

Laserstrahlenschutz

Einführung

Laser ist die Abkürzung für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ , „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung“). Laser werden heute für die verschiedensten Prozesse eingesetzt. Je nach ihrer Anwendung werden die Parameter (Wellenlänge, Pulszahl, Pulslänge und Leistungsdichte entsprechend ausgewählt.

Der zur Zeit wichtigste erfasste Wellenlängenbereich reicht von Excimerlasern im UV-bereich über den frequenzverdoppelten Nd:YAG (532 nm), dem Nd:YAG-Laser (1064 nm) bis zum CO₂-Laser (10600 nm) im infraroten Wellenlängenbereich.

Laserstrahlung zeichnet sich aus durch:

- Monochromasie (Einfarbigkeit; Schmalbandigkeit),
- Kohärenz (zeitlich und räumlich feste Phasenbeziehungen der Wellen (wichtig für Messtechnische Anwendungen),
- kleinere Strahldivergenz (Strahlbündelung, typisch: $\theta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 1 \text{ mrad}$) und
- große Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte bis zu Giga Watts pro m²).

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

Biologische Wirkung von Laserstrahlung

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

Mögliche Prozesse bei Einwirkung von Laserstrahlung auf das Auge sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Wellenlängenbereich		Wirkung auf die Augen	Wirkung auf die Haut	
100-315 nm	UV	Hornhautentzündung	Sonnenbrand, beschleunigte Alterung, Hautkrebs	Excimer-Laser
315-400 nm		Linsentrübung	verstärkte Pigmentierung	
400-700 nm sichtbar		Verletzung der Netzhaut	Pigmentbildung, Verbrennungen	He-Ne-Laser
700-1400 nm	IR	Linsentrübung, Verletzung der	Verbrennungen	Hochleistungs- dioden-Laser Nd:YAG-Laser
1400-3000 nm		Linsentrübung, Verbrennung der		
3000-100000 nm		Hornhaut Verbrennung der Hornhaut		

Tabelle 1 : Biologische Wirkung von Laserstrahlung auf Augen und Haut

Die Haut kann wesentlich größeren Expositionen Stand halten als das Auge, da erstens deren Reflexion größer ist und zweitens – im Vergleich zum Auge – die Haut keine fokussierende Eigenschaft besitzt. Die biologische Wirkung der Bestrahlung der Haut mit Laserstrahlung im UV-, VIS- und im IR-Spektralbereich kann entsprechend der Leistungsdichte und der Einwirkungsdauer variieren zwischen einem schwachen Sonnenbrand und schweren Verbrennungen 3. Grades.

Expositionsgrenzwerte – (Maximal zulässige Bestrahlung/MZB):

Wegen der fokussierenden Wirkung des Auges im Spektralbereich zwischen 400 nm und 1 400 nm muss man zwischen zulässigen Grenzwerten für die Haut und denen für das Auge unterscheiden.

Die zulässigen Grenzwerte nennt man abgekürzt MZB-Werte (maximal zulässige Bestrahlung) und versteht darunter sowohl die maximal zulässige Bestrahlungsstärke (Leistungsdichte) als auch die maximal zulässige Bestrahlung (Energiedichte).

Charakteristische Abhängigkeiten der zulässigen Grenzwerte von der Wellenlänge und der Einwirkungsdauer existieren, wobei die zugrundezulegende Einwirkungs-
dauer der Exposition hinsichtlich der Gefährdung zwischen Dauerstrich, Impuls oder Impulsfolgen beachtet werden muss.

Mit diesen Grenzwerten muss man sich nur dann auseinander setzen, wenn man Laserstrahlquellen benutzt, bei denen gefährliche Strahlung frei zugänglich ist, sowie bei der Wartung gekapselter Laserstrahlquellen. Diese Expositionsgrenzwerte sind in der Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ (BGV B 2), sowie in der EG Richtlinie „künstliche optische Strahlung“ EG/2006/25 festgelegt.

Sekundärwirkungen von Laserstrahlung

Gefahrenpotenziale

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

Als Gefahrenpotenziale sind zu berücksichtigen:

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

Charakteristische Abhängigkeiten der zulässigen Grenzwerte von der Wellenlänge und der Einwirkungsdauer existieren, wobei die zugrundezulegende Einwirkungs-
dauer der Exposition hinsichtlich der Gefährdung zwischen Dauerstrich, Impuls oder
Impulsfolgen beachtet werden muss. Mit diesen Grenzwerten muss man sich nur
dann auseinandersetzen, wenn man Laserstrahlquellen benutzt, bei denen
gefährliche Strahlung frei zugänglich ist, sowie bei der Wartung gekapselter
Laserstrahlquellen. Die Grenzwerte enthält die Norm DIN EN 60825-1 „Sicherheit
von Laser-Einrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen“, die der
internationalen Norm IEC 60825-1 entspricht.

