benutzt werden. Soweit erforderlich, hat er eine Schulung in der Benutzung durchzuführen.

5.4.1 Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

(1) Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen müssen gemäß 8. ProdSV mit der CE-Kennzeichnung gekennzeichnet sein. Brillen, bei denen diese Kennzeichnung fehlt, dürfen nicht eingesetzt werden.

Hinweis:

Jede vom Benutzer vorgenommene Veränderung kann dazu führen, dass sich die Schutzeigenschaften der PSA verringern (z. B. durch Lackieren der Laser-Schutzbrille).

(2) Geeignete Augenschutzmittel bieten Schutz gegen eine zufällige Exposition von direkter, spiegelnd reflektierter oder diffus reflektierter Laserstrahlung. Trotz Augenschutzmittel ist jedoch der Blick in den direkten Strahl zu vermeiden.

(3) Geeignete Augenschutzmittel sind z. B. Laser-Schutzbrillen, die der DIN EN 207 [2] und Laser-Justierbrillen, die der DIN EN 208 [3] entsprechen.

Hinweis:

Weitere hilfreiche Informationen zur Auswahl von geeigneten Augenschutzmitteln sind auch in [14] enthalten.

5.4.2 Schutzkleidung

(1) Der Schutz der Haut durch geeignete Schutzkleidung hat die Aufgabe, die Laserstrahlung so zu verringern, dass die Expositionsgrenzwerte für Laserstrahlung sicher unterschritten werden.

(2) Wenn die Expositionsgrenzwerte der Haut überschritten werden können, ist geeignete Schutzkleidung zu verwenden, wenn keine anderen Maßnahmen ergriffen werden können, um die Exposition zu beseitigen oder zu minimieren. Dies kann insbesondere beim Umgang mit Lasern der Klasse 4 erforderlich sein. Hinweise zur Hautgefährdung finden sich auch in der Benutzerinformation der Hersteller.

(3) Gesichtsschutz (Visiere) und Schutzhandschuhe können besonders bei Strahlung im UV-Bereich durch UV-Laser (z. B. Excimer-Laser) erforderlich sein.

Hinweis:

Weitere hilfreiche Informationen zu Persönlicher Schutzausrüstung für Tätigkeiten mit handgeführten oder positionierten Laserbearbeitungsgeräten sind in [16] enthalten.

5.5 Schutzmaßnahmen gegen indirekte Auswirkungen

5.5.1 Schutzmaßnahmen vor inkohärenter optischer Strahlung beim Betrieb von Lasern

Bei der Anwendung von Lasern mit hoher Leistung, insbesondere beim Schweißen, Schneiden, Abtragen und Erhitzen von Material, kann eine gefährliche inkohärente optische Begleitstrahlung entstehen. Die Schutzmaßnahmen hierzu sind im Teil 3 „Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung“ der TROS IOS beschrieben.

5.5.2 Schutzmaßnahmen vor vorübergehender Blendung

(1) Die wichtigsten Schutzmaßnahmen zur Vermeidung einer vorübergehenden Blendung sind:

- Abschirmung der sichtbaren Laserstrahlung gegenüber den Beschäftigten,
- Verwendung von nicht-reflektierenden Materialien am Arbeitsplatz und
- Vermeidung des direkten Blicks in einen sichtbaren Laserstrahl.

(2) Bei Arbeiten mit sichtbarer Laserstrahlung sind darüber hinaus die Strahlverläufe so zu gestalten, dass weder ein direkter Blick in einen Strahl noch eine Reflexion eines Strahls wahrscheinlich sind.

(3) Ist die Vermeidung einer vorübergehenden Blendung nicht möglich, lässt sich eine maximale Minderung der Auswirkungen einer vorübergehenden Blendung durch die Verwendung der für die jeweilige Tätigkeit kleinstmöglichen Laserstrahlungsleistung erreichen.

5.5.3 Schutzmaßnahmen vor Brand- und Explosionsgefährdung

(1) Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass Schutzmaßnahmen getroffen werden, wenn die Energie- oder Leistungsdichte der Laserstrahlung eine Zündung brennbarer Stoffe oder explosionsfähiger Atmosphäre herbeiführen kann (siehe auch TRGS 800 [13] und TRBS 2152 Teil 3 [12], insbesondere Abschnitte 5.10.1 Hinweise und 5.10.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen). Brennbare Stoffe sind z. B. hochentzündliche, leichtentzündliche und entzündliche Stoffe gemäß Gefahrstoffverordnung sowie sonstige brennbare Materialien wie Holz, Papier, Textilien und Kunststoffe.

(2) Bei der Anwendung von Laser-Einrichtungen der Klassen 3B und 4 muss immer geprüft werden, ob ausreichende Maßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahren getroffen worden sind.

(3) Bei der Anwendung von Hochleistungslasern der Klasse 4 im infraroten Wellenlängenbereich ist der Brandgefahr durch Verwendung geeigneter Strahlbegrenzungen zu begegnen, z. B. durch wassergekühlte Hohlkegel.

(4) Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass bei der medizinischen Anwendung von Laserstrahlung im Bereich von Organen, Körperhöhlen und Tuben, die brennbare Gase oder Dämpfe enthalten können, Schutzmaßnahmen gegen Brand- und Explosionsgefahr getroffen werden.

5.5.4 Schutzmaßnahmen vor entstehenden Gefahrstoffen

(1) Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass Schutzmaßnahmen nach dem Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) und der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) getroffen werden, sofern durch Einwirkung von Laserstrahlung gesundheitsgefährdende Konzentrationen von Gefahrstoffen (Gasen, Dämpfen, Stäuben, Nebeln oder Aerosolen) entstehen können. Diese Forderung ist erfüllt, wenn der Laserbereich von Gefahrstoffen z. B. durch eine Absaugung frei gehalten wird.

(2) Werden solche Gefahrstoffe für eine spezielle Anwendung der Laserstrahlung eingesetzt, dürfen nur die dafür erforderlichen Mindestmengen im Laserbereich vorhanden sein. Es sind Maßnahmen zu treffen, die eine Gefährdung der Beschäftigten durch das Zünden dieser Stoffe verhindern. In den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), welche die Anforderungen der GefStoffV konkretisieren, werden beispielhaft Schutzmaßnahmen beschrieben.

