



**Aktualisierte
Fassung**

01.12.2014

Lasersicherheit in der Medizin

Inhalt

Einleitung	4
Grundlegende Begriffe	5
Überblick der Schutzmaßnahmen	6
Schutzmaßnahmen für die Augen	8
Schutzmaßnahmen für die Haut	12
Schutzmaßnahmen bezüglich Brandgefahr	14
Schutzmaßnahmen bezüglich Rauch	17
Der Laserkontrollbereich	19
Sonstige Gefahren	24
Zusammenfassung	26

Einleitung

Laser werden in der Medizin für zahlreiche Anwendungen eingesetzt: in der Chirurgie, der Dermatologie, der Augenheilkunde, bis hin zur Wundheilungsförderung und viele andere mehr.

Das Besondere an der Laserstrahlung ist, dass die Energie stark konzentriert und berührungslos in das Gewebe eingebracht werden kann. Diese Eigenschaften führen jedoch auch dazu, dass von Lasern eine **Gefahr für Augen und Haut** ausgeht. Zudem besteht bei hohen Leistungsdichten **Brandgefahr**. Diese Gefahren machen es notwendig, dass entsprechende Schutzmaßnahmen eingehalten werden müssen. Die rechtliche Grundlage dafür ist in Österreich das ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG), gemeinsam mit der im Jahr 2010 in Kraft getretenen Verordnung optische Strahlung (VOPST).

Hinweis: Die Informationen in diesem Merkblatt beziehen sich auf den ArbeitnehmerInnenschutz, also auf die Sicherheit und Gesundheit des medizinischen Personals. Die Sicherheit des Patienten liegt in der Verantwortung des Arztes (nach dem Grundsatz der Therapiefreiheit) und wird nicht durch Arbeitnehmer-Schutzmaßnahmen abgedeckt. Zum Teil betreffen die Schutzmaßnahmen – besonders in Bezug auf Verhinderung von Bränden – den Patienten jedoch mehr als das Personal.

Welche Schutzmaßnahmen durch den Arbeitgeber/Betreiber konkret zu realisieren sind, hängt von der Anwendung und den dabei vorliegenden Gefahren ab. Die Gefahren und notwendige Schutzmaßnahmen werden im Rahmen der Evaluierung des Arbeitsplatzes ermittelt¹. Laut VOPST ist die Bewertung der vorliegenden Laserstrahlung von **fachkundigen Personen** durchzuführen. Die Benennung eines „Laserschutzbeauftragten“ ist in der VOPST zwar nicht dezidiert vorgeschrieben, durch die Ausbildung zum Laserschutzbeauftragten (LSB) kann aber die in der VOPST geforderte Fachkunde erlangt werden (siehe auch AUVA Merkblatt M 080). Der LSB unterstützt den Arbeitgeber bei der Einhaltung der gesetzlichen Pflichten für die Arbeitssicherheit und dient als Ansprechpartner und fachkundige Person für:

1 Für spezifische Evaluierungshilfen für medizinische Laseranwendungen siehe www.eval.at

- Beratung des verantwortlichen Betreibers und der Fachkräfte der Arbeitssicherheit
- Mitarbeit bei der Durchführung der Bewertung und Gefahrenanalyse
- Festlegung der Schutzmaßnahmen (Verantwortung verbleibt jedoch beim Arbeitgeber)
- Auswahl der Laserschutzbrillen
- Unterweisung der Mitarbeiter

Die Benennung eines LSB entspricht auch dem internationalen und nationalen Stand der Technik und Normung (ÖNORM 1960825-8, ÖNORM S 1100-1, IEC TR 60825-14). Für Krankenhäuser wird empfohlen, dass in jeder Abteilung/Klinik mit Lasern der Klassen 3R, 3B und 4 ein Arzt die Funktion des „lokalen“ LSB übernimmt. Aufgrund der Verantwortung des Arztes (der nicht nur das Laserhandstück „in der Hand hat“, sondern bildlich gesprochen auch die Sicherheit des Personals) empfiehlt es sich, dass jeder Arzt, der mit chirurgischen Lasern arbeitet, ein Seminar für die Ausbildung zum LSB für Medizin besucht hat.

Grundlegende Begriffe

Zu allgemeinen Informationen über Lasertechnik und Lasersicherheit wird auf das **AUVA Merkblatt M 080** verwiesen, wo insbesondere folgende Themen ausführlicher behandelt werden:

- Eigenschaften der Laserstrahlung
- Größen und Einheiten
- Laserklassen
- Mögliche schädigende Wirkung für Auge und Haut
- Expositionsgrenzwerte
- Schutzbrillen

Überblick der Schutzmaßnahmen

Medizinische Laser der Klasse 4 können eine Gefährdung der Augen und der Haut, sowie eine Brandgefahr darstellen. Diese Gefährdungen machen Schutzmaßnahmen notwendig. Einen Überblick über die Gefährdungen – sowie häufig zutreffende Schutzmaßnahmen bietet die folgende Tabelle:

Gefahr für das Auge	<ul style="list-style-type: none"> ■ Innerhalb des Gefahrenbereichs (NOHD, dieser kann mehrere Meter betragen) ■ bei offenen Anwendungen: Schutzbrillen tragen
Gefahr für die Haut	<ul style="list-style-type: none"> ■ Im Nahbereich des Strahlaustritts ■ Vorsichtiges Arbeiten ■ Reflexionen von OP-Bestecken vermeiden
Brandgefahr²	<ul style="list-style-type: none"> ■ Im Nahbereich des Strahlaustritts <ul style="list-style-type: none"> ◆ Tupfer, Abdeckungen, etc. befeuchten ◆ Keine brennbaren Flüssigkeiten (Desinfektionsmittel) verwenden ◆ Lasersicherer Tubus, Tubus feucht abdecken, besondere Beatmungsverfahren ■ Faser sicher ablegen
Abbrandprodukte	Entstehen Abbrandprodukte, sind diese lokal mit einem speziellen Rauchabsauggerät abzusaugen.
Allgemein	Laser, wenn nicht gelasert wird, in <i>Stand-by</i> schalten

In jedem Fall ist laut ASchG bei Vorliegen einer Gefährdung eine **Unterweisung** notwendig. Jede Person, die bei einer Laseranwendung anwesend ist, muss über die Gefahren und die entsprechenden Schutzmaßnahmen unterwiesen sein.

