

# Laserstrahlenschutz – kurz und bündig

*Im Vergleich zu thermischem Licht besitzt Laserstrahlung eine geringe Strahldivergenz und eine geringe spektrale Bandbreite. Deshalb führt ein kurzer (z.B. 0,25 s), direkter Blick in einen Laserstrahl mit einer Leistung von beispielsweise 1 W zu schwersten Augenverletzungen, während Glühlampenlicht gleicher Leistung ungefährlich ist. Beim Betrieb von Lasern müssen daher – je nach Laserklasse (1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B oder 4) – besondere Vorsichtsmaßnahmen und Regeln beachtet werden.*

PROF. DR. AXEL DONGES/ISNY IM ALLGÄU

Jeder, der mit Lasern arbeitet, muss sich der Gefahren bewusst sein, die von einem Laser ausgehen. Allgemein wird im Laserstrahlenschutz zwischen laserspezifischen und laserunspezifischen Gefahren unterschieden. Beispiele für laserunspezifische Gefahren, die nicht weiter diskutiert werden sollen, sind

- Gefahr durch elektrischen Strom
- Brandgefahr
- Gefahr durch im- oder explodierende Laserröhren
- Gefährdung durch (erhitzte) Kühlmittel
- Gefährdung durch freigesetzte Gase (z.B. Ozon, das u.U. durch Wechselwirkung mit dem Laserstrahl in der Umgebungsluft entstehen kann),

um nur einige zu nennen. Die laserspezifische Gefährdung beruht auf der Absorption von direkter oder reflektierter Laserstrahlung durch menschliches Gewebe. Die Gefährdung wird also durch dieselben Mechanismen bewirkt, die in der Laser-Chirurgie zum Schneiden ausgenutzt werden. Das durch Laserstrahlung am stärksten gefährdete Organ ist das Auge. Es kann bereits bei vergleichsweise geringen Strahlleistungen bzw. Pulsenergien dauerhaft geschädigt werden. Dem Auge, als unserem wichtigsten Sinnesorgan, wird daher im Laserstrahlenschutz besondere Beachtung geschenkt.

## Warum ist Laserstrahlung für das Auge so gefährlich?

Warum ist Laserstrahlung, im Vergleich zu thermischem Licht, das von einer Glühlampe ausgesendet wird, so gefährlich? Es lassen sich dafür zwei Gründe anführen:

- Glühlampenlicht breitet sich mehr oder weniger isotrop im Raum aus. Dadurch nimmt die Energieflussdichte der Strahlung umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes von der Lichtquelle ab. Je größer der Abstand zwischen Glühlampe und Auge ist, desto geringer ist die Energieflussdichte am Ort des Auges und desto weniger Strahlungsleistung dringt folglich durch die Pupille ins Auge ein. Dieser aus Sicht des Strahlenschutzes positiv zu bewertende „Verdünnungseffekt“ ist im Fall der Laserstrahlung nicht oder nur schwach vorhanden. Laserstrahlung hat meist eine so geringe Strahldivergenz, dass der gesamte La-

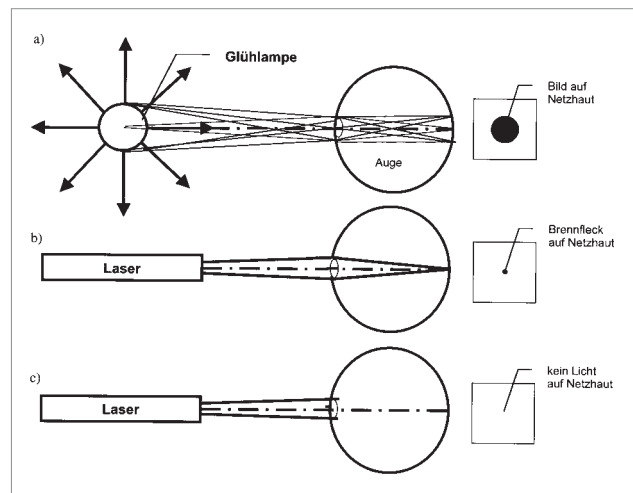


Abb. 1: Schematische Darstellung der Lichtausbreitung. a) sichtbares Glühlampenlicht b) sichtbarer Laserstrahl (z.B. He-Ne-Laser;  $\lambda = 633 \text{ nm}$ ) c) infraroter Laserstrahl (z.B.  $\text{CO}_2$ -Laser;  $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$ ).

serstrahl durch die Pupille ins Auge eindringen und dort Schäden verursachen kann.

