

Optische Sicherheit von Laserprodukten

Quelle: <http://www.lasersafe.de/handbuch/hndbholo.htm>

Aus Praxis der Holografie, Expert Verlag 1990; ISBN 3-8169-0493

Lasersicherheit

Abstrakt

Nach den Bestimmungen des Gerätesicherheitsgesetzes (GSG) ist jedes "technische Arbeitsmittel" in Deutschland so herzustellen, dass Gefahren nicht auftreten. Normen und andere Technische Regeln gelten als Mindestanforderung (z.B. VDE 0837).

Dem Hersteller, Importeur und Verkäufer obliegt die sicherheitstechnische Ausstattung. Lasereinrichtungen sind nach aufsteigendem Gefährdungsgrad zu klassifizieren (Klassen 1, 2, 3A, 3B und 4). In Zweifelsfällen muß das Produkt einer Prüfung unterzogen werden.

Auch der Betreiber hat nach Unfallverhütungsvorschrift (UVV) - Laserstrahlung Vorsorge zum Schutz der Beschäftigten gegen Unfälle treffen. Ab der Laserklasse 3B ist die Inbetriebnahme einer Lasereinrichtung den zuständigen Behörden anzuzeigen und ein Laserschutzbeauftragter zu ernennen.

Meistens genügen für Lese-Zwecke Lasereinrichtungen der Klassen 1 bis 3A. Diese sind lediglich normgerecht zu beschildern.

Ab Laserklasse 3B sind geeignete Maßnahmen insbesondere zum Schutz der Augen zu ergreifen. Ursache für die Gefahr sind die physikalischen Eigenschaften der Laserstrahlung, die im Auge auf extrem kleine Flächen konzentriert werden kann (Brennglas-Effekt).

Geeignete Maßnahmen sind Zugangsbeschränkungen, Schlüsselschalter, Schirme, Blenden und Schutzbrillen.

Beim Umgang mit Lasern treten im Allgemeinen folgende Gefahren auf:

- Stromschlag durch Defekte in den Netz- und Hochspannungs-Versorgungseinrichtungen, besonders wenn sie mit Wasser (Kühlwasser) in Berührung kommen können.
- Explosionen von hochbelasteten elektrischen Bauteilen und Druckgefäßen (z.B. Kondensatoren, Metaldampf-Hochdruck-Lampen)
- Implosionen evakuierter Hohlkörper (Laserröhren)
- Freisetzung von Giftstoffen z.B. durch thermische Zersetzung von Stoffen
- Veränderung von Körpergewebe insbesondere am und im Auge (Strahlenschäden)

Das vorliegende Kapitel konzentriert sich auf mögliche Strahlenschäden für Haut und Auge. Die anderen Gefahren sind allgemeiner Natur. Zu ihrer Abwehr sei auf das Normenwerk und die Unfallverhütungsvorschriften verwiesen (z.B. VDE 0100, 0101, 0800; VGB 4).

Biophysikalische Grundlagen

Die Empfindlichkeit insbesondere der menschlichen Körpergewebe ist durch eine Reihe von wellenlängenabhängigen, physikalischen Eigenschaften gegeben:

- Reflexionsgrad
- Absorptionskoeffizient
- Eindringtiefe der Strahlung
- Art der betroffenen Zellen
- Temperaturleitfähigkeit
- spezifische Wärme

Ein Teil der Laserstrahlung wird reflektiert. Der absorbierte Rest führt zu Erwärmung, photochemischer und bei extremer Belastung elektrochemischer Gewebeveränderung.

Das veränderte Körpergewebe kann seine Lebensfunktionen nicht mehr erfüllen und wirkt sogar giftig auf das nicht getroffene Gewebe.

Die folgenden Sicherheitsbetrachtungen beschränken sich auf die unmittelbare Einwirkung der Laserstrahlung auf Haut und Auge des Menschen,

Einwirkung auf die Haut

Bestrahlungsstärke und Einwirkdauer beschreiben die eintreffende Strahlung. Welcher Anteil hiervon reflektiert wird, zeigt Bild 5.1. Die Absorption wird durch die Kurven in Bild 5.2 beschrieben. Einen schematischen Überblick über die resultierende Eindringtiefe zeigt Bild 5.3 (alle Bilder aus (1)).

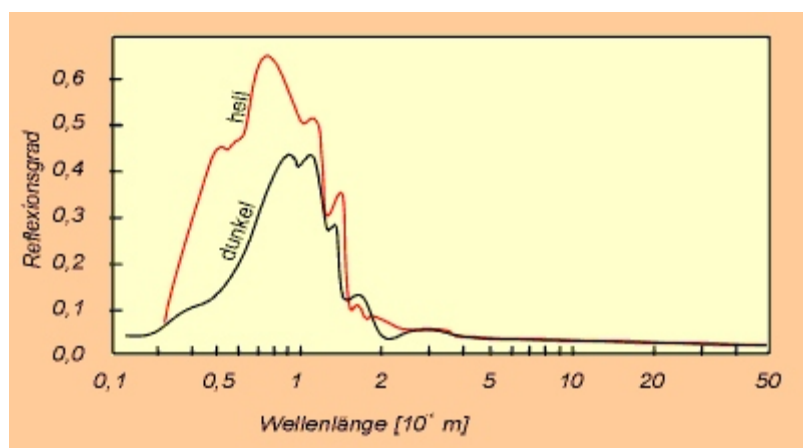


Bild 5.1: Reflexionsgrade der Haut in Abhängigkeit von der Wellenlänge, "hell"/"dunkel": heller bzw. dunkler Hauttyp.