Weitere Anforderungen enthält die Unfallverhütungsvorschrift
„Laserstrahlung“ (BGV B 2).

Klasseneinteilung

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

Laser-klasse	Gefährdung bzw. Schädigungsmöglichkeit	Typische Leistung P (Dauerstrich-Laser)	Typische Anwendung
1	Unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen sicher	P kleiner 0,4 mW	Scanner-Kasse, DVD-Player
1M	Bei Einsatz von optisch sammelnden Instrumenten für das Auge gefährlich (sonst wie Klasse 1)	P kleiner 0,4 mW; aber der Strahldurchmesser ist größer als 7 mm	Messlaser mit Aufweitung (Datenübertragung)
2	Der direkte Blick in den Strahl muss vermieden werden - bei längerer Betrachtung über 0,25 s hinaus kann es zu Netzhautschäden kommen	P kleiner 1 mW	Laserpointer, Laser-Wasserwaage
2M	Bei Einsatz von optisch sammelnden Instrumenten für das Auge gefährlich (sonst wie Klasse 2)	P kleiner 1 mW; aber der Strahldurchmesser ist größer als 7 mm	-
3A	Nur bei Einsatz von optisch sammelnden Instrumenten für das Auge gefährlich (alte Klasse)	P kleiner 5 mW; aber der Strahldurchmesser ist größer als 7 mm und die Leistungsdichte ist bezogen auf den Pupillendurchmesser so groß wie beim Klasse-2-Laser	-
3R	Gefährlich für das Auge	P kleiner 5 mW	Messlaser,
3B	Immer gefährlich für das Auge	P kleiner 500 mW	Materialbearbeitungslaser
4	Immer gefährlich für das Auge und die Haut	P größer 500 mW Heute bis zu 50 000 W (CW)	

Schutzmaßnahmen

Eine Übersicht über das Vorgehen bei Gefährdungsanalysen von Lasereinrichtungen einschließlich anwendungsunabhängiger Schutzmaßnahmen ist in den Tabellen dargestellt, die gleichzeitig die Vorrangigkeit baulicher und konstruktiver vor organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen widerspiegeln.

Tabelle : Bauliche und konstruktive Schutzmaßnahmen

Bauliche/konstruktive Schutzmaßnahmen							
Sicherheitsmaßnahmen	Laser-Einrichtung (Klasse)						
	1	1 M	2	2M	3R	3B	4
Wände					matt, hell, diffus reflektierend		
Abschirmungen					große spektrale Absorption bei der Wellenlänge der Laser und wirksam gegen Sekundärstrahlung – (sie müssen der DIN EN 60825-4 entsprechen)		
Laserbereich		Kennzeichnung, sofern der Strahl im Verkehrsbereich verläuft		Grenzen (NOHD Zeitbasis?) festlegen, Beschränkung des Zugangs			
Strahlwarnung; Emissionswarnanzeige					optisch oder akustisch an den Zugängen; auf dem Laser; bei 3R nur bei unsichtbarer Strahlung		
Not-Aus-Schalter	abhängig von einer produktspezifischen Gefährdungsanalyse (siehe Maschinenrichtlinie Abs. 1.2.4 der Anlage)						
Fernverriegelungseinrichtung	erforderlich nur, wenn ein Klasse 3-B- oder 4-Laser eingebaut ist					an Türkontakt oder zusätzl. Not-AUS anschließen	
Schutzgehäuse	Laser Klasse 1 anstreben, siehe DIN EN 60825-4						
Sicherheitsverriegelung					zuverlässige Ausführung (siehe Merkblatt: Sicherheitsgrenztaster)		
Schlüsselschalter						berechtigter Personenkreis; abziehen, wenn Laser außer Betrieb	
Spezifizierung: Interlock; Not-Aus, Türkontakt (Fernverriegelung)						Festlegung des Performance levels entsprechend der DIN EN 13849-1	
Beobachtungsoptik und Beobachtungsfenster			Einbau von Laserschutzfiltern; GZS der Klasse 1 einhalten				