Hinweis:

Bei der Einwirkung gepulster Laserstrahlung auf ein Material kann es neben der Bildung von Gasen vor allem zu einer Zerstäubung (Aerosolbildung) kommen.

5.5.5 Schutzmaßnahmen vor ionisierender Strahlung

(1) Bei der Anwendung von bestimmten Laser-Einrichtungen, die ultrakurzgepulste Laserstrahlung emittieren (z. B. Femtosekunden-Laser), kann durch die Wechselwirkung mit Materie ionisierende Strahlung als Sekundärstrahlung entstehen. Hierfür sind bestimmte Schwellintensitäten erforderlich, die zur Bildung eines Plasmas (bzw. schneller Elektronen) führen. Treffen diese Elektronen auf einen Werkstoff, so kann eine charakteristische Röntgenstrahlung und eine kontinuierliche Bremsstrahlung emittiert werden.

(2) Der Arbeitgeber muss beim Betrieb derartiger Anlagen die Anforderungen aus der Röntgenverordnung (RöV) bzw. Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) einhalten und die geeigneten Schutzmaßnahmen treffen.

(3) Die vom Hersteller mitgelieferten Benutzerinformationen sowie die Warnhinweise am Gerät sind zu beachten.

5.6 Verwendung von Arbeitsmitteln durch die Beschäftigten

Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass Beschäftigte

- die Laser-Einrichtungen entsprechend der Betriebsanweisung nach Abschnitt 6 bestimmungsgemäß benutzen,
- dem zuständigen Vorgesetzten die von ihnen festgestellte unmittelbare erhebliche Gefahr für die Sicherheit und Gesundheit durch Laserstrahlung sowie jeden an den Schutzsystemen festgestellten Defekt an Laser-Einrichtungen unverzüglich melden.

6. Unterweisung

Basis für die Unterweisung der Beschäftigten ist das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung und der sich daraus ableitenden Schutzmaßnahmen. Detaillierte Informationen zur Unterweisung sind im Abschnitt 7 des Teils 1 „Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung“ der TROS Laserstrahlung zu finden.

7. Betriebsanweisung

(1) Zugangsregelungen und Anwendung persönlicher Schutzausrüstungen sind erforderlichenfalls in einer Betriebsanweisung zu regeln. Bei jeder maßgeblichen Veränderung der Arbeitsbedingungen muss die Betriebsanweisung aktualisiert werden.

(2) Eine Betriebsanweisung kann folgende Inhalte haben:

1. Anwendungsbereich,
2. Gefährdungen für den Menschen,
3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln,
4. Verhalten bei Störungen,
5. Verhalten bei Unfällen,
6. Abschluss der Arbeiten.

(3) Ein Muster für eine Betriebsanweisung ist in Anlage 5 dieser TROS Laserstrahlung zu finden.

8. Literaturhinweise

- [1] DIN 5685-1:2003-07: Rundstahlketten ohne Belastungsprüfung – Teil 1: Langgliedrig
- [2] DIN EN 207:2012-04: Persönlicher Augenschutz – Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen)
- [3] DIN EN 208:2010-04: Persönlicher Augenschutz – Augenschutzgeräte für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)
- [4] DIN EN 12254:2012-04: Abschirmungen an Laserarbeitsplätzen – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
- [5] DIN EN 60079-28:2013-03: Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 28: Schutz von Geräten und Übertragungssystemen die mit optischer Strahlung arbeiten
- [6] DIN EN 60825-1:2008-05: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
- [7] DIN EN 60825-2:2011-06: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 2: Sicherheit von Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWLKS)
- [8] DIN EN 60825-4:2011-12: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
- [9] DIN EN 60825-12:2004-12: Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 12: Sicherheit von optischen Freiraumkommunikationssystemen für die Informationsübertragung
- [10] DIN EN ISO 11553-1:2009-03: Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
- [11] Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A1.3 „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung“, GMBI 2013, S. 334 [Nr. 16] (v. 13.3.2013)
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A1-3.pdf>
- [12] Technische Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2152, Teil 3, „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“, GMBI 2009, S. 1583 [Nr. 77] (v. 20.11.2009)
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Anlagen-und-Betriebssicherheit/TRBS/pdf/TRBS-2152-Teil-3.pdf>
- [13] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 800 „Brandschutzmaßnahmen“, GMBI 2011, S. 33-42 [Nr. 2] (v. 31.1.2011)
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-800.pdf>
- [14] DGUV Information 203-042: Auswahl und Benutzung von Laser-Schutz- und Justierbrillen (BGI 5092)
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5092.pdf>
- [15] Fachausschuss Information „Betrieb von Laser-Einrichtungen für medizinische und kosmetische Anwendungen“, Fachausschuss Elektrotechnik, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2009)

- [16] Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 132, Persönliche Schutzausrüstung für Tätigkeiten mit handgeführten oder positionierten Laserbearbeitungsgeräten, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund (2007)
<http://www.baua.de/de/Publikationen/AWE/Band4/AWE132.html>

Weitere Literaturquellen

- DGUV Regel 112-189: Benutzung von Schutzkleidung
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr189.pdf>
- DGUV Regel 112-192: Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgr192.pdf>
- DGUV Information 204-022: Erste Hilfe im Betrieb
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-509.pdf>
- DGUV Information 203-036: Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionszwecke
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5007.pdf>
- DGUV Information 203-039: Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikationssystemen (LWKS) <http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi5031.pdf>

Anlage 1 Schutzmaßnahmen bei bestimmten Tätigkeiten, Verfahren und Betrieb spezieller Laser

A1.1 Betrieb von Messlasern

(1) Bei der Anwendung von Laser-Einrichtungen der Klasse 1M, 2M und 3A ist sicherzustellen, dass nicht direkt durch optisch sammelnde Instrumente, z. B. Nivelliergeräte, Ferngläser oder Teleskope, in den Laserstrahl geblickt wird.