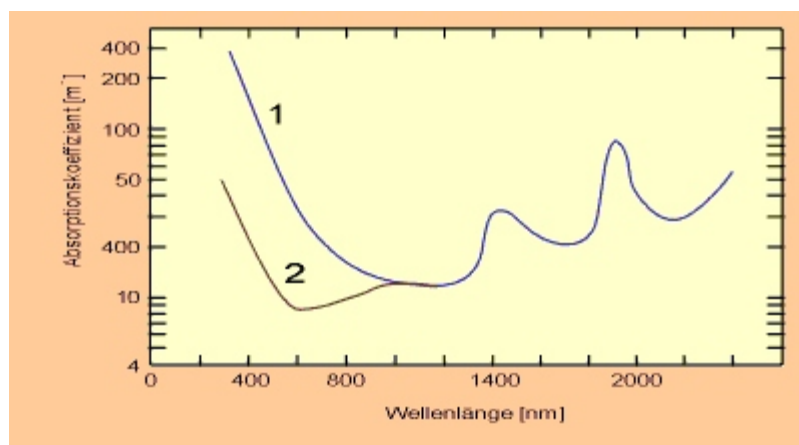


Bild 5.2: Absorptionskoeffizienten der Haut in Abhängigkeit von der Wellenlänge. 1: oberste Hautschicht, 2: tiefere Schichten

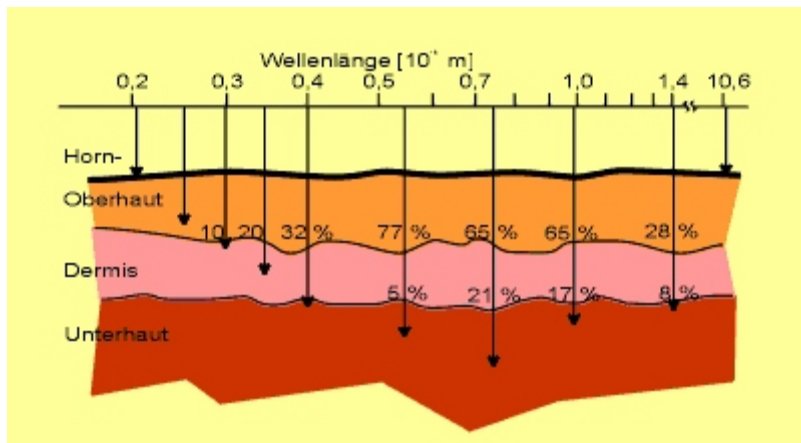


Bild 5.3: Eindringtiefe in die Haut in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die %-Zahlen geben an, welcher Anteil der Strahlung an der bezeichneten Stelle noch vorhanden ist (an der Oberfläche 100 %).

In welchem Maße mit Schäden der Haut zu rechnen ist, lässt sich an experimentell ermittelten Schädigungsschwellen abschätzen. In Tabelle 5,1 sind solche Schwellwerte für den Eintritt leichter Hautrötung in 50 % der Beobachtungen angegeben (1). Niedrigere, also "unterschwellige" Strahlendosen bedeuten zunächst nur eine kleinere Schadenshäufigkeit. Im Einzelfall kann ein Schaden bereits eingetreten sein, der mit der hier betrachteten Nachweismethode (Beobachtung einer Hautrötung) nicht erfasst wird. Daher gelten zwischen dem Schwellwert und der "Maximal zulässigen Bestrahlung" (MZB) nach IEC 825 bzw. (2) bestimmte Sicherheitsfaktoren, wie bei einem Vergleich zwischen den Spalten MRD-50 und MZB festgestellt werden kann.

Die Hautrötung (Erythem) kann noch als leichte Schädigung durch Laserstrahlung bezeichnet werden. Allerdings muss mit einer Sensibilisierung der getroffenen Hautpartien gerechnet werden, sodass die Wiederholung einer Bestrahlung zu stärkeren Erkrankungen führen kann (2). Hautentzündungen mit Blasen- und Geschwürbildung bis hin zur Verbrennung, Verdampfung und Verkohlung von Hautpartien gehören zum Bereich schwerer Schäden.

Tabelle 5.1: Beispiele einiger Schädigungsschwellen der Haut und Vergleich mit der "Maximal zulässigen Bestrahlung" (MZB) nach IEC 825

Lasertyp	Art der Bestrahlung und Hauttyp	Wellenlänge nm	Einwirkdauer s	MRD-50 1) J/m ²	MZB 2) J/m ²
Rubin	normaler Impuls	694,3	2,5*10 ⁻³		2500
	Mensch, hell			11-20*10 ⁴	
	Mensch, dunkel			2,2-6,9*10 ⁴	
	Q-switched Pulse	694,3	75*10 ⁻⁹		200
	Mensch, hell			(0,25-0,34)*10 ⁴	
	Mensch, dunkel			(0,25-0,30)*10 ⁴	
Argon	Shuttered Pulse	488-514	1,0		11000
	Mensch, hell			4,0-8,2*10 ⁴	
	Mensch, dunkel			4,5-6,0*10 ⁴	
CO ₂	Shuttered Pulse	10600	1,0		5600
	Mensch, hell			2,8*10 ⁴	
	Mensch, dunkel			2,8*10 ⁴	
	Schwein, hell		0,001	1,0*10 ⁴	1000
			1,0	3,0*10 ⁴	5600
			1,4*10 ⁻⁹	0,23*10 ⁴	100
Nd-Glas	Q-switched Pulse	1060	75*10 ⁻⁹		200

	Mensch, hell			$4,2-5,7 \cdot 10^4$	
	Mensch, dunkel			$2,6-3,0 \cdot 10^4$	
ND-YAG	Shuttered Pulse	1064	1,0		11000
	(CW)				
	Mensch, hell			$48-78 \cdot 10^4$	
	Mensch, dunkel			$46-60 \cdot 10^4$	
HF	Schwein, hell	2900	10^{-7}	$0,3 \cdot 10^4$	100

Erläuterung:

Alle Werte auf die Einheit J/m^2 umgerechnet.

1) Kleinste Wirkungs-dosis (Minimal reactive dose), die in 50 % der Bestrahlungsexperimente eine gerade sichtbare Reaktion hervorruft.