Eine der wichtigsten praktischen Maßnahmen zur Reduktion der mit Laser verbundenen Risiken ist der *Stand-by*-Betrieb des Lasergerätes. Jeder medizinische Laser muss einen *Stand-by*-Betriebsmodus und einen *Ready*-Betriebsmodus haben (Abb. 1).

² Es sollte (unabhängig vom Laser) beachtet werden, dass das Entflammungsrisiko auch durch ein Endoskopie-Lichtleitkabel hoch ist (Xenonlampe).



Abb. 1: Links – Laser im Stand-by, Rechts – Laser Ready.
 Der Betriebszustand des Lasers wird hier signalisiert durch das Laserwarnlicht (links im Bild) und die grüne bzw. orange Info am Bildschirm rechts oben.

Ist der Laser im *Stand-by*, kann kein Laserstrahl austreten, auch dann nicht, wenn man versehentlich auf den Fußschalter steigt. Es ist eine „Goldene Regel“, den Laser im *Stand-by* zu behalten und erst kurz vor der Laseranwendung – wenn alle Personen Schutzbrillen tragen – auf *Ready* zu schalten. Bei endoskopischer Verwendung sollte es ebenso selbstverständlich sein, dass erst dann auf *Ready* geschaltet wird, wenn sich der Arzt vergewissert hat, dass sich das Faserende in der gewünschten Position befindet. Nach der Laserbehandlung oder während einer Unterbrechung der Laserbehandlung ist wieder auf *Stand-by* zu schalten. Diese einfache Regel verhindert unkontrollierte Emission von Laserstrahlung und vermindert das Risiko sowohl für das Personal als auch für den Patienten.

Goldene Regel: Laser im *Stand-by*!

Schutzmaßnahmen für die Augen

Das größte Risiko bei medizinischen Laseranwendungen ist die Verletzung der Augen. Je nach Wellenlänge der Laserstrahlung können die Netzhaut des Auges (Abb. 2) oder die vorderen Augenmedien betroffen sein. Eine Schädigung der Augen ist permanent und geht meistens mit einer drastischen Beeinträchtigung des Sehvermögens einher.

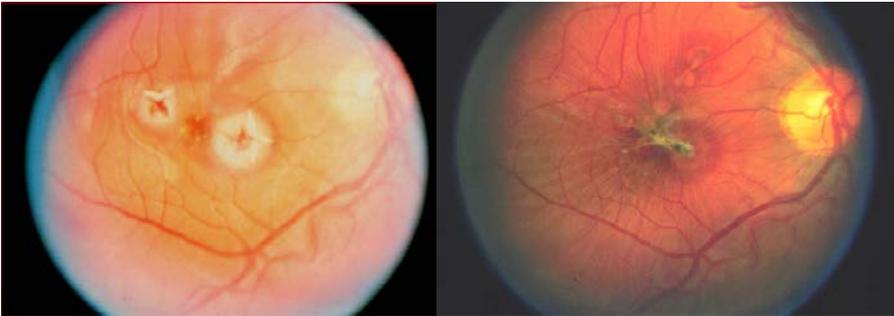


Abb. 2: Aufnahme eines laser-induzierten Netzhautschadens; links nach vier Tagen, rechts nach zwei Monaten. Nach zwei Monaten sind die beiden Lasereinschüsse vernarbt. Rechts oben ist der blinde Fleck (=Sehnervenausgang) zu sehen. Mit freundlicher Genehmigung Bruce Stuck.

Praktisch alle medizinisch-therapeutischen Lasergeräte gehören der Lasersicherheits-Klasse 3B oder Klasse 4 an. Laser der Klasse 3B und 4 emittieren Strahlungsleistungen, die über den Augen-Expositionsgrenzwerten der VOPST liegen. Der Bereich, in dem der Expositionsgrenzwert überschritten wird, stellt den Gefahrenbereich dar. Der Gefahrenbereich berücksichtigt auch mögliche Spiegelungen des Strahls, und ist deshalb kugelförmig um die Strahlaustrittsöffnung angeordnet. Wie groß der Gefahrenbereich ist, hängt von der Leistung des Lasers und der Strahldivergenz ab. Bei größerer Strahldivergenz wird der Gefahrenbereich kleiner (Abb. 3). Bei Fasern bzw. durch die Fokussierlinse im Handstück ist die Divergenz bei fast allen medizinischen Anwendungen relativ groß. Der Gefahrenbereich für die Augen kann je nach Laser im Bereich zwischen 20 cm und etwa 20 m liegen.

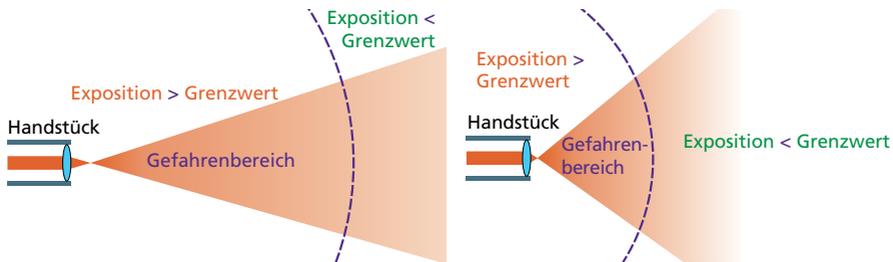


Abb. 3: Der Gefahrenbereich hängt von der Strahldivergenz ab, und schließt Reflexionen mit ein.