(2) Bei der Verwendung von Laser-Einrichtungen der Klasse 3R im sichtbaren Wellenlängenbereich bzw. Laser-Einrichtungen der Klasse 3R, bei denen die Strahlrichtung konstant ist, haben sich folgende Maßnahmen bewährt:

- Die Ausgangsleistung des Lasers wird auf das für die Anwendung erforderliche Maß beschränkt. Dies kann durch die Auswahl der Laser-Einrichtung oder durch Vorschalten abschwächender Filter erreicht werden.
- Der Laserstrahl verläuft außerhalb des Arbeits- und Verkehrsbereiches.
- Die Strahlachse wird so gesichert, dass ein Auswandern des Laserstrahls nicht möglich ist. Diese Sicherung kann beispielsweise aus einem Rohr vor der Laser-Einrichtung bestehen, das als Strahlfänger dient.
- Der Bereich um den Laserstrahl wird in einem Abstand von 1,5 m, z. B. mit einer Absperrkette gemäß DIN 5685 [1] abgegrenzt und mit Laserwarnzeichen gekennzeichnet (siehe ASR A1.3 [11], Warnzeichen W004).

A1.2 Benutzung von Lasern zu Unterrichtszwecken in allgemeinbildenden Schulen

(1) Für Unterrichtszwecke sind nur Laser-Einrichtungen der Klassen 1 oder 2 zu verwenden.

(2) Bei der Benutzung von Laser-Einrichtungen der Klasse 2 ist dafür zu sorgen, dass besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden, insbesondere durch zusätzliche Leistungsbegrenzung, Abgrenzung, Kennzeichnung und Unterweisung. Es ist dafür zu sorgen, dass

- der Laserbereich durch Abschirmung auf das notwendige Maß begrenzt und durch Abgrenzung gegen unbeabsichtigtes Betreten gesichert ist;
- Zugänge zu Laserbereichen mit Laserwarnzeichen gekennzeichnet sind;
- diese Laser-Einrichtungen nur von Befugten und unterwiesenen Personen betrieben werden;
- bei der Vorbereitung von Versuchen und Vorführungen nur Personen beteiligt oder zugegen sind, die zuvor über die Gefahren der Laserstrahlung und die erforderlichen Schutzmaßnahmen unterrichtet worden sind;
- Beobachter bzw. Teilnehmer vor Beginn des Versuches bzw. der Vorführung über die Gefahren der Laserstrahlung unterrichtet worden sind;
- Versuche und Vorführungen mit der jeweils geringsten notwendigen Laserleistung durchgeführt werden.

(3) Neben Lasern der Klassen 1 und 2 können auch Laser der Klassen 1M und 2M verwendet werden, wenn zusätzlich sichergestellt wird, dass der Strahlquerschnitt nicht durch optisch sammelnde Instrumente verkleinert werden kann.

A1.3 Betrieb von Lasern zu medizinischen und kosmetischen Zwecken

(1) Müssen Instrumente bei medizinischer Anwendung in den Strahlengang gebracht werden, hat der Arbeitgeber solche Instrumente zur Verfügung zu stellen, die durch Formgebung und Material gefährliche Reflexionen weitgehend ausschließen.

(2) Wird Laserstrahlung zu medizinischen Zwecken eingesetzt, hat der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass die dabei verwendeten optischen Einrichtungen zur Beobachtung oder Einstellung mit geeigneten Laser-Schutzfiltern ausgerüstet sind.

(3) Der Arbeitgeber hat bei der medizinischen Anwendung der Laserstrahlung von Laser-Einrichtungen der Klasse 4 mittels eines freibeweglichen Lichtwellenleiterendes oder Handstücks dafür zu sorgen, dass Hilfsgeräte und Abdeckmaterialien, die dem Laserstrahl versehentlich ausgesetzt werden können, möglichst nicht bzw. nur gering reflektierend und mindestens schwer entflammbar sind.

(4) Tuben und Sonden müssen aus Materialien bestehen oder mit Materialien umhüllt werden, die ausreichend beständig gegen die verwendete Laserstrahlung sind.

Hinweis:

Ausführliche Informationen zum Einsatz von Lasern in der Medizin sind in [15] enthalten.

A1.4 Schutzmaßnahmen beim Betrieb von Laser-Einrichtungen im Freien

Bei Laseranwendungen im Freien ist es nicht möglich, den Laserstrahl mit einem Gehäuse vollständig zu umgeben. Daher ist der Laserbereich zu ermitteln, d. h. es sind die Bereiche zu erfassen, in denen die Expositionsgrenzwerte der OStrV überschritten werden können. Dabei sind neben der direkten Strahlausbreitung auch die Bereiche, in denen durch Reflexion die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können, zu ermitteln und in den Laserbereich einzubeziehen.

A1.4.1 Technische Schutzmaßnahmen

(1) Technische Schutzmaßnahmen zur Verkleinerung des Laserbereiches sind vor allem bei Laser-Einrichtungen der Laserklassen 3R, 3B und 4 erforderlich. Bei Lasern der Klassen 1M, 2M und 3A sind diese Maßnahmen nur erforderlich, wenn zu erwarten ist, dass mit optischen Geräten mit vergrößernder Wirkung in den Strahl geblickt wird. Bei Lasern der Klassen 2 und 2M sowie der Klassen 1M und 3A und sichtbarer Laserstrahlung sind diese Maßnahmen nur erforderlich, wenn die Gefahr von vorübergehender Blendung besteht.

(2) Die Laser-Einrichtung muss möglichst stabil aufgestellt sein. Nach Möglichkeit ist durch Blenden oder Einhausung zu verhindern, dass der Strahl den zulässigen Strahlbereich verlässt.

(3) Bei veränderlichen Strahlrichtungen müssen mechanische oder elektronische-/ Software-Richtungsbegrenzungen zur Begrenzung des Laserbereiches eingesetzt werden.

(4) Der Strahl ist möglichst so zu führen, dass er außerhalb von Verkehrsräumen verläuft.