2) Maximal zulässige Bestrahlung (2).

Einwirkung auf das Auge

Bedingt durch die naturgegebene Aufgabe des Auges, reagiert dieses Organ auf elektromagnetische Strahlung empfindlicher als die Haut. Diese Empfindlichkeit erhöht sich dramatisch im sichtbaren Bereich des Spektrums (Bild 5.4). Hornhaut, Vorkammer, Linse und Glaskörper wirken hier wie ein Brennglas vor der Netzhaut.

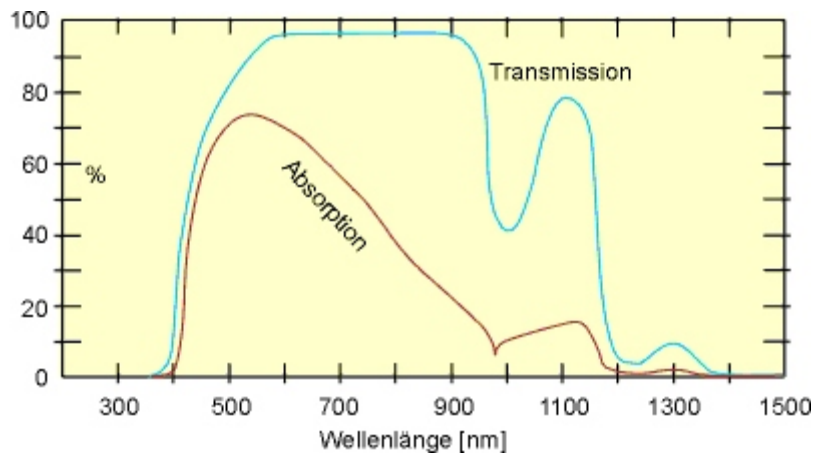


Bild 5.4: Durchlässigkeit der "durchsichtigen" Augenmedien ("Transmission") und Absorption der Netzhaut in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Wellenlängenkonstanz, hohe Kohärenz und geringe Strahldivergenz des Laserlichtes führen zu fast ideal geometrischer Strahlenausbreitung innerhalb des Auges.

Geringfügige Streuungen an und in den Augenmedien sowie die Beugung an der Pupille führen zu einem Brennfleckdurchmesser von etwa 10^{-5} m. Folgendes Beispiel verdeutlicht die Folgen der geschilderten Verhältnisse.

Ein Hautfleck von ca. 7 mm Durchmesser übersteht im Wellenlängenbereich von 400-1400 nm eine Dauerbestrahlung von 2 kW/m^2 wenigstens einige Minuten. Bei der gleichen Bestrahlungsstärke außen auf der Hornhaut wird die Netzhaut lokal mit etwas weniger als $980\,000 \text{ kW/m}^2$ belastet. An den in der Netzhaut vorhandenen Pigmentkörpern, die sich ja in wässriger Umgebung befinden, führen derartige Leistungsdichten zu lokaler Überhitzung und plötzlicher Dampfblasenbildung. Um die Auftreffstelle (Brennfleck) breitet sich eine Druckwelle mit ebenfalls sehr hoher Leistungsdichte aus. Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden dadurch innerhalb einiger Mikrosekunden eine Reihe von Sehzellen zerstört. Durch die unwillkürlichen Bewegungen des Auges können außerdem immer wieder andere Stellen der Netzhaut getroffen werden. Als Teile des Zentralnervensystems werden Sehzellen nicht wieder regeneriert.

Das Bild 5.4 zeigt durch die beiden Kurven den Spektralbereich, in dem Effekte nach Art des vorstehend geschilderten Beispiels zu erwarten sind.

Bei längerer Exposition und niedrigerer Bestrahlungsstärke, als im Beispiel angenommen, sind zusätzlich photochemische Reaktionen zu erwarten, die u.a. zur Minderung des Sehvermögens bestimmter Farben beitragen können (z.B. Blaulicht-Schäden). Hierzu muss die im Beispiel unterstellte Fokussierung der Strahlung nicht gegeben sein. Daneben gibt es noch die Fälle, in denen die Strahlung wellenlängenbedingt nur teilweise bzw. gar nicht in das Innere des Auges eindringt: Ultraviolett (UV) und Infrarot (IR). Beispiele für Eindringtiefen sind schematisch in Bild 5.5 für Strahlung einiger UV-Wellenlängen dargestellt. Hier, wie auch im IR entfallen die im Sichtbaren gegebenen Konzentrationseffekte.

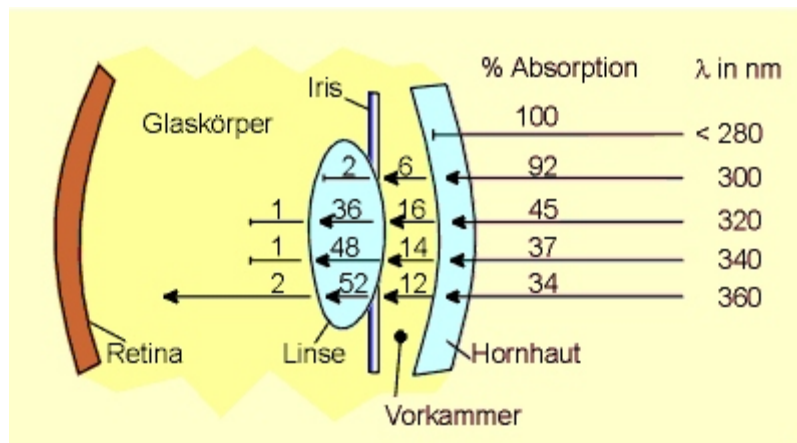


Bild 5.5: Eindringtiefe bei einigen UV-Wellenlängen. Die %-Zahlen geben an, welcher Anteil der Bestrahlungsstärke bis zur Pfeilspitze bzw. bis zum Strahlende (noch) absorbiert wird - außen = 100 %.

