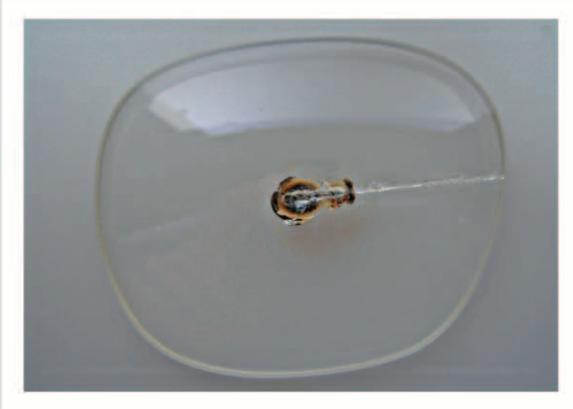




**Diese Schutzfilter haben ihre Schuldigkeit getan  
Sie haben Laserstrahlung erfolgreich abgewehrt**



**CO<sub>2</sub>-Laser 30 Watt**



**Nd:YAG-Laser 50 Watt**



**Offenhäuser + Berger GmbH**

Krumme Straße 25

89518 Heidenheim

Tel.: (07321) 48061 5

Fax: (07321) 48061 6

E-Mail: [info@offenhaeuser-berger.de](mailto:info@offenhaeuser-berger.de)

*Wir fühlen den Schmerz, aber nicht die Schmerzlosigkeit;  
wir fühlen die Sorge, aber nicht die Sorglosigkeit;  
die Furcht, aber nicht die Sicherheit.*

Arthur Schopenhauer

# Typische Lasergefahren in der Medizin

## Laserstrahlung, Wirkung und Anwendung

*Laserstrahlung ist gerichtete elektromagnetische Strahlung. Sie kann räumlich und zeitlich hochgradig geordnet sein. Das Spektrum reicht vom Ultravioletten über den sichtbaren Bereich bis ins Ferne Infrarot.*

Laserstrahlung hat für medizinische Anwendungen im Vergleich zu Strahlung aus herkömmlichen Quellen einige günstige Eigenschaften:

- Man kann sie auf sehr viel kleinere Flächen fokussieren als beispielsweise Sonnenlicht und damit an sehr kleinen Strukturen arbeiten.
- Durch die scharf begrenzbare Wellenlänge können in der Wechselwirkung mit Gewebe besondere Effekte erzielt werden.
- Die hohe zeitliche und räumliche Ordnung erlaubt berührungslose Messungen mit sehr großer Präzision.

Die Anwendungen unterscheidet man nach Mechanismen, die bei der Wechselwirkung der Laserstrahlung mit Materie auftreten:

- Die thermische Wirkung beruht auf der Umwandlung der absorbierten Laserstrahlung in Wärme. In der Medizin erlaubt dies beispielsweise Koagulation und Vaporisation von Gewebe.
- Die chemische Wirkung beruht darauf, dass die Laserstrahlung chemische Reaktionen im Gewebe auslöst. Dies wird beispielsweise in der Photodynamischen Therapie ausgenutzt.
- Die diagnostische Wirkung beruht auf der wellenlängenspezifischen Streuung der Laserstrahlung im Gewebe.

Da Laserstrahlung Gewebe verändern kann, ist sie natürlich auch potentiell gefährlich, in erster Linie für das Auge. Die Gefährdung durch Laserstrahlung hängt hauptsächlich von deren Bestrahlungsstärke ab. Darunter versteht man die Leistung oder Energie der Strahlung bezogen auf die beaufschlagte Fläche. Auch der bewusste Blick in die Sonne ist nicht unbedenklich, aber die Bestrahlungsstärke von Laserstrahlung ist häufig um Größenordnungen höher. Deshalb ist bei der Arbeit mit vielen medizinischen Laseranwendungen das Tragen einer Laserschutzbrille erforderlich.

### Risikobewertung verschiedener Laseranwendungen

Bei rein divergenter Strahlung nimmt die Bestrahlungsstärke mit zunehmender Entfernung ab und ist dadurch weniger gefährlich. Dies ist zum Beispiel bei Laseranwendungen mit blanker Faser der Fall. Die Strahlung wird kegelförmig mit einem Öffnungswinkel bis zu einigen  $10^\circ$  abgegeben. Nach wenigen Millimetern ist die Bestrahlungsstärke oft auf einen Bruchteil des Ausgangswertes abgesunken. Ähnlich zu bewerten sind Sonden mit divergenter Abstrahlung, wie sie in der Lasertherapie der Prostata und bei der Photodynamischen Therapie verwendet werden.