Hinweis:

Als weitere Informationsquelle in Bezug auf Verkehrsräume und der dort einzuhaltenden Abstände kann auch die DIN EN 60825-12 [9] herangezogen werden (als Bezeichnungen für Verkehrsräume wird in der DIN EN 60825-12 [9] der Begriff Standorte verwendet).

(5) Im Laserbereich darf optisches Gerät mit vergrößernder Wirkung nur verwendet werden, wenn es mit geeigneten Laser-Schutzfiltern ausgestattet ist.

(6) Die Ausbreitung des Strahles muss durch einen ausreichend bemessenen Strahlfänger (Strahlbegrenzung), der Ungenauigkeiten bei der Strahlausrichtung berücksichtigt, eingeschränkt werden. Auf den Strahlenfänger kann verzichtet werden, wenn der Laserbereich, ggf. unter Berücksichtigung der Beobachtung mit vergrößernden optischen Geräten, vollständig innerhalb des Betriebsgeländes liegt und Arbeitsplätze nicht betroffen sind.

(7) Ist es in Sonderfällen erforderlich, dass Laserstrahlen, die die Expositionsgrenzwerte überschreiten, das Betriebsgelände verlassen, so sind neben der Sicherstellung, dass keine Personen exponiert werden, auch die zuständigen Behörden (Luftfahrtaufsicht, Ordnungsamt) in die Planung einzubinden.

(8) Soweit beim Betrieb von Lasern ein Laserbereich entsteht, ist dafür zu sorgen, dass Personen nicht in diesen Bereich gelangen können. Hierfür muss der gesamte Laserbereich mit geeigneten Mitteln abgesperrt bzw. abgegrenzt und mit Warnzeichen und ggf. Hinweisschildern in ausreichendem Maß gekennzeichnet werden. Falls dies nicht durchgängig möglich ist oder das Fernhalten von Unbefugten auf diese Weise nicht sichergestellt werden kann, muss der Laserbereich beispielsweise durch Posten oder technische Einrichtungen lückenlos überwacht werden.

(9) Der Betrieb der Laser-Einrichtung ist durch ein deutlich erkennbares optisches Signal anzuzeigen.

A1.4.2 Organisatorische Schutzmaßnahmen

(1) Der Laserbetrieb ist zu unterbrechen, falls ungeschützte Personen in den Laserbereich gelangen oder Gegenstände in den Strahlbereich gelangen, die eine unkontrollierte (spiegelnde) Reflexion hervorrufen können.

(2) Die Laser-Einrichtung ist gegen unbefugten Gebrauch zu sichern.

Anlage 2 Zuordnung von Maßnahmen

(1) Die Hierarchie der Maßnahmen lässt sich beispielhaft in einer Tabelle (siehe Tabelle A2.1) mit entsprechender Rangfolge zusammenstellen.

(2) Bereits im Vorfeld der Planung einer Laser-Einrichtung sind entsprechende bauliche Maßnahmen zu ergreifen, die einen möglichst sicheren Umgang mit der Laser-Einrichtung ermöglichen. Räume, in denen sich zukünftig Laser-Einrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 befinden sollen, sind z. B. so zu gestalten und auszustatten, dass Decken, Wände sowie jede zugehörige Raumausstattung diffus reflektierende Oberflächen aufweisen und dass für unvermeidbare reflektierende Oberflächen (z. B. Fenster) entsprechende Abdeckungen vorhanden sind.

Tab. A2.1 Zuordnung von Maßnahmen

Maßnahmen	Zuordnung
Technische Schutzmaßnahmen	– geschlossener Raum – Laser-Einhausung (gekapselter Laser) – geeignete Oberflächen von Türen und Fenstern – wenig reflektierendes Instrumentarium – Warnlampen Weitere Einrichtungen am Laser: – Ausstattung des Lasers nach DIN EN 60825-1 (u. a. Shutter, Abschaltung, Schutzgehäuse) – Abschirmungen – spezielle Absaugung für ggf. entstehende Gase, Dämpfe, Stäube, Nebel, Rauche und Aerosole
Organisatorische Schutzmaßnahmen	– Kennzeichnung – Anwesenheits-Beschränkung – haustechnische Überwachung und fristgerechte Prüfung der Laser – Verkürzung der Expositionszeit (hierbei ist bei medizinischer Anwendung ggf. der Patientenschutz zu beachten)
Persönliche Schutzmaßnahmen	– Laser-Schutzbrillen – Laser-Justierbrillen – Laserschutz-Filter (z. B. Visier) – Schutzkleidung – Schutzhandschuhe – freie Hautpartien (z. B. auch des Patienten) bedecken durch lasergeeignete Abdeckungen
Unterweisung, Koordination	– Unterweisung der Beschäftigten und Abstimmung zwischen Arbeitgebern und Selbständigen

Anlage 4 Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWLKS)

A4.1 Allgemeine Regeln zum sicheren Arbeiten an und mit LWLKS

Unter Beachtung der folgenden Regeln gemäß Tabelle A4.1 darf bei Gefährdungsgraden 1 bis 3R im laufenden Betrieb gearbeitet werden.

Tab. A4.1 Regeln zum sicheren Arbeiten an LWLKS

Betrachten der Faser	Nicht mit ungeschütztem Auge oder einem optischen Gerät auf Faserenden oder Steckerstirnflächen blicken.
	Faserende nicht auf andere Personen richten.
Optische Instrumente	Nur speziell ausgewählte oder angefertigte optische Instrumente mit Filter oder Dämpfung benutzen, bei Gefährdungsgraden größer oder gleich 1M oder 2M indirekte Sehhilfen (Kamera und Monitor, Schattenbildspleißgeräte) benutzen.
Faserenden	Offene Faserenden abdecken (Spleißschutz, Klebeband), wenn nicht daran gearbeitet wird. Offene Stecker mit Staubschutzkappen versehen.
Faserbündchen	Nur vom Sender abgekoppelte Fasern brechen.
	Spezielles Bandspleißgerät verwenden.
Messleitungen	Die optische Quelle als Letztes anschließen und als Erstes trennen.
Wartung	Nur nach spezieller Arbeitsanweisung durchführen.
Reinigung	Nur geeignete Methoden benutzen.
Änderungen am LWLKS	Nur mit besonderer Befugnis.
Board extenders (LWL-Bauteile zur Reichweiten-Erhöhung)	Leiterplatten-Adapter für das Arbeiten außerhalb der Gestelle nicht bei Karten mit optischen Sendern benutzen.
Schlüsselschalter	Schlüssel nur in Obhut autorisierter Personen aufbewahren.
Testeinrichtungen	Die Laserklasse der Testeinrichtung muss dem Gefährdungsgrad des Standortes entsprechen.
Warnzeichen	Standorte mit Gefährdungsgraden oberhalb 1M sind immer mit dem Laserwarnzeichen und dem Gefährdungsgrad zu versehen.