Vorschriften

Übersichten über das internationale, besonders das amerikanische Normenwerk sind in (1) S. 247-251 und in (3) S. 26-27 zusammengestellt. Hier werden die national gültigen Technischen Regeln bzw. Vorschriften behandelt,

Geltungsbereich der einschlägigen Gesetze und Technischen Regeln (Bundesrepublik Deutschland)

Nach den Bestimmungen des Gerätesicherheitsgesetzes (GSG) (4) ist jedes "technische Arbeitsmittel" in der Bundesrepublik Deutschland so herzustellen, dass bei bestimmungsgemäßem Gebrauch Gefahren nicht auftreten. Der sicherheitstechnische Inhalt von Normen und anderen Technischen Regeln gilt als Mindestanforderung (z.B. VDE 0837 (2)).

Rechtsverordnungen zum GSG erlässt der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung - Ausschuss für technische Arbeitsmittel - (z.B. (5)). Für die Durchführung des GSG sorgen die für den Arbeitsschutz zuständigen Landesbehörden (z.B. die Staatlichen Gewerbeaufsichtsämter). Für bestimmte Personen, Gesellschaften oder Gerätegruppen bestehen weitergehende Vorschriften bzw. Zuständigkeiten (z.B. Unfallverhütungsvorschriften nach Reichs-Versicherungsordnung, Medizingeräte-Verordnung).

Der Hersteller oder der Importeur oder der Verkäufer einer Lasereinrichtung trägt jeder für sich die Verantwortung für die Gerätesicherheit im Sinne des GSG. Damit sind die DIN- und VDE-Normen speziell die VDE 0837 (2) und die DIN 57 836 (7) zu beachten. Holographie-Anlagen, die der Lehre und Ausbildung dienen, müssen darüber hinaus der DIN 58 216 T.6 (8) entsprechen. In Zweifelsfällen sollte das Produkt einer Einzel- oder Bauartprüfung unterzogen werden.

Der Betreiber muss i.a. nach den Bestimmungen der Reichs-Versicherungsordnung Vorsorge zum Schutz der Beschäftigten gegen Unfälle treffen. Diese Vorsorge ist durch die Unfallverhütungsvorschrift (UVV) - Laserstrahlung (9) geregelt.

Zum Schutz der Allgemeinheit, können im Hinblick auf mangelndes Gefahrenbewusstsein besondere Maßnahmen z.B. nach VDE 0837, DIN 58 216 T.6, DIN 57 836 oder VDE 0100 erforderlich sein.

Geeignete Maßnahmen (Schlüsselschalter, Zugangsbeschränkungen, Schirme, Blenden) sind unter anderem im nächsten Abschnitt (5.3) angegeben.

Inhaltliche Übersicht

Erst der nächste Abschnitt (5.3) soll die in den Vorschriften enthaltenen Vorsorgemaßnahmen näher behandeln. Hier wird nur eine jeweils kurze Übersicht der zuvor bereits angesprochenen Technischen Regeln zum Schutz vor Laserstrahlung bzw. der UVV-Laserstrahlung angegeben.

VDE 0837 Strahlungssicherheit von Laser-Einrichtungen

Ausgabe Februar 1986

Diese Norm gilt für die Klassifizierung von Anlagen, legt Anforderungen fest, gibt sicherheitsrelevante Konstruktionsmerkmale an und formuliert Benutzerrichtlinien. Sie ist die deutsche Übersetzung der von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), Technisches Komitee (TC) 76 herausgegebenen Publikation IEC 825. Sie gilt für alle betriebsfertigen Lasereinrichtungen.

Ihr Ziel ist der Schutz von Personen vor den Wirkungen von zugänglicher elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich von 200 nm (demnächst 180 nm (6)) bis 1 mm. Sie wendet sich an Hersteller, Importeure, Verkäufer und Betreiber von Lasereinrichtungen. Hersteller im weiteren Sinne ist z.B. auch ein Forschungsinstitut, das seine Laseranlagen selber baut bzw. verändert.

DIN 58 216 Teil 6, Sicherheitstechnische Anforderungen für Lehr-, Lern- und Ausbildungsmittel, Laser

Ausgabe April 1981

Obwohl die Benutzerrichtlinien der VDE 0837 prinzipiell auch die Anforderungen des Bildungswesens abdecken, richtet sich diese Norm an die Hersteller von Anlagen zur visuellen Demonstration. Ein Großteil des Inhalts wendet sich andererseits an Lehrpersonal und Lernende und ist als Arbeitsanleitung zu verstehen. Es dürfen nur Laser bis maximal 1 mW optischer Ausgangsleistung eingesetzt werden (Klasse 2). Für Laser der Klasse 2 verlangt diese Norm ab 0.2 mW eine

Begrenzungseinrichtung, die letztlich eine Beschränkung der Bestrahlungsdauer bewirkt.

Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Laserstrahlung, VBG 93

mit Durchführungsanweisung, Ausgabe April 1988

Die VBG 93 gilt für die (gewerbliche) Anwendung von Geräten, Anlagen oder Versuchsaufbauten, mit denen Laserstrahlung erzeugt und übertragen wird. Mit Laserstrahlung wird jede elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen zwischen 100 nm (erweitert gegenüber VDE 0837) und 1 mm bezeichnet, die als Ergebnis kontrollierter, stimulierter Emission entsteht. Für die zugängliche Laserstrahlung werden dieselben Klassen definiert wie in der VDE 0837 (Näheres dazu folgt im Abschnitt 5.3). Die Grenzwerte zugänglicher Strahlung in den Klassen werden gemäß den anerkannten Regeln der Technik festgesetzt - zur Zeit also nach VDE 0837 -. Hierauf gehen die Durchführungsanweisungen näher ein. Die VBG 93 regelt ferner die notwendigen Schutzmaßnahmen an Lasereinrichtungen, die Abgrenzung von Laserbereichen, den Status des Laserschutzbeauftragten, die Pflichten des Unternehmers beim Einsatz von Lasern und das Verhalten bei Unfällen. Für bestimmte Anwendungsfälle (Vorführung, Unterricht, Medizin, Vermessung, Lichtleiter) beschränkt die UVV z.B. die Personengruppe, die Laserklasse, den Wellenlängenbereich oder die (optischen) Eigenschaften von Instrumenten. Zum Schluß legt die VBG 93 fest, in welchen Fällen Ordnungswidrigkeiten vorliegen. Die Durchführungsregeln erläutern bzw. präzisieren die allgemein gehaltenen Regeln und Begriffe der UVV. Dabei wird ein enger Bezug zu den anerkannten Regeln der Technik hergestellt.