Bei fokussierter Strahlung nimmt die Bestrahlungsstärke bis zum Fokus zu. Dahinter ist der Strahlverlauf divergent, so dass die Gefährdung mit zunehmender Entfernung wieder abnimmt. Es entsteht ein doppelkegelförmiger Strahlverlauf, dessen Öffnungswinkel von der Brennweite der Fokussierlinse abhängt. Ein Beispiel hierfür sind Handstücke, deren Divergenz meist wesentlich kleiner als  $10^\circ$  ist. Die Gefährdung steigt mit der Brennweite an. Betroffen sind mindestens alle Mitarbeiter in der Umgebung der Anwendung.

Am gefährlichsten ist die Arbeit mit Lasern, die über einen Mikromanipulator mit einem Operationsmikroskop gekoppelt sind. Der Strahlverlauf entspricht dem Handstück. Dabei liegen die Brennweiten aber meist bei mehreren 100 mm, so dass ein Doppelkegel mit sehr kleinem Öffnungswinkel entsteht und sich die Bestrahlungsstärke auch über größere Entfernung nicht wesentlich ändert. Da bei solchen Anwendungen normalerweise ein Schutzfilter in das Mikroskop eingebaut ist, trifft die Gefährdung weniger den Chirurgen und seine Mitbeobachter als vielmehr alle anderen Anwesenden.

Abb. 1: Blanke Faser mit austretendem Strahlungskegel

Abb. 2: Fokussierendes Handstück

### KONTAKT

Dr. Friedrich Offenhäuser  
Offenhäuser + Berger GmbH  
Krumme Straße 25  
89518 Heidenheim  
www.offenhaeuser-berger.de

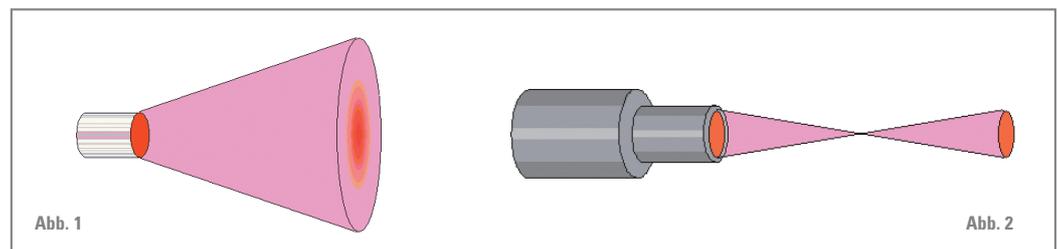


Abb. 1

Abb. 2

Gefährlich kann auch reflektierte Laserstrahlung sein. Selbst an matten Metalloberflächen wird beispielsweise die Strahlung des Nd:YAG-Lasers (Wellenlänge 1064 nm) zu 70 % reflektiert. Beim CO<sub>2</sub>-Laser (Wellenlänge 10600 nm) sind es sogar fast 100 %.

Die Gefährdung durch Laserstrahlung wird leider häufig falsch eingeschätzt. Eine Überschätzung führt zu überzogenen Schutzanforderungen, die unter anderem erhöhte Beschaffungskosten zur Folge haben. Die möglichen Folgen einer Unterschätzung brauchen nicht weiter ausgeführt zu werden. Um die Gefährdung richtig einzuschätzen, wird eine Sicherheitsanalyse empfohlen. Hierzu werden mindestens die Betriebsdaten des Lasersystems und die Parameter des Strahlführungssystems benötigt. Auch die Arbeitsabläufe während der Anwendung können von Bedeutung sein. Die dabei erforderlichen Betrachtungen sind leider nicht trivial. Sie sollten daher Gegenstand der Ausbildung eines jeden Laserschutzbeauftragten sein.