- Das Auge ist von der Hornhaut bis zur Netzhaut im Wellenlängenbereich zwischen 400 bis 1.200 nm bis zu 90 % transparent. Oberhalb von etwa 1.400 nm gelangt praktisch kein Licht mehr bis zur Netzhaut. Licht im Wellenlängenbereich von 400 bis 1.400 nm, das von der Glühlampe ausgeht und durch die Pupille ins Auge eindringt, gelangt teilweise bis zur Netzhaut und erzeugt dort nach den Gesetzen der geometrischen Optik ein reelles, verkleinertes Bild der Glühlampe auf der Netzhaut. Ähnliches passiert, wenn ein monochromatischer Laserstrahl ins Auge trifft. Jedoch entsteht im letzteren Fall kein geometrisch-optisches Bild, sondern ein um viele Größenordnungen kleinerer, beugungsbedingter Brennfleck, dessen minimaler Durchmesser etwa zehn Mikrometer beträgt (Abb. 1).<sup>1</sup>

Fazit: Laserlicht ist im Allgemeinen deshalb so gefährlich, weil ein Laserstrahl nahezu „unverdünnt“ das Auge erreicht. Im Wellenlängenbereich zwischen 400 bis 1.400 nm kommt noch verschärfend hinzu, dass die auf die Netzhaut fokussierte Energieflussdichte einige 100.000-mal größer sein kann als die Energieflussdichte des Laserstrahls selbst. Verbrennungen der Netzhaut und

irreversible Schädigungen des Auges sind mögliche Folgen.

### Laserklassen

Das Gefährdungspotenzial eines Lasers hängt von verschiedenen Parametern ab (z.B. Leistung, Pulsenergie, Pulsdauer, Pulsfolgefrequenz, Wellenlänge, Strahldurchmesser). Die Gefährlichkeit von Laserstrahlung wird durch ihre Laserklasse zum Ausdruck gebracht. Bis vor kurzem unterschied man die folgenden fünf Klassen: 1, 2, 3A, 3B und 4.<sup>2</sup> Ab dem 1. Januar 2004 müssen Laser, die neu in Verkehr gebracht werden, nach der neuen DIN EN 60825-1 klassifiziert werden.<sup>3</sup> Danach gibt es jetzt sieben Laserklassen: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4.<sup>1\*</sup> Nachfolgend wird eine kurze, grobe Beschreibung der neu eingeführten Laserklassen gegeben (für eine detaillierte Beschreibung siehe<sup>4</sup>):



- **Lasereinrichtungen der Klasse 1:** Bei Lasern der Klasse 1 besteht bei vernünftigen, vorhersehbaren Bedingungen kein Risiko. Es sind deshalb keine Schutzvorrichtungen vorgeschrieben. Diese Klasse kann auch Laser aus höheren Klassen enthalten, wenn die Strahlung so abgeschirmt wird, dass keinerlei Gefährdung – auch bei fahrlässigem Verhalten – möglich ist (dies ist beispielsweise bei Lasern in CD-Spielern und Laserdruckern der Fall).
- **Lasereinrichtungen der Klasse 1M:** Laser der Klasse 1M emittieren im Wellenlängenbereich zwischen 302,5 nm bis 4.000 nm. Sofern keine optischen Instrumente (z.B. Linsen, Teleskope) verwendet werden, die den Strahlquerschnitt verkleinern, sind sie genau wie Laser der Klasse 1 ungefährlich. Wird der Strahlquerschnitt jedoch eingeengt, steigt ihr Gefährdungspotenzial.
- **Lasereinrichtungen der Klasse 2:** Laser dieser Klasse emittieren im sichtbaren Wellenlängenbereich (400 nm bis 700 nm). Eine kurzzeitige Einwirkung (bis 0,25 s) der Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich. Spezielle Schutzmaßnahmen sind i.d.R. in dieser Laserklasse nicht vorgeschrieben.<sup>2\*</sup> Als ausreichender Schutz wird die natürliche Abwendungsreaktion einschließlich des Lidschlussreflexes bei Blendung angesehen.<sup>3\*</sup>
- **Lasereinrichtungen der Klasse 2M:** Es gilt das Gleiche wie für Laser der Klasse 2. Laser der Klasse 2M können jedoch unsicher werden, wenn mit optischen Instrumente der Strahlquerschnitt verkleinert wird.
- **Lasereinrichtungen der Klasse 3R:** Die Strahlung dieser Laser ist gefährlich. Das Risiko, tatsächlich einen Augenschaden zu erleiden, wird jedoch dadurch verringert, dass im Sichtbaren (400 nm bis 700 nm) der