DIN 58 215, Laserschutzfilter und Laserschutzbrillen

Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, Ausgabe Januar 1986

Laser-Schutzfilter und -Brillen sollen die Strahlung von Lasern auf ein für das Auge ungefährliches Niveau mindern. Die hier behandelte Norm gilt für den Wellenlängenbereich von 200 nm bis 1 mm. Sie definiert Schutzstufen als ganzzahlig abgerundeten Betrag des dekadischen Logarithmus des spektralen Transmissionsgrades. Zu beachten sind besonders folgende Punkte, die für Laserschutzfilter und -Brillen gemeinsam gelten:

- Laserschutzfilter wirken nur in einem bestimmten, in der Regel sehr engen Wellenlängenbereich;
- jedes Laserschutzfilter muss eine Bezeichnung tragen, aus der die Schutzstufe, die Wellenlänge und die Betriebsart des Lasers hervorgehen.
- Muster für die Kennzeichnung eines Laserschutzfilters (oder -Brille):

D 633 L6A ? DIN 58 215 Bedeutung der Kennzeichnung

|..|...|..|..+-----Norm (eventuell nur DIN-Zeichen)

|..|...|..+-----Herstellerkennbuchstabe

|..|...+-----Schutzstufe, Transmission 10^{-7} bis 10^{-6}

|..+-----Wellenlänge in nm eventl. Wl.-bereich

+-----Betriebsart: D = Dauerstrich,

I = Impuls, RI =
Riesenimpuls,

MI = modengekoppelter
Impulslaser

- Laserschutzfilter müssen hinsichtlich einer ganzen Reihe von physikalischen, technischen und ergonomischen Parametern geprüft sein

DIN 58 219, Laser-Justierbrillen

Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, Ausgabe Oktober 1982

Laser-Justierfilter und -Brillen gelten nur für den sichtbaren Wellenlängenbereich (400-700 nm). Durch Verwendung von Filtern nach dieser Norm wird die Strahlung auf Werte abgeschwächt, die in den Bereich der Klasse 2 fallen. Die mittlere Leistung der Laser darf bei Benutzung von Justierfiltern 10 W nicht übersteigen. Justierfilter sind nicht für den dauernden Blick in den Strahl geeignet. Die Schutzstufen sind ähnlich festgelegt wie in der DIN 58 215.

Zurzeit (1989) gibt es drei Schutzstufen:

R2 für Leistungen bis 100 mW,

R3 für Leistungen bis 1 W und

R4 für Leistungen bis 10 W

Justierfilter werden z.B. wie folgt gekennzeichnet:

z.B. Justierbrille DIN58219-R3-514

Hierbei handelt es sich um eine Brille mit Justierfiltern für die Wellenlänge 514 nm. Justierbrillen müssen geprüft sein.

Vorbeugung

Der vorliegende Abschnitt möchte zunächst mit den sogenannten Laserklassen vertraut machen. Die später beschriebenen Sicherheitsmaßnahmen richten sich weitgehend nach diesen Klassen und beschränken sich hier auf praktische Gegebenheiten der Holographie. Die physikalischen Grenzen der Laserklassen sind in Bild 5.6 dargestellt. Das genaue, verbindliche Klassifizierungsverfahren findet man in VDE 0837 (2). Die Grobwerte sind der DIN 58 215 (11) entnommen.

Laser-Klassen

Der Hersteller (oder eine Prüfstelle in seinem Auftrag) ordnet seine Lasereinrichtung einer Klasse nach VDE 0837 zu. Beurteilt wird die zugängliche Strahlung, die schlimmstenfalls das Auge treffen kann. Welche Bestrahlungswerte also im unzugänglichen Inneren einer Anlage bestehen mögen, spielt für die Klassifizierung der Gesamtanlage keine Rolle. Die Klassen sind an die Grenzwerte zugänglicher Strahlung (GZS) (2) gebunden (siehe Bild 5.6).

Die Laserklassen besagen, in welchem Maße Auge und Haut gefährdet werden (2) und (9).

Klasse 1: Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich. Die GZS wurden aus den Werten für die maximal zulässige Bestrahlung (MZB) der Augenhornhaut abgeleitet.

Klasse 2: Die zugängliche Strahlung liegt nur im sichtbaren Spektralbereich (400 bis 700 nm). Die GZS der Klasse 1 werden bis zu einer Bestrahlungsdauer von 0,25 s eingehalten. Für einen Dauerstrich-Laser beträgt die Leistungsgrenze 1 mW. Der Augenschutz ist nur gegeben, wenn Abwendungsreaktion oder Lidschluss nicht unterdrückt werden.

Klasse 3A: Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400-700 nm) bei einer Bestrahlungsdauer bis 0,25 s, in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich (9). Dazu dürfen die GZS der Klasse 1 höchstens um das 5-fache überschritten werden. Dennoch darf die Bestrahlungsstärke nirgendwo im zugänglichen Strahl 25 W/m^2 ; übertreffen.