Auch bei gewissenhafter und sorgfältiger Anwendung kann eine Bestrahlung der Augen des Personals, z.B. durch Reflexion, nicht ausgeschlossen werden. Besonders im **Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 1400 nm**, in dem die Laserstrahlung durch die vorderen Augenmedien auf einen kleinen Punkt auf die Netzhaut fokussiert wird, reichen schon sehr geringe Leistungsdichten aus, um die Netzhaut zu schädigen. Aufgrund des hohen Risikos für eine permanente und gravierende Schädigung der Augen sind **im Gefahrenbereich Laserschutzbrillen** zu tragen. Im Normalfall wird der gesamte Behandlungsraum als Bereich definiert, in dem Laserschutzbrillen zu tragen sind – dieser Bereich wird dann Laser-Kontrollbereich genannt (siehe eigenen Abschnitt unten). Die Schutzbrillen sind aufzusetzen, bevor der Laser vom „Stand-by“ in den „Ready“-Modus geschaltet wird (siehe goldene Regel oben).

Im gesamten Gefahrenbereich Laserschutzbrillen tragen!

Wesentliche Grundregeln bezüglich Schutzbrillen (für die Norm-Kennzeichnung von Laserschutzbrillen siehe Merkblatt M 080):

- Es ist wichtig zu wissen, dass eine Laserschutzbrille nur für einen ganz bestimmten Wellenlängenbereich schützt und deswegen nur für bestimmte Lasertypen geeignet ist. Es ist daher darauf zu achten, dass für jeden Laser die richtige Schutzbrille verwendet wird.
- Wenn mehrere Laser mit verschiedenen Wellenlängen in Gebrauch sind, sollte vorrangig eine Schutzbrille verwendet werden, die für alle verwendeten

Laser geeignet ist. Sind solche Brillen nicht verfügbar, können korrespondierende Farbpunkte oder andere Markierungen am Laser und auf den dazu passenden Brillen helfen, Verwechslungen zu vermeiden.

- Vor dem Aufsetzen ist zu kontrollieren, dass es die richtige Brille ist, und dass die Schutzfilter nicht beschädigt sind.

Eine Ausnahme von der generellen Schutzbrillentragepflicht sind videoendoskopische und interstitielle Anwendungen, bei denen sich das Faserende im Körper befindet: in diesem Fall ist ein Tragen von Schutzbrillen nicht notwendig, da keine Laserstrahlung austreten kann. Die Faser ist dabei so zu verlegen, dass ein Herausreißen und Abknicken der Faser (was zum Faserbruch führen kann) verhindert wird, was auch alleine schon für die Sicherheit des Patienten notwendig ist. Dies bedeutet z.B., dass der Laser direkt neben dem OP-Tisch zu positionieren ist, sodass ein Durchgehen zwischen Laser und OP-Tisch nicht möglich ist. Für die sichere Verlegung der Faser kann man Klett-Klebebänder verwenden. Auch hier ist das allgemeine Prinzip „Laser, wann immer möglich, im Stand-by-Modus“ von zentraler Bedeutung! Werden alle diese Regeln eingehalten, kann das Ergebnis einer Gefahrenbeurteilung sein, dass die Expositionsgrenzwerte der VOPST nicht überschritten werden können, und daher keine Laserschutzbrillen getragen werden müssen. Es ist aber im Ermessen des Arztes und auch in den Sicherheitshinweisen des Geräteherstellers, dass Schutzbrillen auch bei endoskopischen und interstitiellen Anwendungen getragen werden.

Bei direkter endoskopischer Beobachtung ist das Auge des Arztes gefährdet! Daher ist bei endoskopischen Operationen **Videoendoskopie obligatorisch**; ist die Verwendung eines Videoendoskops nicht möglich, muss der Arzt Schutzbrillen tragen, oder es ist ein Laserschutzfilter am Endoskop anzubringen.

Bei Laseranwendungen in der Augenheilkunde müssen die Optiken in den Spaltlampen und Mikroskopen einen entsprechenden Laserschutzfilter enthalten. Der Arzt an der Spaltlampe oder am Mikroskop muss keine Schutzbrille tragen; sollte für einen Assistenten nur ein Mono-Okular zur Verfügung stehen, muss der Assistent eine Schutzbrille tragen. Bei auswechselbaren Schutzfiltern ist auch hier auf die Wellenlänge des Lasers und die Spezifikation des Schutzfilters zu achten.

Neben dem eigentlichen Laserstrahl für die Behandlung (dem Arbeitslaser) darf der **Ziellaser** (Abb. 4) nicht außer Acht gelassen werden. Der Ziellaser – auch Pilotlaser genannt – kann Leistungen bis zu 5 mW haben. Diese Leistung liegt über dem Expositionsgrenzwert für die Bestrahlung des Auges, der 1 mW beträgt. Es ist daher durch eine entsprechende vorsichtige Handhabung des Handstücks oder der Faser dafür zu sorgen, dass es zu keiner Augenbestrahlung mit dem Ziellaser kommt. Wenn dies gewährleistet ist, sind für den Ziellaser keine eigenen Schutzbrillen notwendig.



© Larry Mulvehill/Corbis

Abb. 4: Der Ziellaser kann Leistungen bis zu 5 mW aufweisen.

Es sei noch angeführt, dass Er:YAG- und Ho:YAG-Laser leider manchmal als „augensicher“ vermarktet werden, mit der Implikation, dass man keine Schutzbrillen tragen muss, obwohl es Klasse 4-Geräte sind. Dies ist irreführend: Es ist zwar korrekt, dass das Risiko bei diesen Lasern, deren Wellenlänge über 1400 nm liegt und daher die Strahlung in der Hornhaut absorbiert wird, geringer ist, als bei Lasern mit Wellenlängen unter 1400 nm, deren Strahlung auf die Netzhaut fokussiert wird. Jedoch kann jeder Laser, der zur „Bearbeitung“ von Gewebe des Patienten verwendet wird, in gleicher Weise auch die Hornhaut schädigen. Nur aufgrund der Wellenlänge alleine sind keine Klasse 4-Lasergeräte „augensicher“. Bei ausreichender Bestrahlungsstärke (also je nach Entfernung) sind alle Klasse 3B und Klasse 4 Lasergeräte für das Auge gefährlich.