Grenzwert der zulässigen Bestrahlung fünfmal höher als in Klasse 2 und außerhalb des Sichtbaren (302,5 nm bis 400 nm und 700 nm bis 10<sup>6</sup> nm) fünfmal höher als in Klasse 1 ist.

- **Lasereinrichtungen der Klasse 3B:** Die Laserstrahlung ist für das Auge, z.T. auch für die Haut, gefährlich. Das diffus gestreute Laserlicht ist für gewöhnlich ungefährlich.<sup>4\*</sup>
- **Lasereinrichtungen der Klasse 4:** Die Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Es besteht Brand- und Explosionsgefahr.

### Konsequenzen für den Laserstrahlenschutz

Jeder, der Laser einsetzt, muss rechtliche Rahmenbedingungen beachten (z.B. <sup>2, 4, 6-11</sup>). Einige der wichtigsten Punkte, die im Hinblick auf dem Strahlenschutz beim Einsatz von Lasern in der Medizin beachtet werden müssen, sind nachfolgend aufgelistet<sup>5\*</sup>:

- Jede Lasereinrichtung muss einer Laserklasse zugeordnet und entsprechend gekennzeichnet sein. Hierbei sind die vorgeschriebenen Warn- und Hinweisschilder zu verwenden (Abb. 2). Entsprechend der Laserklasse müssen gegebenenfalls bestimmte Schutzeinrichtungen (z.B. Schlüsselhalter, Not-Aus-Schalter, Emissionswarn-einrichtung) vorhanden sein.
  - Jeder, der Lasereinrichtungen der Klassen 1M, 2, 2M, 3R, 3B oder 4 anwendet oder sich im Laserbereich von Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 aufhalten kann, muss über die Wirkungen der Laserstrahlung und die erforderlichen Schutzmaßnahmen regelmäßig belehrt werden.
  - Müssen medizinische Geräte in den Strahlengang gebracht werden, so sind solche Instrumente zu verwenden, bei denen gefährliche Reflexionen weitgehend vermieden werden.
- Werden Lasereinrichtungen der Klassen 3R, 3B oder 4 eingesetzt, müssen u.a. die folgenden Punkte zusätzlich beachtet werden:
- Der Einsatz muss der zuständigen Landesbehörde (z.B. dem Gewerbeaufsichtsamt) und der Berufsgenossenschaft angezeigt werden.
  - Es ist eine sachkundige Person als Laserschutzbeauftragter schriftlich zu bestellen.
  - Es muss ein Laserbereich vorschriftsmäßig abgegrenzt und gekennzeichnet sein. Zusätzlich ist bei Lasern der



Abb. 2: Laserwarnschild (oben) und ein Beispiel für ein Hinweisschild (unten).

Klasse 4 der Laserbetrieb an den Zugängen durch Warnlampen anzuzeigen.

- Kann in den Laserbereichen nicht sichergestellt werden, dass Bestrahlungen oberhalb der maximal zulässigen Bestrahlungen verhindert werden können, so hat der Betreiber geeignete Augenschutzgeräte, Schutzkleidung oder Schutzhandschuhe zur Verfügung zu stellen. Diese persönlichen Schutzausrüstungen haben alle sich im Laserbereich aufhaltenden Personen (Zahnarzt, Personal, Patienten, Dritte) zu benutzen.
- Der Betreiber ist für die Einhaltung der speziellen Sicherheitsanforderungen für den Betrieb der verschiedenen Lasertypen verantwortlich.