Klasse 3B: Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut gefährlich (9). Dauerstrich-Laser dürfen 0,5 W nicht überschreiten, und die Bestrahlung durch Impulslaser muss geringer als 105 J/m^2 ; sein. Der direkte Blick in den Strahl ist immer gefährlich. Die Betrachtung des diffus reflektierten Lichts ist bei hinreichendem Abstand möglich. Als Faustregel gilt ein Mindestabstand von 13 cm und eine Beobachtungsdauer von max. 10 s. Können

Diffusität, Abstand oder Beobachtungsdauer nicht gewährleistet werden, muss sorgfältig geprüft werden, ob eine Gefährdung auszuschließen ist.

Klasse 4: Die Leistung der Laserstrahlung ist nach oben nicht begrenzt. Die zugängliche Strahlung führt am oder im Auge mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu Schäden. Die direkte Bestrahlung der Haut und selbst die Betrachtung diffus gestreuter Strahlung sind gefährlich. Bei entsprechender Bestrahlungsstärke besteht Brand- bzw. Explosionsgefahr.

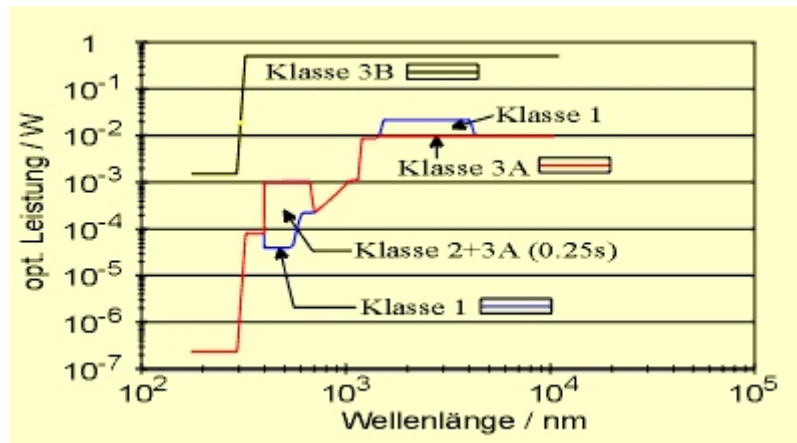


Bild 5.6: Geltungsbereich der Laserklassen im Leistungs-Wellenlängen-Diagramm für eine Bestrahlungsdauer von 100 s im sichtbaren und 30000s im unsichtbaren Spektralbereich (s. DIN EN 60 825-1 1994).

Sicherheitsmaßnahmen

Ausführliche Darstellungen von Sicherheitsmaßnahmen findet man in VDE 0837/IEC 825 (2) und in den Durchführungsanweisungen zu VBG 93 (9).

Grundsätzliche Pflichten:

Verstöße gegen das Gerätesicherheitsgesetz (4) sind strafbar. Im Schadensfalle muss Schadensersatz geleistet werden (z.B. Krankheits- und Pflegekosten, Schmerzensgeld, Rente). Die Duldung von gefährlichen Aufbauten oder Verhaltensweisen wird als grobe Fahrlässigkeit (nach Abmahnung als Vorsatz) behandelt (Strafe, Regress).

Wer Laser der Klassen 3B und 4 betreibt, muss einen Laserschutzbeauftragten schriftlich ernennen - das kann auch der Unternehmer oder Betreiber selbst sein -, der die notwendige (Sicherheits-)Sachkunde besitzt (9). Die erstmalige Inbetriebnahme jeder Lasereinrichtung der Klassen 3B oder 4 muss den zuständigen Behörden (Staatliches Gewerbeaufsichtsamt und Berufsgenossenschaft) angezeigt werden.

Augenverletzungen sollten von Augenärzten behandelt werden, die über entsprechendes Spezialwissen und geeignete Diagnoseverfahren verfügen. Dies sind in der Regel Augen- oder Universitätskliniken. Nähere Auskünfte erteilt die zuständige Berufsgenossenschaft.

Mechanische Voraussetzungen:

Die Holographie bedarf einer extrem hohen Präzision des Aufbaues, die durch die kurze Wellenlänge der verwendeten, elektromagnetischen Strahlung erzwungen wird. Dies führt zu einer wesentlichen Voraussetzung sicherer Anwendung:

Optische Komponenten sollen unverrückbar bzw. unverdrehbar angebracht werden, um den Strahl in einem vorbestimmten hier sehr engen Raumwinkel (dem "Strahlengang") zu halten.

Der Strahlengang sollte gegen unbefugte Eingriffe soweit irgend möglich innerhalb eines abschirmenden (Metall-)Gehäuses eingeschlossen werden. Gehören eingehauste Laser-Einrichtungen zur Klasse 1, werden aber im Inneren mit einem Laser einer höheren Klasse betrieben, so darf sich das schützende *Gehäuse* nur mit Werkzeug abnehmen lassen.

Außerdem müssen Sicherheitsschalter den Laser ausschalten, wenn das Gehäuse entfernt wird. In besonderer Weise können Service-Techniker gefährdet sein, die einerseits das Gehäuse entfernen müssen, andererseits bestimmte z.B. Justage-Arbeiten nur bei betriebener Laserröhre durchführen können. Deshalb müssen Warnschilder auf dem Schutzgehäuse die höhere Laserklasse und ggf. die Art der Strahlung für den Fall ankündigen, dass das Gehäuse entfernt und die Sicherheitsschalter überbrückt werden.

Warnschilder:

An allen Lasereinrichtungen sind Laserwarnschilder anzubringen. Zusatzschilder sollen auf die Laserklasse hinweisen. Oberhalb Klasse 2 sind die Art der Strahlung (sichtbar/unsichtbar - UV/unsichtbar - 1 R) und grundsätzliche Verhaltensregeln ("nicht - mit optischen Instrumenten - in den Strahl blicken") anzugeben. Die jeweilige Gestalt der Laserwarnschilder ist in VDE 0837 und in den VBG 93-Durchführungsanweisungen dargestellt.