Schutzmaßnahmen für die Haut

Laser der Klasse 4 können zu Verbrennungen der Haut führen. Der Gefahrenbereich für die Verletzung der Haut ist jedoch bei medizinischen Lasern relativ klein und beschränkt sich auf den Nahbereich um die Strahlaustrittsöffnung. Ein spezieller Laserschutzhandschuh ist nicht notwendig und derzeit am Markt auch für medizinische Anwendungen nicht verfügbar – **es gilt, den Laserstrahl entsprechend vorsichtig zu handhaben.**

Ist es notwendig, die Finger in unmittelbarer Strahlnähe zu halten, kann man zum Schutz der Finger feuchte Zwirnhandschuhe tragen.

Achtung auf Reflexion von Bestecken! Bei der Verwendung von Operationsbesteck (Abb. 5) ist zu berücksichtigen, dass metallische Oberflächen die Laserstrahlung reflektieren, und dadurch die Finger des Arztes (sowie auch Gewebe des Patienten) vom umgelenkten Strahl unkontrolliert getroffen werden können. Es wird daher empfohlen, möglichst OP-Besteck mit konvexen Oberflächen, die kleine Krümmungsradien haben, zu verwenden.

Bei Laser im sichtbaren Wellenlängenbereich und im nahen Infrarotbereich bis ca. 3 μm Wellenlänge, kann man auch mattiertes OP-Besteck verwenden. In diesen Wellenlängenbereich fallen Farbstofflaser, Nd:YAG, Ho:YAG und Er:YAG-Laser.

Die Wellenlänge des CO₂-Lasers liegt im fernen Infrarot. Eine für uns matt erscheinende Oberfläche ist für die CO₂-Laserstrahlung trotzdem spiegelnd. Für die Vermeidung einer Spiegelung wäre eine hohe Oberflächenrauheit notwendig, welche aber hygienisch bedenklich ist.

Geschwärzte Bestecke werden nicht empfohlen, da sich schwarzes OP-Besteck bei Bestrahlung stark erhitzt. Generell gilt – auch bei matten und konvexen Oberflächen – dass der Strahl gewissenhaft geführt werden muss – sowohl zum Schutz des Patienten wie auch zur Vermeidung von Verbrennungen des Arztes und des Personals in der Nähe der Strahlaustrittsöffnung.



Abb. 5: Spreizspekulum mattiert mit Rauchabsaugkanal

Im Zusammenhang mit der Vermeidung von unkontrollierten Expositionen und Reflexionen und zur Überprüfung der Strahlqualität ist es hilfreich, vor der Behandlung einen Probeschuss auf einen feuchten Holzspatel oder bei geringen Leistungen auf Millimeterpapier abzugeben, um sicherzustellen, dass der Fleck des Ziellasers mit der Position des Arbeitsstrahls übereinstimmt.

Bei Strahlführung durch Fasern sollte (im *Stand-By*-Betrieb) der Zielstrahl auf Homogenität kontrolliert werden. Ebenso ist zu überprüfen, dass dieser nicht seitlich aus der Faser austritt, ein Hinweis auf einen unbemerkten Faserbruch.

Schutzmaßnahmen bezüglich Brandgefahr

Laser der Klasse 4 können **brennbare Materialien entzünden** (Abb. 6), wie zum Beispiel Bekleidung, Abdecktücher, Hauben und alkoholhaltige Flüssigkeiten. Den Laserstrahl daher nie auf brennbare Materialien richten! Tupfer, Abdecktücher u.ä., die in der Nähe des Laserstrahls verwendet werden, anfeuchten!

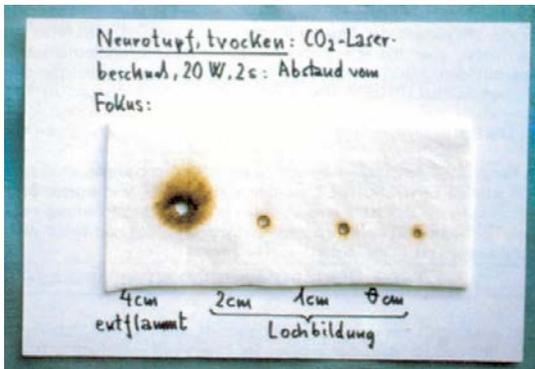


Abb.6: Ergebnisse von Beschüssen eines trockenen Neurotupfers mit einem CO₂ Laser

In unmittelbarer Nähe der Laseranwendung dürfen keine alkoholhaltigen oder brennbaren Flüssigkeiten verwendet werden³. Es ist aber nicht notwendig, weiter entfernte Behälter mit Desinfektionsmittel oder sonstigen brennbaren Flüssigkeiten aus dem Raum zu entfernen (siehe Gefahrenbereich und Gefährdung für die Haut).

Bei manchen Anwendungen wird das Faserende bewusst verkohlt, damit die Laserstrahlung vollständig am Faserende absorbiert wird und sich aufheizt. Dies führt zu einem Schneideffekt vergleichbar mit dem CO₂-Laser. Sollte das Faserende nicht sicher abgelegt werden und es zu einer versehentlichen Auslösung des Lasers kommen, können auch Materialien entflammt werden, die sonst aufgrund geringer Absorption nicht entflammen würden.

³ Betaisodona-Lösung® ist z.B. „lasertauglich“

Für den Fall, dass es zu einem Brand von Tupfern, Bekleidung, Abdeckungen o.ä. kommt, als erste Löschhilfe eine große Spritze mit sterilem Wasser oder Kochsalzlösung bereitliegen.