A4.2 Festlegung von Schutzmaßnahmen

(1) Der Betreiber eines kompletten LWLKS hat die Verantwortung für die Lasersicherheit. Das beinhaltet unter anderem die Festlegung der Standorttypen und des Gefährdungsgrades mit den entsprechenden Schutzmaßnahmen. Dies bedeutet, dass an jeder zugänglichen Stelle des gesamten Systems sicherzustellen ist, dass die dort zugewiesenen Gefährdungsgrade nicht überschritten werden und für Installations- und Wartungsarbeiten nur entsprechend unterwiesenes Personal eingesetzt wird.

(2) Bei Gefährdungsgraden 2, 2M, 3R, 3B oder 4 muss der Zugang zum Laserbereich mit dem Laserwarnschild W004 nach Anhang 1 Ziffer 2 ASR A1.3 [11] und der Angabe des jeweiligen Gefährdungsgrades gekennzeichnet sein.

(3) Die Funktion einer automatischen Leistungsverringerung ist vor der Inbetriebnahme des LWLKS zu prüfen.

(4) Die Bedingungen, unter denen im Wartungsfall eine automatische Leistungsverringerung außer Kraft gesetzt werden darf, sind klar zu definieren. In diesem Fall können die austretenden Leistungen größer sein als für den entsprechenden Gefährdungsgrad zulässig. Beim Überschreiten der Grenzwerte der Klasse 1 sind die Gefährdungen und Schutzmaßnahmen zu bestimmen und ggf. in Arbeitsanweisungen niederzulegen.

(5) Bei Arbeiten mit sichtbarer Laserstrahlung der Gefährdungsgrade 2, 2M oder 3R im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm, bei denen bisher von einem Schutz durch Abwendungsreaktionen einschließlich des Lidschlussreflexes ausgegangen wurde, sind die Beschäftigten dahingehend zu unterweisen, dass von diesem Schutz nicht ausgegangen werden darf und stattdessen aktive Schutzreaktionen (sofortiges Schließen der Augen, Abwendung des Kopfes aus dem Strahl) auszuführen sind.

(6) Bezüglich der Schutzmaßnahmen können folgende Anwendungsbereiche mit Lichtwellenleitersystemen oder -komponenten grob unterschieden werden:

- Normalbetrieb des LWLKS; der Anwender muss nicht unterwiesen sein (z. B. Beschäftigte in angeschlossenen Betrieben);
- Wartung, Montage und Prüffeld;
- Forschung und Entwicklung.

A4.2.1 Schutzmaßnahmen für Anwender und Personen, die sich in uneingeschränkten Bereichen aufhalten

(1) Eine Gefährdung für den Anwender wird u. a. durch mechanische Verriegelungen oder automatische Leistungsverringerungen verhindert.

(2) Wenn keine Gefährdung vorliegt, sind auch keinerlei Warn- oder Hinweisschilder am Gerät notwendig.

Hinweis:

Bei Laser-Einrichtungen mit Gefährdungsgraden 1 und 1M ist es dem Hersteller nach der DIN EN 60825-2 [7] freigestellt, ein Hinweisschild anzubringen oder diese Information nur in die Gebrauchsanleitung aufzunehmen.

A4.2.2 Schutzmaßnahmen bei Wartung, Montage und im Prüffeld

(1) Der Umgang mit LWLKS-Komponenten bei diesen Arbeiten erfordert eine besondere Sorgfalt bezüglich Sauberkeit, Reinigung, mechanischer Belastungen und Biegeradien sowie speziell dafür ausgebildetes Personal.

(2) Kann bei Arbeiten an einem System Strahlungsleistung oberhalb der GZS der Klasse 1 zugänglich werden, sind die betreffenden Beschäftigten mindestens jährlich zu unterweisen.

(3) Bei LWLKS mit hohen Strahlungsleistungen wird die Sicherheit häufig mit einer Steuerung zur automatischen Leistungsverringerung gewährleistet. Ist diese defekt oder abgeschaltet, sind die Schutzmaßnahmen für die höhere Laserleistung anzuwenden.

(4) Falls z. B. bei Installationsarbeiten die endgültigen Gefährdungsgrade durch den Betreiber noch nicht festgelegt wurden, ist die Klassifizierung der optischen Sendekomponenten oder Testeinrichtungen zur Festlegung der Schutzmaßnahmen zu verwenden.

A4.2.3 Schutzmaßnahmen in Forschung und Entwicklung

(1) Solche Arbeiten werden im Allgemeinen an noch nicht umschlossenen LWLKS durchgeführt. Gefährdungsgrade und Standorttypen sind noch nicht definiert. Daher sind die Laserklassen der einzelnen verwendeten Sendekomponenten oder Messgeräte zu ermitteln und zur Bestimmung der Gefährdung sowie Festlegung der Schutzmaßnahmen zu verwenden. Gleiches gilt für Verbindungsstellen, an denen Strahlung z. B. beim Öffnen von Steckverbindern zugänglich werden kann. Der Arbeitsplatz ist zu kennzeichnen und die Schutzmaßnahmen sind entsprechend der maximal möglichen Emission festzulegen.