Einrichtungen der Laserklasse 1 und der Laserklasse 2:

Die leistungsschwächeren Lasereinrichtungen werden hauptsächlich für die Justage der Aufnahmeeinrichtungen *und zur direkten, optischen Beobachtung* von Hologrammen eingesetzt. Über die Gewährleistung der GZS und die Beschilderung hinaus sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Einrichtungen der Laserklasse 3A:

Mit Einrichtungen der Laserklasse 3A kann man im aufgeweiteten Strahl das im Hologramm gespeicherte Bild suchen.

Es gelten zunächst alle Richtlinien zu den Laser-Klassen 1 und 2 (z.B. Beschilderung).

Die Gefahr für das unbewaffnete Auge entspricht dem der Klasse 2. Dies gilt auch für Brillenträger, deren Brille lediglich einen Zustand herstellt, wie ihn das normalsichtige Auge aufweist. Eine Beobachtungsoptik muss in jedem Falle vorher sicherheitstechnisch geprüft werden, da die eventuell gesammelte Bestrahlung gefährlich sein kann (Gefahr von Langzeit-Schäden). Aus diesem Grund müssen sicherheitsrelevante, optische Komponenten Aufdrucke tragen, mit deren Hilfe sich die Änderungen z.B. der Hornhaut-Bestrahlungsstärke ermitteln lassen. Da durch Unbefugte eine unbeabsichtigte Beobachtung z.B. mit einem Fernglas nicht auszuschließen ist, muss eine Einrichtung der Laserklasse 3A so abgeschirmt werden, dass außerhalb der Abschirmung die MZB eingehalten wird.

In großen Hallen genügen oft schon Abschränkungen in ausreichender Entfernung (ca. 5 m) oder textile Stellwände. Räume mit Zugangsbeschränkung (z.B. Tür, die von außen ohne Schlüssel nicht geöffnet werden kann, Schnappschloss) erfüllen diese Forderung auch.

Für die vorgeschriebene Warnanzeige (Emissionsanzeige) genügen beschilderte Kontroll-Leuchten an den Zugängen. Die Warnleuchten sollten automatisch den Betrieb des Lasers anzeigen. Ein Strahlschalter sollte den Strahl nur für die zur Beobachtung notwendige Zeit freigegeben - z. B. fußbetätigt. Sobald der Benutzer seinen Platz verlässt (oder den Fuß vom Schaltknopf nimmt), sollte der Strahl unterbrochen werden, ohne notwendigerweise den Laser vom Netz zu trennen.

Das Bedienungs- und Wartungspersonal muss in die notwendige Sicherheits-Sachkunde eingewiesen werden.

Die nun folgenden Richtlinien beziehen sich auf die sog. "leistungsstarken" Lasergeräte. Mit ihnen werden in der Regel die Hologramme aufgenommen.

Einrichtungen der Laserklasse 3B:

Es gelten alle Richtlinien zu den Laser-Klassen 1 bis 3A (u.a. Beschilderung, Zugangsbeschränkungen, Sachkunde). Die Rekonstruktion und direkte Beobachtung eines Hologramms sind unzulässig, solange der direkte Strahl zugänglich ist. Dies schließt Beobachtungen nicht aus. Es muss jedoch durch geeignete Maßnahmen (z.B. Strahlfänger, Sicherheitsblenden) gewährleistet sein, dass der direkte Strahl unzugänglich ist.

Bei Justage-Arbeiten an Lasern der Klasse 3B (und 4) dürfen keine spiegelnden Werkzeuge oder sonstigen spiegelnden Gegenstände in den Strahlengang gebracht werden. Für die Justage sollten nur mattierte Werkzeuge verwendet werden.

Armbanduhren und (Ehe-) Ringe sollten vor Beginn der Arbeiten abgelegt werden. Die Strahlposition darf mit Hilfe von diffusen Reflektoren (z.B. Papier) aus mindestens 13 cm Abstand festgestellt werden. Die Lage des Strahlaustritts und die Art der Strahlung muss durch besondere Beschilderung nach VDE 0837 gekennzeichnet werden.

Lichtleiter, die optische Leistungen transportieren, die der Laserklasse 3B oder 4 entsprechen, müssen in besonderer Weise gekennzeichnet und überwacht werden. Eine Strahlüberwachungseinrichtung muss beim Lösen eines Anschlusses oder Bruch des Lichtleiters Austritt bzw. Einspeisung des Laserstrahls automatisch verhindern.

Einrichtungen der Laserklasse 4:

Es gelten wiederum alle Richtlinien zu den vorstehend beschriebenen Laserklassen (1 bis 3B, u.a. Beschilderung, Zugangsbeschränkung, Strahlfänger, Sachkunde). Da Streulicht des direkten Strahls bereits gefährlich ist, sollten Justagearbeiten bei reduzierter Laserleistung erfolgen. Eine genügend genaue Überwachung der optischen Ausgangsleistung des Lasers ist dazu zwingend erforderlich. Besser ist der Einsatz eines Justierlasers der Klasse 2. Bei leistungsstarken Dauerstrich-Lasern oder Impulslasern, die lange Impulsketten aussenden, sollte ein besonderer, gekühlter Strahlfänger vorhanden sein.

Probleme bestehen bei offenen, labormäßigen Anlagen bzw. Entwicklungstypen, die ständiger Eingriffe bedürfen. Durch Blenden sollte zunächst dafür gesorgt werden, dass keine Strahlen "im Raum vagabundieren" (Begrenzung des Laserbereiches nach VBG 93 (9), in dem die MZB überschritten sein kann). Plätze, von denen aus eine Beobachtung der Holographie-Einrichtung nicht notwendig ist (Schreibtische, Überwachungskonsolen), sollten mit geeigneten Lichtschutzschirmen umgeben und so dem Laserbereich entzogen werden. Personen, die nur die Anlage aber nicht die (indirekte) Laserstrahlung beobachten müssen, sollten Brillen mit Laserschutzfiltern nach DI N 58 21 5 tragen. An einem Versuch Unbeteiligte dürfen den Laserbereich nicht betreten. Maßnahmen für Lichtleiter sind unter "Laserklasse 3B" bereits behandelt.