Eine besondere Gefahr geht von einem **Endotrachealtubus** im Bereich der Laserstrahlung aus, da es aufgrund des hohen Sauerstoffgehaltes im Tubus zu explosionsartigen Verbrennungsvorgängen und zu Stichflammen kommen kann. Die Hauptgefährdung betrifft hier den Patienten. In jenen Fällen, wo es zu einem Tubusbrand kam (Abb. 7, 8), hat der Patient schwerste innere Verbrennungen mit meist letaler Folge erlitten.



Abb. 7: Gummitubus gefüllt mit 100 % Sauerstoff; Fotos mit freundlicher Genehmigung von Dr. Wolfgang Wöllmer, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf.



Abb. 8: Tuben nach Brand; links PVC, rechts Silikon; Fotos mit freundlicher Genehmigung von Dr. Wolfgang Wöllmer, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf.

Wird in der Nähe des Tubus` gelasert, ist daher spezielle Vorsicht vonnöten:
So wie generell bei endoskopischen Eingriffen gilt hier ganz besonders: – **nur lasern, wenn das Ende der Faser oder des Handstückes sowie der Zielstrahl im Sichtfeld sind!**

Es gibt spezielle laserresistente Tuben, die metallisch beschichtet sind oder bei denen die Umhüllung befeuchtet wird. Achtung: die Blockmanschette ist dabei nicht laserresistent!

Schutzmaßnahmen bezüglich Rauch

Bei vielen Laseranwendungen wird Gewebe verdampft oder ablatiert. Der entstehende Rauch und Aerosole sind aus mehreren Gründen abzusaugen:

- Um den Gehalt an toxischen und möglicherweise infektiösen Partikeln in der Luft zu minimieren,
- Zur Vermeidung von Geruchsbelästigung
- Um die Sicht auf die Einwirkstelle frei zu haben.

Die normale OP-Lüftungsanlage ist für die Absaugung von lasergenerierten Rauchgasen nicht geeignet. Es gibt dafür spezielle Absauggeräte, die für eine lokale Absaugung eingesetzt werden und Hochleistungsfilter eingebaut haben. Die Filter in den Geräten sind gemäß den Herstellerangaben regelmäßig zu wechseln.

Eine spezielle Laser-OP Maske – durch die man schwerer atmet als durch eine normale OP-Maske – ist bei guter Absaugung im Normalfall nicht notwendig, und schützt auch nicht vor Viren. Zur Frage der Laserbehandlung von viren- oder bakterienbefallenem Gewebe, wie z.B. Feigwarzen (HPV) oder von TBC-Patienten und des Risikos von infektiösen Abtragungsprodukten in der Luft sei betont, dass von einer Behandlung mit gepulsten Lasern, also z.B. mit einem Er:YAG-Laser oder Ho:YAG-Laser, abgeraten wird, weil einerseits zu geringe Temperaturen entstehen und daher die Viren infektiös bleiben können, und andererseits die Abtragungsprodukte mit einer höheren Geschwindigkeit emittiert werden und damit schwieriger abgesaugt werden können (Risiko auch einer HPV-„Verteilung“ beim Patienten). Bei Verwendung eines kontinuierlich emittierenden Lasers kann davon ausgegangen werden, dass Viren und Bakterien durch die hohe Temperatur größtenteils nicht mehr infektiös sind.

Die Literatur ist bezüglich der Infektionsfähigkeit von Abbrandprodukten nicht eindeutig. Das Risiko bei guter Absaugung und Verwendung von kontinuierlich emittierenden Lasern erscheint jedoch gering genug, um rechtfertigen zu können, dass keine speziellen Atemschutzmasken verwendet werden müssen. Wichtig ist aber, dass die Masken dicht an die Gesichtshaut anschließen und nicht locker getragen werden. Bei Behandlung von Patienten mit Tuberkulose

oder HIV-Infektion bzw. von HPV-infiziertem Gewebe kann natürlich auf Basis einer Gefährdungsanalyse entschieden werden, anstatt der normalen OP-Masken sogenannte FFP3-Masken als persönliche Schutzausrüstung zu verwenden. Achtung: Um die Patientensicherheit zu gewährleisten, dürfen keine FFP3-Masken mit normalem Ausatemventil verwendet werden, sondern nur solche, die ein abgedecktes Ausatemventil haben (Abb. 9).

Infektiöses Gewebe nur mit kontinuierlich emittierenden Lasern (cw) behandeln!



Abb. 9: Atemschutzmaske FFP3 mit abgedecktem Ausatemventil

Der Laserkontrollbereich

Der Bereich um den Laser, in dem die Expositionsgrenzwerte für die Augen überschritten werden können, ist – wie oben besprochen – der Lasergefahrenbereich. Dieser kann größer oder kleiner als der Behandlungsraum sein. Üblicherweise wird der Einfachheit halber der ganze Behandlungsraum als Kontrollbereich definiert und dessen Zugänge sind zu kennzeichnen (Abb. 10).