(2) Bei temporären Versuchsaufbauten im Laborbereich können oftmals allein technische Maßnahmen aufgrund des zeitlichen Aufwandes nicht zur Anwendung kommen. Der Schutz der Beschäftigten muss dann vor allem durch organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen, wie z. B. Zugangsbeschränkungen, Betriebsanweisungen, Arbeitsvorschriften, Verwendung von Laser-Schutzbrillen, sowie Unterweisungen sichergestellt werden.

A4.3 Besondere Schutzmaßnahmen

A4.3.1 Schutzmaßnahmen bei Brandgefahr

Im Laserbereich, insbesondere in der Nähe der Faserendflächen, dürfen keine brennbaren und keine entzündlichen Stoffe gelagert werden.

A4.3.2 Schutzmaßnahmen bei Explosionsgefahr

(1) Aufgrund der extremen Leistungsdichte am Strahlaustritt von LWLKS muss oberhalb der Werte aus der Tabelle A4.2 in entsprechenden Umgebungen unter Umständen mit Explosionsgefährdungen gerechnet werden.

(2) Bei Einsatz in derartigen Umgebungen ist die Leistung und Leistungsdichte so zu begrenzen, dass sie die explosionsfähige Atmosphäre nicht entzünden kann. Genauere Informationen für den Explosionsschutz in Gas- oder Dampf-Luft-Atmosphären sind in den Technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS 2152 Teil 3 [12] zu finden. Darüber hinaus enthält die DIN EN 60079-28 [5] weitere hilfreiche Informationen.

Tabelle A4.2 zeigt die Strahlungsleistungen, die keine Zündquelle darstellen, wenn davon auszugehen ist, dass die Strahlung an einem Festkörper vollkommen absorbiert, in eine Erwärmung umgesetzt und so eine heiße Oberfläche erzeugt wird. Die in der Tabelle genannten Werte sind grobe Vereinfachungen mit großem Sicherheitsabstand. Bei geringerer Absorption, guter Wärmeableitung an die Umgebung oder aber auch bei fehlendem Absorber sind auch höhere Leistungen möglich, ohne dass es zur Zündung kommt. In diesem Zusammenhang ist auch die Möglichkeit der Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre bei Benutzung alkoholischer Reinigungsmittel, z. B. beim Säubern von Steckerstirnflächen, zu berücksichtigen. Diese Atmosphäre selbst ist zwar für die LWLKS-

Strahlung transparent, kann aber u. U. durch ein absorbierendes Staubkorn gezündet werden.

Tab. A4.2 Strahlungsleistungen, die keine Zündquelle darstellen

Explosionsgruppe	I und IIA	IIA	IIB	IIC	IIC
Temperaturklasse	T1 – T3	T4	T1 – T4	T1 – T4	T5 – T6
Leistung in mW	150	35	35	35	15
Bestrahlungsstärke in $\text{mW} \cdot \text{mm}^{-2}$ bei Flächen $< 400 \text{ mm}^2$	20 ^{a)}	5	5	5	5

a) Bei Flächen $> 30 \text{ mm}^2$ gilt der $5 \text{ mW} \cdot \text{mm}^{-2}$ -Grenzwert, wenn sich brennbares Material (z. B. Kohlenstaub) im Strahl befinden kann.

A4.3.3 Betrachten und Prüfen von Strahlaustrittsstellen

(1) Das Betrachten der Steckerendflächen bei Arbeiten an LWLKS ist nur dann erlaubt, wenn die folgenden Bedingungen insgesamt eingehalten werden:

- der betreffende Laser ist außer Betrieb (z. B. durch Ziehen der Baugruppe),
- der betreffende Laser ist gegen Wiedereinschalten gesichert (z. B. durch ein Hinweisschild),
- mit einem optischen Leistungsmesser wurde einwandfrei festgestellt, dass Leistungsfreiheit herrscht. Die Messzeit muss größer sein als eine ggf. vorhandene zyklische Wiedereinschaltzeit nach automatischer Leistungsverringerung (ALV).

(2) Falls optische Instrumente (z. B. zur Begutachtung von Spleißen oder Stecker-Stirnflächen) für Faserenden unter Last verwendet werden sollen, müssen diese speziell ausgewählt (d. h. mit geeigneten Schutzfiltern versehen) werden.

(3) Zur Beobachtung können beispielsweise indirekte Video-Mikroskope verwendet werden.

A4.3.4 Messungen an Lichtwellenleiter-Verteilern und technischen Einrichtungen

(1) Von angeschlossenen Messgeräten geht bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefährdung aus. Besondere Schutzmaßnahmen sind nicht erforderlich. Auch hier ist jedoch aus Sicherheitsgründen ein direktes Blicken in den Strahl (Stecker mit Kupplung am Ende der Messleitung) zu unterlassen.

(2) Muss das Messgerät für spezielle Aufgaben im Einzelfall z. B. offen verwendet werden, sind zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. Tragen von Laser-Schutzbrillen) vorzusehen.

(3) Beim Messen des optischen Leistungssignals an Lichtwellenleiter-Verteilern (z. B. Gf-KEG, Gf-HVt) oder an den übertragungstechnischen Einrichtungen wird durch Auftrennen von Verbindungen des Lichtwellenleiter-Übertragungssystems die Laserleistungsverringerung aktiviert, sofern das geschlossene LWLKS Laser der Klasse 3R, 3B oder 4 enthält. Um sicherzustellen, dass auch im ungünstigsten Fall keine Personengefährdung auftritt, ist der optische Leistungsmesser sofort nach dem

Auftrennen an der zu messenden Stelle anzuschließen und das andere offene Ende mit der Staubschutzkappe zu versehen.

(4) Ein Betrachten der Steckerendflächen (direkter Blick in den Strahl) ist bei Messungen zu unterlassen. Danach kann die manuelle Lasereinschaltung aktiviert werden. Während der bewussten manuellen Lasereinschaltung darf der optische Leistungspegelmesser nicht entfernt werden. Nach Beendigung der Messungen muss die manuelle Lasereinschaltung deaktiviert werden und die Steckverbindungen sind wieder ordnungsgemäß zu schließen.