Tabelle: Organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen

Organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen							
Sicherheitsmaßnahmen	Laser-Einrichtung (Klasse)						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Laseranmeldung	erforderlich, bei Einbau von Lasern der Klasse 3R, 3B oder 4 und Wartung vor Ort				Anmeldung der Laser-Einrichtung beim zuständigen Unfallversicherungsträger und den für den Arbeitsschutz zuständigen Behörden		
Laserschutzbeauftragter *)	i. a. nicht erforderlich				schriftliche Bestellung *)		
Laserbereich	i. a. nicht erforderlich / der Strahlung von Lasern der Klasse 2 oder 2M im Arbeits- oder Verkehrsbereich				Grenzen festlegen, u. U. zeitlich begrenzen; z. B. Wartung mit beweglichen Abschirmungen (siehe auch DIN EN 12254, DIN EN 60825-4)		
Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen	nicht erforderlich, wenn nicht absichtlich in den Laserstrahl geblickt werden muss (siehe BGI 5092)				erforderlich; eventuell Vergrößerung der Raumhelligkeit erhöhen (siehe BGI 5092)		
spezielle Unterweisung	nicht erforderlich	erforderlich; Bestätigung mit Unterschrift; mindestens 1* jährlich					
Strahlwege		Den Strahl am Ende seines zweckdienlichen Weges blockieren, spiegelnde Reflexionen vermeiden					
<p>*) Der Laserschutzbeauftragte gilt als Sachkundiger, wenn er auf Grund seiner fachlichen Ausbildung oder Erfahrung ausreichende Kenntnisse über die zum Einsatz kommenden Laser erworben hat und so eingehend über die Wirkung der Laserstrahlung, über die Schutzmaßnahmen und Schutzvorschriften unterrichtet ist, dass er die erforderlichen Schutzvorkehrungen beurteilen und auf ihre Wirksamkeit prüfen kann. Der Laserschutzbeauftragte sollte an einem Kurs zur Erlangung der Sachkunde für Laserschutzbeauftragte teilnehmen, der den aufgestellten Anforderungen der Berufsgenossenschaften entspricht (siehe BGV B 2 Anhang 3).</p>							

Bei den persönlichen Schutzmaßnahmen kommen Laser-Schutzbrillen oder Laser-Justierbrillen vorwiegend zum Einsatz. Andere Schutzmaterialien, wie Textilien werden zur Zeit für spezielle Einsätze entwickelt. Ein Forschungsprojekt der BAuA hat das Thema: „Persönliche Schutzausrüstung für Tätigkeiten mit handgeführten oder positionierten Laserbearbeitungsgeräten“.

Zur Erinnerung sei erwähnt, dass man zwischen Laser-Schutzbrillen und den Laser-Justierbrillen unterscheidet.

Laser-Schutzbrillen dienen dem Schutz der Augen gegen Laserstrahlung für die jeweils betreffenden Wellenlänge(n) im ultravioletten, sichtbaren und infraroten Spektralbereich für mindestens 5 s (neue EN 207/208 ab voraussichtlich Ende 2009). Laser-Justierbrillen sind auf den Wellenlängenbereich der sichtbaren Strahlung zwischen 400 nm und 700 nm beschränkt. Sie schwächen die Laserstrahlung auf den Wert der Klasse-2-Laser ab, d. h. maximal 1 mW (mit $C_6=1$) bzw. auf 0,6 • Klasse 2 (siehe Empfehlung Tabelle 6 der BGI 5092). Sie dienen dazu, diffuse Reflexionen dieser Laserstrahlung sicher beobachten zu können.

Beispiel für eine Laser-Schutzbrille mit hoher Schutzstufe.





Beispiel für eine Korrektions-Laser-Schutzbrille für CO₂-Laser, diese Laserschutzbrille kann auch von Korrekturbrillenträgern getragen werden

Modellauswahl von Laser-Schutzbrillen und Laser-Justierbrillen

Wurde die notwendige Schutzstufe des Laserschutzes bestimmt, muss als nächstes je nach Einsatz ein entsprechendes Gestell ausgewählt werden.

Je nach Einsatzzeit und Anforderung an die Sehaufgabe sollen unterschiedliche Gestellformen ausgewählt werden.

Es sollte, wann immer möglich, ein leichtes Bügelgestell gewählt werden.