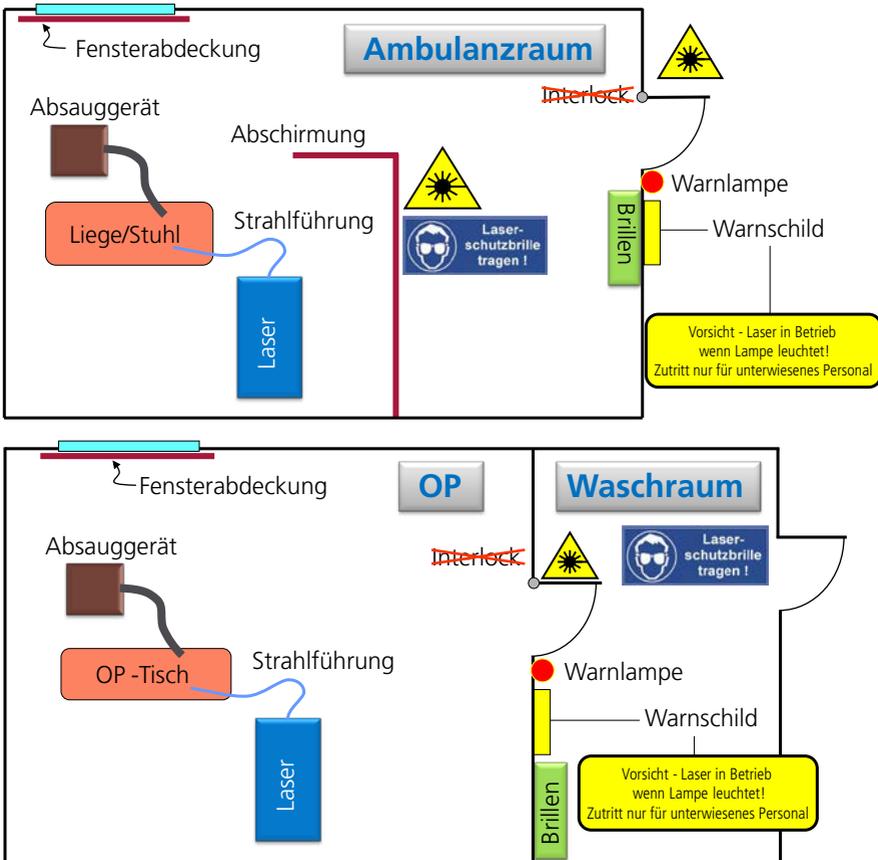


Abb. 10: Beispiele für bauliche Maßnahmen für die Errichtung von Laserkontrollbereichen.

Warnschilder und Warnleuchten

Bei einer Laseranwendung sind an den Zugängen zum Kontrollbereich die folgenden Warn- und Gebotsschilder gut sichtbar anzubringen:

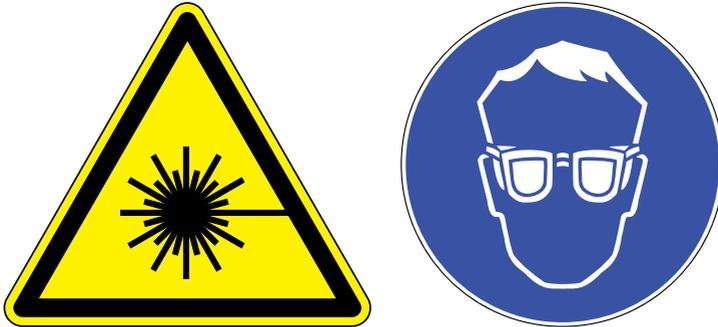


Abb. 11: Laserwarndreieck und Gebotsschild „Augenschutz tragen“

- Laserwarndreieck (gelb)
 - Gebotsschild „Augenschutz tragen“ (blau)
 - Anweisung bezüglich Zutritts nur für befugte bzw. unterwiesene Personen
- Bei Klasse 4-Lasern sind gemäß ONR 1960825-8 zusätzliche Warnleuchten anzubringen, bei Klasse 3B-Lasern werden sie empfohlen. Typischerweise haben die Warnleuchten eine gelbe Lampe, welche vor jedem Zugang zum Laserkontrollbereich angebracht ist. Diese sollte nur eingeschaltet sein, wenn das Lasergerät in Verwendung ist, also bereits im Stand-By-Betrieb. Außerdem sollten die Warnleuchten in Augenhöhe angebracht werden, ausfallsicher oder redundant sein und in regelmäßigen Zeitintervallen überprüft werden. Es kann auch ein hintergrundbeleuchtetes Warnschild mit einer Beschriftung wie bspw. „Vorsicht – Laser in Verwendung“ installiert werden. Die Beschriftung darf aber in diesem Fall bei ausgeschalteter Lampe nicht sichtbar sein. Zu bevorzugen ist eine automatische Aktivierung; zum Beispiel im Sicherheitsstromkreis an den Anschlüssen für den Laserinterlock oder mittels stromüberwachten oder schaltbaren Lasersteckdosen. Auch manuell aktivierte, leuchtende Warnschilder sind möglich, dabei muss aber das Einschalten, z.B. mit Hilfe einer Checkliste oder einer SOP⁴, gewährleistet sein.

⁴ Standard Operating Procedure (Arbeitsanweisung)

Bei Laser-Anwendungen mit geringer Gefährdung und kleinem Gefahrenbereich, z.B. bei Low Level Laser Therapie (LLLT), genügen herkömmliche Warnschilder (d.h. Warnleuchten oder hintergrundbeleuchtete Warnschilder sind hier nicht notwendig).



Abb. 12: Varianten von Warnleuchten

Fensterabdeckung

Wenn sich Fenster im Gefahrenbereich befinden, und sich hinter den Fenstern Personen aufhalten können, sind diese abzudecken. Dadurch wird der Kontrollbereich auf den Anwendungsraum eingeschränkt. Herkömmliche Jalousien schließen nicht zuverlässig und sind daher im Normalfall nicht geeignet. Für Laserstrahlen des CO₂- und Er:YAG-Lasers ist Fensterglas undurchlässig, und eine Abdeckung der Fenster ist nicht notwendig.

Spiegelnde Flächen

Da zum Schutz vor Laserstrahlung - ob direkt oder reflektiert - alle Personen im Kontrollbereich Laserschutzbrillen tragen müssen, sind sie somit nicht nur vor unkontrollierter direkter sondern auch vor reflektierter Strahlung geschützt. Durch etwaige Reflexionen von Spiegeln an den Wänden ergibt sich daher keine zusätzliche Gefährdung. Spiegel oder spiegelnde Oberflächen im Raum müssen daher im Behandlungsraum nicht abgedeckt werden. Auch reflektionsarme Fliesen sind nicht notwendig.