A4.3.5 Spleißarbeiten am Kabel

(1) Für die Spleißgeräte an sich sind keine besonderen Sicherheitsbestimmungen zu beachten, da aus diesen Geräten keine oder nur geringe Strahlungsleistung der Klasse 1 oder 2 austreten kann.

(2) Bei Spleißarbeiten am Kabel sind die Fasern am Spleißtisch so zu positionieren, dass von einem eventuell austretenden Strahl keine Gefährdungen ausgehen können (Personengefährdung, Brandgefahr). Eine ausreichende Beleuchtung des Arbeitsplatzes ist sicherzustellen.

(3) Bei planbaren Spleißarbeiten an Kabelanlagen sind grundsätzlich die Übertragungssysteme beidseitig an den Lichtwellenleiter-Verteilern bzw. Lichtwellenleiter-Hauptverteilern aufzutrennen.

A4.3.6 Servicearbeiten an vermieteten oder unbekannten LWLKS („Dark Fibre“)

Werden Arbeiten an unbekannten Fasern mit unbekanntem Gefährdungsgrad durchgeführt, so ist von der höchsten anzutreffenden Leistung auszugehen. Die Schutzmaßnahmen sind für den Gefährdungsgrad 4 auszuwählen und anzuwenden. In der Regel muss im oben beschriebenen Fall im abgeschalteten Zustand gearbeitet werden.

A4.3.7 Sonstige Hinweise zu Schutzmaßnahmen

(1) Mikroskopier-Einrichtungen zur Steckerbegutachtung oder Faseruntersuchung und an Spleißgeräten müssen mit Filtern versehen sein, die die Bestrahlung auf ein ungefährliches Maß reduzieren. Soweit möglich, sollten bei derartigen Tätigkeiten die Laser abgeschaltet werden. Dies gilt vor allem auch beim Wechseln von Komponenten.

(2) Nach Möglichkeit sind LWLKS-Steckverbinder mit selbstschließenden sicheren Kappen zu benutzen.

(3) Bei Arbeiten an LWLKS oder Komponenten von LWLKS mit Strahlungsleistungen oberhalb der Grenzwerte für die Klasse 1 ist der Zutritt für Betriebsfremde zu verhindern, bei Leistungen oberhalb des Gefährdungsgrades 1 dürfen nur unterwiesene Beschäftigte eingesetzt werden.

(4) Für Arbeitsplätze, bei denen Strahlung der Klasse 3R, 3B oder 4 zugänglich werden kann, ist in der Regel eine Betriebsanweisung zu erstellen.

(5) Im Laserbereich sollten sich nur Personen aufhalten, deren Aufenthalt dort nötig ist. Beim Einschalten eines Lasers der Klasse 3R, 3B oder 4 sind die im Laserbereich anwesenden Personen rechtzeitig vorher zu verständigen.

(6) Bei Entwicklungsarbeiten an Hochleistungssystemen (mit Einmoden-Fasern) mit Strahlungsleistungen größer als der Grenzwert für Klasse 1M ist ein Laserbereich festzulegen.

Anlage 5 Was ist bei der Erstellung einer Betriebsanweisung zu beachten?

1. Anwendungsbereich

Im Anwendungsbereich einer Betriebsanweisung wird festgelegt, vor welcher Einwirkung ein Schutz erreicht werden soll, in diesem Beispiel „Schutz gegen Laserstrahlung“. Folgende Angaben werden dokumentiert:

- Ort des Arbeitsbereiches/Arbeitsplatzes,
- Laserklasse,
- Betriebsart (kontinuierlich, gepulst),
- Wellenlänge,
- Leistung des Lasers ...

2. Gefährdungen für den Menschen

Es wird beschrieben, welche Gesundheitsschäden durch die beschriebenen Einwirkungen auftreten können. Dabei wird auch Bezug auf die Zielorgane (Auge und Haut) genommen:

- Augenschädigung,
- Hautschädigung,
- Blendungsgefahr,
- Lebensgefahr (Hochleistungslaser mit Strahlungsleistungen von mehreren kW),
- sonstige Gefährdungen durch indirekte Auswirkungen
(Brandgefahr, Explosionsgefahr, Gefährdungen durch inkohärente optische Strahlung, Gefährdungen durch ionisierende Strahlung, Gase, Dämpfe, Stäube, Nebel und Aerosole).

3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln

In diesem Abschnitt wird festgelegt, welche Handlungsweisen durchzuführen sind. Dabei kann auch auf eine Handlungsanleitung verwiesen werden, die als Anlage an die Betriebsanweisung formuliert wird. Des Weiteren wird auf einzuhaltende Schutzmaßnahmen sowie auf gegebenenfalls erforderliche regelmäßige Überwachung und Kontrollen eingegangen. Beispiele für Punkte, die für diesen Abschnitt relevant sind:

- die Einhaltung der Expositionsgrenzwerte,
- die arbeitstägliche Funktionsprüfung der zwangsläufigen Abschaltung der Strahlung von Verkleidungs- und Verdeckungssystemen mit selbsttätiger Überwachung,
- die Wirkung der Abschirmungen,
- die Eindämmung von Reflexionen,
- die notwendigen Absaugungen, z. B. bei Gefahrstoffentstehung,
- die Aufstellung von Hinweisschildern vor Gefahren,
- die Verwendung der Laser-Schutzbrillen oder Laser-Justierbrillen sowie anderer persönlicher Schutzausrüstungen.

4. Verhalten bei Störungen

In diesem Abschnitt wird angegeben, wie sich die Beschäftigten bei Störungen zu verhalten haben. Es wird dabei eine einzuhaltende Reihenfolge festgelegt. Beispiel:

1. Bei Auftreten von Gefahren vor oder während der Arbeit ist die Vorgesetzte Frau Musterfrau oder der Vorgesetzte Herr Mustermann und/oder die Arbeitsverantwortliche Frau Musterfrau oder der Arbeitsverantwortliche Herr Mustermann zu informieren.

Name: ...

Telefon: ...