### Schlusswort

Inzwischen wird in nahezu allen medizinischen Fachgebieten der Laser erfolgreich eingesetzt. Laser müssen verantwortungsbewusst und unter Einhaltung der anwendungs- und sicherheitstechnischen Vorschriften eingesetzt werden. In fachmännischen Händen ist der Laser ein sicheres Instrumente, das kein größeres Gefährdungspotenzial als andere medizinische Geräte besitzt. Zahnärzte, die Laser einsetzen, brauchen – zum Schutz der Patienten, des medizinischen Hilfspersonals, aber auch zu ihrem eigenen Schutz – grundlegende Kenntnisse aus den Bereichen Laserphysik und Laserstrahlenschutz.

### Literatur

- 1 Jürgen Eichler: Laser und Strahlenschutz. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg (1992).
- 2 Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ vom 1. Oktober 1988 i.d.F. vom 1. Januar 1997 mit Durchführungsanweisung vom Oktober 1995 (BGV B 2 bzw. GUV 2.20).
- 3 Thomas Völker: Grundlegend überarbeitet: Neue Laserklassen. Sicherheitsreport VBG Verwaltungsberufsgenossenschaft 3/2002, S. 34–35.
- 4 DIN EN 60825-1 bzw. IEC 60825-1/01.2001 „Sicherheit von Laser-Einrichtungen; Teil 1: Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien“.
- 5 Axel Donges: Anmerkung zum Laserstrahlenschutz von Klasse-2-Lasern. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht 2/56 (2003), S. 84–86.
- 6 Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996 (Arbeitsschutzgesetz-ArbSchG) BGBl. I 1246.
- 7 Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz-GSG) vom 24. Mai 1968 (BGBl. I 1986, 717), (Stand: Neugefasst durch Bek. v. 23.10.1992 I 1793, Änderung durch Art. 3 Nr. 1 G v. 24.4.1998 I/30 idF d. Art. Nr. 1 G v. 13.8.1979 I 1432 mWv 1.1.1980).
- 8 Medizinproduktegesetz (MPG): Gesetz über Medizinprodukte vom 2. August 1994 (BGBl. I.S. 1963).

1\* Das Gefahrenpotenzial stieg bei der alten Klasseneinteilung von 1 nach 4 an. Dies trifft für die neue Laserklassen nur mit Einschränkung zu.

2\* Weitere Schutzmaßnahmen sind beispielsweise erforderlich, wenn die Laseranwendung ein wiederholtes Hineinschauen in den Laserstrahl notwendig macht.

3\* Das Einsetzen des Lidschlussreflexes ist nicht ganz unumstritten, siehe z.B.<sup>5</sup>

4\* Ein Strahlbündel kann sicher über einen diffusen Reflektor betrachtet werden, wenn der Beobachtungsabstand über 13 cm und die Beobachtungszeit unter 10 s liegt.

5\* Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

9 DIN EN 60601-2-22 (VDE 0750 Teil 2-22): 1996-12 „Medizinische elektrische Geräte;

#### Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Axel Donges

Fachhochschule u. Berufskollegs NTA

Prof. Dr. Grübler GmbH

Seidenstr. 12–35, 88316 Isny im Allgäu

Tel.: 0 75 62/97 07-0, Fax: 0 75 62/97 07-71

E-Mail: AD@FH-Isny.de



D E N T E K



**DENTEK LD-15**  
**DIODENLASER 810 nm**  
 Von Zahnärzten für Zahnärzte entwickelt

### Einsatzgebiete

Parodontologie (FDA zugelassen)

Endodontie (FDA zugelassen)

Chirurgie (FDA zugelassen)

Überempfindliche Zahnhälse

Implantologie

Aphthen-Herpes

Bio-stimulation

**Bleaching**

Bieten Sie Ihrem Patienten **mehr**  
 Behandlungskomfort und steigern Sie  
 Ihren Anteil an Privatliquidationen.

Erleben Sie den **DENTEK LD-15**  
 in den Laser-Live-Seminaren.



D E N T E K  
 Medical Systems GmbH

Oberneulander Heerstraße 83 F

28355 Bremen

Tel.: 0421/24 28 96 24

info@dentek-lasers.com

Bitte senden Sie mir:

mehr Informationen über den  
 Diodenlaser LD-15

Termine für Laser-Einsteigerkurse

Praxisstempel:

**Fax: 04 21/24 28 96 25**