Interlock-Anschluss des Lasers

Medizinisch/chirurgische Lasergeräte müssen einen Anschluss für eine fernbedienbare Sicherheitsverriegelung (Interlock) aufweisen. Dieser Anschluss ist dafür vorgesehen, mit einem Kontaktschalter verbunden zu werden, der bei Öffnen des Kontaktes die Laseremission unterbindet. Dies wird z.B. bei industriellen Anlagen dazu verwendet, um Zugänge, Klappen und dgl., die während des Betriebes geöffnet werden können, abzusichern. Im medizinischen Bereich ist die Verwendung des Interlock-Anschlusses in Verbindung mit Kontakten an den Zugängen zum Laserbereich nicht üblich, da beim Öffnen des Kontaktes während der medizinischen Anwendung (und Ausfall des Lasers) die Gefahr für den Patienten zu groß ist.

Der Interlock-Anschluss kann jedoch verwendet werden, um das Einschalten der Warnleuchte vor der Türe sicherzustellen: Am Laser-Interlock-Anschluss wird ein Kabel mit einem Stecker angebracht, bei dem die Kontakte offen sind, der Laser also nicht emittieren kann. Im Laseranwendungsraum befindet sich eine zum Stecker passende Buchse (z.B. neben der eigentlichen Steckdose für das Lasergerät), die mit einem händisch zu bedienenden Schalter für die Warnleuchte an der Tür gekoppelt ist (Abb. 13). Sobald der Warnlicht-Schalter eingeschaltet wird, ist der Interlock-Kontakt des Lasers geschlossen und erst dann kann Laserstrahlung abgegeben werden. Damit ist sichergestellt, dass das Warnlicht eingeschaltet wurde, wenn man den Laser verwendet.

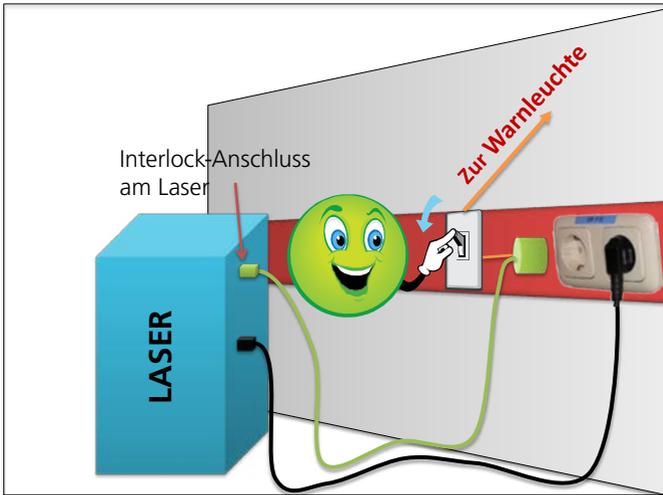


Abb. 13: Der Interlock-Anschluss des Lasergerätes wird mit einem Schalter verbunden, der sowohl den Laser-Interlock schließt, wie auch die Warnleuchte bei der Türe einschaltet.

Schlüssel am Gerät

Lasengeräte der Klasse 3B und 4 müssen einen Schlüsselschalter aufweisen. Das Abziehen des Schlüssels und sichere Verwahrung des Schlüssels hilft, die Inbetriebnahme des Lasergerätes durch unbefugte Personen zu verhindern.

Wird das Lasergerät in allgemein zugänglichen Räumen verwahrt, wird im Normalfall als organisatorische Schutzmaßnahme festzulegen sein, dass der Schlüssel abgezogen und sicher an einem wohl definierten Ort verwahrt wird.

Bei Spitälern und in Arztpraxen kann man jedoch bei Verwahrung des Lasergerätes im OP-Bereich oder in Ambulanzzräumen im Rahmen der Risikoanalyse berücksichtigen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Inbetriebnahme des Lasergerätes durch unbefugte Personen gering ist. Nur in diesem Fall kann man den Schlüssel am Gerät stecken lassen.

Sonstige Gefahren

In **speziellen Fällen** können sich **zusätzliche Gefahren** ergeben:

Farbstoff-Laser

Die im Farbstofflaser (engl.: dye laser) verwendeten Farbstoffe sind häufig toxisch. Farbstofflaser werden z. B. in der Dermatologie verwendet, um Laserstrahlung im gelben Wellenlängenbereich zu erzeugen (meistens 585 nm, Farbstoff Rhodamin 6G). Bei Farbstofflasern werden Farbstoffe in wässrigen oder organischen Lösungen als Lasermedium verwendet, die regelmäßig erneuert werden müssen. Es sind die Sicherheitsanweisungen des Laserherstellers bzw. des Farbstoffherstellers zu beachten.

Excimer-Laser

Excimer-Laser sind mit gefährlichem Chlor- oder Fluorgas gefüllt. Excimer-Laser (z.B. ArF-Füllung, Wellenlänge 193 nm) werden regelmäßig in der Augenheilkunde (refraktive Keratektomie, LASIK) sowie in manchen (seltenen) chirurgischen Anwendungen (Angioplastie, XeCl Füllung, 308 nm) verwendet.

Die Gasfüllung in Excimer-Lasern muss regelmäßig ausgetauscht bzw. nachgefüllt werden. Dies geschieht bei modernen medizinischen Lasern automatisch und in einem geschlossenen System, die auch bei der Erneuerung der Behälter keine Gefahr für einen Austritt von Gasen darstellen. Bei Systemen, bei denen konventionelle vorgemischte Gasflaschen (Gas-Premix mit z. B. 3,7% Fluor) verwendet werden, ist auf die Dichtheit der Verbindungen zu achten. Beim Tausch der Flaschen sind die Angaben der Hersteller zu berücksichtigen. Die Gasflaschen sind vor Umfallen zu sichern und in speziellen, nach außen entlüfteten und gasdichten Schränken aufzubewahren.