2. Die oder der Arbeitsverantwortliche ist berechtigt und verpflichtet, die Arbeiten erforderlichenfalls zu unterbrechen oder abzubrechen.
3. Bei Arbeitsunterbrechung ist der Arbeitsplatz abzusichern.
4. Wartungs-, Service und Instandsetzungsarbeiten sind nur durch Firma Musterfirma nach Auftrag durch die Arbeitsverantwortliche oder den Arbeitsverantwortlichen in Auftrag zu geben.

5. Verhalten bei Unfällen

Es wird beschrieben, welche Maßnahmen bei Unfällen getroffen werden müssen. Dabei wird auf die sofortige Gefahrenminderung (z. B. Betätigung des Not-Aus- oder Not-Halt-Schalters), die Absicherung des Arbeitsbereiches sowie insbesondere auf die Meldekette eingegangen. Beispiel:

1. Vor Rettung/Bergung von Verletzten Eigensicherung beachten, z. B. Anlage abschalten, Stromzufuhr ausschalten, Not-Aus-Schalter betätigen!
2. Soforthilfe leisten!
3. Notruf (112) oder „betrieblichen“ Notruf, der nach außen durch qualifiziertes Personal weitergeleitet wird, absetzen!
4. Erste Hilfe leisten!
5. Telefonische Unfallmeldung an: ...

6. Wartung und Service

Es wird festgelegt, welche Maßnahmen bei Wartung und Service notwendig sind.

7. Abschluss der Arbeiten

Hier wird festgelegt, wie der Arbeitsplatz nach Beendigung der Arbeiten gesichert und verlassen werden muss. Dies beinhaltet das Herstellen des ordnungsgemäßen und sicheren Arbeitsplatzes, Aufräumen der Arbeitsstelle, Kontrolle und Reinigung der Ausrüstungen und Hilfsmittel.

Beispiel für eine Betriebsanweisung für eine Laser-Schweißanlage

Beispiel	B E T R I E B S A N W E I S U N G	
1. Anwendungsbereich		
	ARBEITSBEREICH: MUSTERBETRIEB DATUM: tt.mm.jjjj UNTERSCHRIFT: RAUM: Werkstatt Name: ARBEITSPLATZ: Laser-Schweißanlage, Nd: YAG 1 000 W; Laserklasse 4	
2. Gefährdungen für Menschen		
   	Die bei der Bearbeitung auftretende Laserstrahlung und durch die Zusammenwirkung mit dem Material auftretende inkohärente optische Strahlung können Gesundheitsschäden an Haut und Augen hervorrufen. Durch die durch Laserstrahlung hervorgerufenen Brände besteht Verbrennungs- und Erstickungsgefahr. An bzw. innerhalb des Lasergehäuses besteht durch die spannungsführenden Teile die Gefährdung des elektrischen Schlages bzw. Körperdurchströmung. Es kann zu tödlichen Verletzungen kommen.	
3. Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln		
	• Umgang mit der Laser-Schweißanlage gemäß HANDBUCH: H00 • Persönliche Schutzausrüstung, Verwendung von Laser-Schutzbrillen LB7 nach DIN EN 207 • Absaugung im Entstehungsbereich bei Laserschweißarbeiten einschalten • Beseitigen der Brand- und ggf. Explosionsgefahr • Lüftung (natürliche: Fenster, Türen, Tore; maschinelle: Ventilatoren)	
4. Verhalten bei Störungen		
	• Bei Auftreten von Gefahren vor oder während der Arbeit sind der Vorgesetzte und der Arbeitsverantwortliche zu informieren. Name: Herr Mustermann, Telefonnummer 1234 • Der Arbeitsverantwortliche ist berechtigt und verpflichtet, die Arbeiten zu stoppen oder abubrechen. • Bei Arbeitsunterbrechung ist der Arbeitsplatz abzusichern. • Reparaturen der elektrischen Teile der Laseranlage nur von einer Elektrofachkraft durchführen lassen.	
5. Verhalten bei Unfällen		
	• Anlage abschalten! Im Brandfall Löschversuche unternehmen! Soforthilfe leisten! • Notruf 112 oder „betrieblichen“ Notruf, absetzen! Erste Hilfe leisten! • Notruf 112 oder 9999 (Zentrale intern) • Erste Hilfe 112 oder 9999 (Zentrale intern) • Telefonische Unfallmeldung an: Frau Musterfrau, Telefonnummer 2233	
6. Wartung und Service		
	• Alle Wartungs- und Servicearbeiten müssen bei ausgeschalteter Laserstrahlungsquelle in elektrisch spannungsfreiem Zustand durchgeführt werden. Wartungsarbeiten sowie einfache Reparaturen darf nur eine unterwiesene Person durchführen. • Schäden an der Laser-Maschine dürfen nur von den dazu beauftragten Personen beseitigt werden. • Für die Wartung ist zuständig: _____ • Für den Service ist zuständig: _____	
7. Abschluss der Arbeiten		
	Herstellen des ordnungsgemäßen und sicheren Arbeitsplatzes. Aufräumen der Arbeitsstelle. Kontrolle und Reinigung der Ausrüstungen und Hilfsmittel, leere Gasflaschen in das Lager bringen.	

Herausgeber:

Bundesministerium für Arbeit und Soziales,
Referat Information, Monitoring, Bürgerservice, Bibliothek
53107 Bonn

Stand: Mai 2016

Wenn Sie Bestellungen aufgeben möchten:

Best.-Nr.: A 229

Telefon: 030 18 272 272 1

Telefax: 030 18 10 272 272 1

Schriftlich: Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09
18132 Rostock

E-Mail: publikationen@bundesregierung.de

Internet: <http://www.bmas.de>

Gehörlosen/Hörgeschädigten-Service:

E-Mail: info.gehoerlos@bmas.bund.de

Fax: 030 221 911 017

Gebärdentelefon: gebaerdentelefon@sip.bmas.buergerservice-bund.de

Satz/Layout: Hausgrafik, BMAS

Druck: Hausdruckerei, BMAS

Wenn Sie aus dieser Publikation zitieren wollen, dann bitte mit genauer Angabe des Herausgebers, des Titels und des Stands der Veröffentlichung. Bitte senden Sie zusätzlich ein Belegexemplar an den Herausgeber.