Zur Rekonstruktion sehr schwacher Hologramme oder bei ungünstigen Lichtverhältnissen sollten auf keinen Fall Strahlen verwendet werden, die der Laserklasse 4 entsprechen, weil eine Fehlfunktion oder -Bedienung katastrophale Wirkungen auf das Auge haben kann. In diesen Fällen empfiehlt es sich, nach anderen Beobachtungsumgebungen bzw. anderen Methoden zu suchen. Ein Höchstmaß an Sicherheit bieten Mess- und Videoeinrichtungen. Beide schließen den Kontakt des Auges mit der Laserstrahlung aus.

Die folgende Tabelle 5.2 enthält eine Übersicht über Sicherheitsmaßnahmen nach Laserklassen abgestuft. Aufgeführt sind nur Vorkehrungen für die Klassen 3 und 4, soweit sie über die Maßnahmen für die Klassen 1 und 2 (z.B. Beschilderung, mechanische Stabilität) hinausgehen.

Table 5.2: Sicherheitsmaßnahmen an leistungsstarken Lasereinrichtungen nach (2) Laserklasse

Maßnahme	Laserklasse 3A	Laserklasse 3B	Laserklasse 4
<u>Hersteller:</u>			
Fernbedienungsanschluss	Nicht erforderlich	Erlaubt externe Sicherheitsverriegelung	
Schlüsselschalter	Laser gesperrt, wenn Schlüssel abgezogen		
Strahlwarnung	optisches oder akustisches Warnsignal, wenn Laser betriebsbereit		
Abschwächer	z.B. Justierfilter nach DIN 58 219, dabei Leistungsgrenzen beachten		
Lage der Steuer-organe	So anordnen, daß direkte Strahlung unzugänglich		
Beobachtungsoptik	Hinter Optik: GZS der Klasse 1 einhalten		
Ablenkeinheiten	(Scanner) Bei Strahl-Stillstand darf Laserklasse nicht erhöht werden		
Markierung des Strahlaustritts	Nicht erforderlich	spezifizierter Wortlaut notwendig	
Kennzeichnung der Abdeckplatten	erforderlich, entsprechend der Laserklasse		
Service-Brücken	Entsicherung und dadurch geltende Laserklasse müssen klar erkennbar sein		
Informationen	Bedienungs- und Wartungshandbücher müssen Anweisungen zum sicheren Betrieb enthalten		
Lichtleiter-	Kabelstecker nur mit Werkzeug lösbar gestalten		
Strahlüberwachung	nicht nötig	erforderlich	

Table 5.2: Sicherheitsmaßnahmen an leistungsstarken Lasereinrichtungen nach (2) Laserklasse (Fortsetzung)

Maßnahme	Laserklasse 3A	Laserklasse 3B	Laserklasse 4
<u>Benutzer</u>			
Fernbedienung	an Raum- und Türstromkreis anschließen		
Schlüsselhalter	Wenn außer Betrieb, Schlüssel abziehen		
Strahlabschwächer	Justierfilter bei Justagearbeiten einsetzen		

	R2	R3 ... R4	R4 (N < 10 W)
Strahlindikator	Anzeige der Emissionsbereitschaft		
Reflexionen	Keine Anforderungen	Oberflächen mattieren	Nichts in den Strahl halten
Augenschutz	erforderlich, wenn MZB überschritten		
Schutzkleidung	nicht nötig	bei Holographie in der Regel nicht erforderlich	
Ausbildung	erforderlich für Bedienungs- und Wartungspersonal		

Literaturhinweise

- (1) Sliney, D., Wolbarsht, M.: Safety with lasers and other optical Sources, A comprehensive Handbook, Plenum Press, New York and London 1980.
- (2) VDE 0837, Strahlungssicherheit von Laser-Einrichtungen, Ausgabe Februar 1986, identisch mit IEC 825, Ausgabe 1984.
- (3) Holzinger, G. u.a.: Schutz vor Laserstrahlen, Schriftenreihe Arbeitsschutz, Nr. 14, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund 1978.
- (4) Gesetz über Technische Arbeitsmittel, Gerätesicherheitsgesetz (GSG) vom 24.6.1968, BGBl. 1 S. 717, und vom 13.8.1979, BGBl. 1 (1979) S. 1432.
- (5) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Gesetz über technische Arbeitsmittel vom 27.10.1970, Bundesanzeiger Nr. 205 vom 3.11.1970 in der Fassung vom 11.6.1979, Bundesanzeiger Nr. 108 vom 13.6.1979.
- (6) VDE 0837, Teil 100, Strahlungssicherheit von Lasereinrichtungen, Entwurf Oktober 1988, Änderungen der IEC 825 (1984), identisch mit IEC 76 (CO) 15.
- (7) DIN 57 836, VDE-Bestimmung für die elektrische Sicherheit von Lasergeräten und -anlagen, Ausgabe Februar 1977.
- (8) DIN 58 126 Teil 6 Ausgabe April 1981, Sicherheitstechnische Anforderungen für Lehr-, Lern- und Ausbildungsmittel, Laser.
- (9) Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Laserstrahlung, VBG 93, mit Durchführungsanweisung, Ausgabe April 1988, Hrsg. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
- (10) Verordnung über die Sicherheit medizinisch-technischer Geräte, MedGV, vom 14. Januar 1985, BGBl. 1 S. 93.
- (11) DIN 58 215, Laserschutzfilter und Laserschutzbrillen, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, Ausgabe Januar 1986.
- (12) DIN 58 219, Laser-Justierbrillen, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung, Ausgabe Oktober 1982.