Wird jedoch an Hochleistungslasern von mehreren kW gearbeitet, so müssen in der Regel hermetisch abgeschlossene und daher schwere Fassungen verwendet werden. Wichtige Punkte, die überprüft werden müssen, sind:

- maximale Tageslichttransmission (je höher desto besser)
- Prüfung, ob Filter Farbverfälschung hervorrufen. D. h.: müssen bestimmte Farben erkannt werden, dann sollten, wenn technisch machbar, Filter ausgesucht werden, die eine geringe Farbverfälschung hervorrufen (z. B. wichtig bei der Erkennung von Warnsignalen).
- Frage klären, ob die Schutzbrille über eine Korrektionsbrille passen muss?
- Wenn die Schutzbrille nicht mit einer Korrektionsbrille (Sehhilfe) kombiniert werden muss, ist eine Bügelbrille wegen besserer Hinterlüftung vorzuziehen.
- Wird die Brille von wechselnden Personen z. B. für Besucher getragen, ist eine möglichst universelle Passform anzustreben. Hier empfehlen sich ggf. Korbbrillenvarianten. Hinweis: Dann sind die Brillen vor jedem Gebrauch zu desinfizieren und reinigen.
- Um den Tragekomfort zu erhöhen, sollte unter Beachtung der notwendigen Schutzstufen für die jeweilige Laserbetriebsart und Wellenlänge Schutzausrüstung von möglichst geringem Gewicht ausgesucht werden.
- Auf den sicheren Sitz der Brille muss geachtet werden, da die jeweiligen Träger unterschiedliche Kopfformen haben. Hier müssen bei der Beschaffung der Persönlichen Schutzausrüstung (PSA) unbedingt die persönlichen Belange des Trägers mit berücksichtigt werden, um die Trageakzeptanz von Laserschutzprodukten zu erhöhen.

Weitere Bestimmungen

Je nach Konstruktion, Anwendungsbereich (Labor, industrielle Produktion oder Geräte für den täglichen Gebrauch) und Energieversorgung (Batterie- oder Netzbetrieb) muss die Lasereinrichtung einer oder mehreren der nachfolgend aufgeführten Verordnungen bzw. EG-Richtlinien entsprechen:

- Niederspannungsrichtlinie (2006/95/EG)
- EMV-Richtlinie 2004/108/EG
- RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 (kurz EU-Richtlinie Künstliche Optische Strahlung)
- Maschinenrichtlinie (ab 29.12.2009 EG/2006/42) bzw. Umsetzung „Neunte Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung)“

Maschinen mit eingebauten Lasern

Maschinen mit eingebauten Lasern für die industrielle Produktion müssen primär die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der EG-Maschinenrichtlinie (98/37/EG, neu ab 29.12.2009 EG/2006/42) erfüllen. Die EG-Maschinenrichtlinie ist im Bundesgesetz über die 9. Verordnung zum Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (Maschinenverordnung) verankert.

Laserbearbeitungsmaschinen

Für Maschinen, die mit Hilfe eines eingebauten Hochleistungslasers Werkstücke durch Schmelzen, Brennschneiden usw. bearbeiten, gilt die Norm DIN ISO 11553-1 (-2 Handgeführte Laser /-3 Lärm) „Sicherheit von Maschinen – LASERBEARBEITUNGSMASCHINEN“.

Zusammenfassung:

Laser können je nach Leistung potenziell gefährlich sein. Durch die Einhaltung der notwendigen technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen steht dem Betrieb, auch von Höchstleistungslasern, nichts im Weg!

Literatur:

Wichtige Normen und Vorschriften und Richtlinie:

RL EG/2006/25	RICHTLINIE 2006/25/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (künstliche optische Strahlung) (19. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG) diese soll bis April 2010 national umgesetzt werden.
BGV B2	„Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung“
BGR 192	Auswahl von Augen- und Gesichtsschutz
BGI 5031	Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWKS)
BGI 5092	Auswahl von Laser-Schutzbrillen- und Laser-Justierbrillen
BGI 5006	Expositionsgrenzwerte für künstliche optische Strahlung
BGI 5007	Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionszwecke
DIN EN 208	Persönlicher Augenschutz, Filter und Augenschutz gegen Laserstrahlung (Laser-Schutzbrillen).Voraussichtlich Ende 2009 neu!
DIN EN 207	Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justier-Brillen).Voraussichtlich Ende 2009 neu!
DIN EN 60825-1, -2,-4	Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teile 1 bis 4
DIN ISO 11553-1,-2,-3	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen - Teile 1 bis 3
ISO 3864-2	Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 2: Gestaltungsgrundlagen für Sicherheitsschilder zur Anwendung auf Produkten (ISO 3864-2:2004)

Internet link: http://www.bgete.de/praev/praev_e-technik_laser.html

Autor:

Dipl-Phys. Martin Brose, BG Energie Textil Elektro, Köln
optischestrahlen@bgete.de