Elektrische Gefahren

Im Normalfall sind elektrische Gefahren für den Anwender nur bei Beschädigung des Lasergerätes oder eines Kabels relevant. Vorsicht beim Service, wenn das Gerät geöffnet ist – Lebensgefahr!

Lärm

Bei der Anwendung von manchen gepulsten Lasern, besonders Er:YAG Laser, können durch den Laser gemeinsam mit der Gewebeabtragung Schallpegel entstehen, die einen Gehörschutz notwendig machen (Gefährdungsbeurteilung gemäß VOLV).

Zusammenfassung

Lasers sind ein in der Medizin seit vielen Jahren eingesetztes und bewährtes Werkzeug. Die Gefahren sind durch Schutzmaßnahmen beherrschbar, wobei die kontrollierte Abgabe der Laserstrahlung durch den Arzt eine wichtige Basis für die Sicherheit aller Personen im Laserkontrollbereich darstellt.

Die wichtigsten Schutzmaßnahmen für die Anwendung von Lasern in der Medizin sind:

- Regelmäßige **Unterweisung** aller Personen im Laserkontrollbereich
- Die für den jeweiligen Laser und die verwendeten Laserparameter geeignete **Laserschutzbrille tragen** – „Kein Laser ohne Gläser“ – Ausnahmen sind endoskopische oder interstitielle Anwendungen bei sicher verlegter Faser
- Wenn immer möglich, Laser in den **Stand-by-Betrieb** schalten
- Die **Verbrennung der Haut** ist in der Nähe der Strahlaustrittsöffnung möglich und muss durch vorsichtigen Umgang verhindert werden
- Nicht auf Instrumente (OP-Besteck) lasern
- Der Laseranwendungsraum ist i. d. R. auch der **Laserkontrollbereich**; Zugänge müssen gekennzeichnet und geschlossen werden
- In der Nähe der Strahlaustrittsöffnung die **Brandgefahr** bei alkoholischen Flüssigkeiten, Tupfern, Abdeckungen, Hauben und Tuben beachten
- Rauch mit geeigneten Rauchabsauggeräten **absaugen und filtern**

Ergänzende Dokumente

- AUVA-Merkblatt M 080: Grundlagen der Lasersicherheit
- VOPST: Verordnung optische Strahlung
- VOLV: Verordnung Lärm und Vibrationen
- ÖNORM S1 100-1: Laserschutzbeauftragter – Teil 1: Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten
- AUVA-Merkblatt M 719: Atemschutzfilter gegen Gase, Dämpfe und Schwebstoffe
- ONR 1960825-8: Richtlinien für die sichere Anwendung von medizinischen Lasergeräten
- ÖVE/ÖNORM EN 60601-2-22: Medizinische elektrische Geräte – Teil 2-22: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale für chirurgische, therapeutische und diagnostische Lasergeräte

Diese Broschüre entstand im Rahmen des AUVA-Projektes ELAS in Zusammenarbeit von



und



Ansprechpartner

DI Domenic Fromme

Tel.: +43 5 93 93-21770

E-Mail: domenic.fromme@auva.at

DI Dr. Emmerich Kitz

Tel.: +43 5 93 93-21771

E-Mail: emmerich.kitz@auva.at

Dr. Karl Schulmeister

Laser, LED & Lampensicherheit

Seibersdorf Labor GmbH

Tel.: +43 50 550-2533

E-Mail: karl.schulmeister@seibersdorf-laboratories.at

Dr. Georg Veas

Laser, LED & Lampensicherheit

Seibersdorf Labor GmbH

Tel.: +43 50 550-2531

E-Mail: georg.veas@seibersdorf-laboratories.at

Danksagung

Unser Dank gilt

Prof. Berlien, Evangelische Elisabeth Klinik, Berlin
für die zahlreichen Eingaben und kritische Durchsicht.

LKH-Univ. Klinikum Graz und **Klinikum Klagenfurt am Wörthersee**
für Interviews über Lasersicherheit in der Anwendung.

Lasersicherheit in der Medizin

Bitte wenden Sie sich in allen Fragen des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit bei der Arbeit an den Unfallverhütungsdienst der für Sie zuständigen AUVA-Landesstelle:

Oberösterreich:

UVD der Landesstelle Linz
Garnisonstraße 5
4010 Linz
Telefon +43 5 93 93-32701

Salzburg, Tirol und Vorarlberg:

UVD der Landesstelle Salzburg
Dr.-Franz-Rehrl-Platz 5
5010 Salzburg
Telefon +43 5 93 93-34701

UVD der Außenstelle Innsbruck
Ing.-Etzel-Straße 17
6020 Innsbruck
Telefon +43 5 93 93-34837

UVD der Außenstelle Dornbirn
Eisengasse 12
6850 Dornbirn
Telefon +43 5 93 93-34932

Steiermark und Kärnten:

UVD der Landesstelle Graz
Göstinger Straße 26
8020 Graz
Telefon +43 5 93 93-33701

UVD der Außenstelle Klagenfurt
Waidmannsdorfer Straße 42
9020 Klagenfurt am Wörthersee
Telefon +43 5 93 93-33830

Wien, Niederösterreich und Burgenland:

UVD der Landesstelle Wien
Webergasse 4
1200 Wien
Telefon +43 5 93 93-31701

UVD der Außenstelle St. Pölten
Kremser Landstraße 8
3100 St. Pölten
Telefon +43 5 93 93-31828

UVD der Außenstelle Oberwart
Hauptplatz 11
7400 Oberwart
Telefon +43 5 93 93-31901

Medieninhaber und Hersteller:
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt,
Adalbert-Stifter-Straße 65, 1200 Wien
Verlags- und Herstellungsort: Wien
Coverfoto: © Larry Mulvehill/Corbis