#### Weitere Risiken bei der Anwendung von Lasern

Die meisten laserbedingten Augenschäden wurden dadurch verursacht, dass entweder keine oder eine ungeeignete Schutzbrille getragen wurde. Der Fall, dass keine Laserschutzbrille getragen wurde, verdient keine weitere Beachtung, der Fall der ungeeigneten Laserschutzbrille dagegen schon. Unfälle trotz Laserschutzbrille entstehen meist dadurch, dass die Laserschutzbrille nicht für die jeweilige Laserwellenlänge geeignet war. Die Wellenlänge, für die eine Laserschutzbrille geeignet ist, kann man der Kennzeichnung der Brille entnehmen.

Beim Schutz gegen sichtbare Laserstrahlung ist es oft nicht zu vermeiden, dass der Laserschutz zu einer verminderten Wahrnehmbarkeit von Farben führt. Filter gegen Laserstrahlung im blaugrünen Spektralbereich sind zum Beispiel rot und stören damit die Erkennbarkeit roter Farbtöne. Filter von Laserschutzbrillen, die dem Schutz vor breitbandiger Strahlung dienen, können sehr dunkel sein, besonders wenn sie die Strahlung sehr stark abschwächen. Es wird empfohlen, in solchen Fällen die Beleuchtung des Arbeitsfeldes zu verstärken. Wenn dies auch nicht hilft, muss ein Kompromiss zwischen Laserschutz und Filtertransparenz gesucht werden.

Die Wirkung der Filter von Laserschutzbrillen kann auf Absorption oder Reflexion beruhen. Absorptionsfilter werden aus Materialien hergestellt, die Strahlung bestimmter Wellenlängen teilweise aufnehmen und in Wärme umwandeln. Die Schutzwirkung nimmt daher mit der Dicke zu. Gleichzeitig werden die Filter aber auch dunkler. Oberflächliche Kratzer, die keine Auswirkungen auf die Sicht haben, sind bei solchen Filtern unbedenklich.

Reflexionsfilter bestehen aus dünnen Schichten, die eine Spiegelwirkung für die Laserwellenlänge haben

und auf Substrate aufgedampft werden. Der Vorteil solcher Filter ist, dass sie relativ schmalbandig um die Laserwellenlänge ausgelegt werden können und somit transparenter sind als Absorptionsfilter. Der Schutz von Reflexionsfiltern ist von der Dicke unabhängig. Die maximale Schutzwirkung ist bei senkrechtem Einfall der Strahlung gegeben. Bei flacher werdendem Einfall nimmt die Schutzwirkung ab. Da Spiegelschichten sehr dünn sind, sind oberflächliche Kratzer auch dann bedenklich, wenn sie keine Auswirkungen auf die Sicht haben.

#### Gesetzliche Regelungen zum Laserschutz

Laserschutzbrillen unterliegen der europäischen Richtlinie 89/686/EWG „Persönliche Schutzausrüstung“. Sie dürfen in der EU nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie von einer autorisierten Stelle zugelassen sind. Dabei ist es unerheblich, ob das Produkt durch einen Importeur oder Hersteller in Verkehr gebracht wird.

Die Zulassung setzt eine Prüfung nach einer harmonisierten europäischen Norm voraus. Für Laserschutzbrillen ist dies die EN 207. Zugelassene Produkte müssen das CE-Zeichen und die Kennzeichnung der Schutzwirkung tragen. Um Missbrauch zu vermeiden, muss der Hersteller dem Kunden auf Verlangen das Baumusterzeugnis vorlegen. Missbrauchsfälle können der nationalen Marktaufsicht gemeldet werden, was mit juristischen Konsequenzen für den Importeur oder Hersteller verbunden ist.



Die Kennzeichnung der Schutzwirkung soll die Auswahl einer geeigneten Laserschutzbrille ermöglichen. Für die Auswahl der geeigneten Laserschutzbrille ist der Laserbetreiber verantwortlich. Anbieter von Laserschutzbrillen sind dabei zur Beratung verpflichtet.

Die Einhaltung von Arbeitsschutzbestimmungen wird in der EU national überwacht. Der Laserbetreiber muss einen Laserschutzbeauftragten benennen, der auf die Einhaltung der Bestimmungen achtet und hierfür ausreichend sachkundig ist. Mitarbeiter, die ein Lasersystem bedienen, müssen für den sicheren Umgang mit Laserstrahlung ausgebildet sein. Unfälle mit Lasern sind Arbeitsunfälle und somit meldepflichtig.

Laserschutzbrille mit Kennzeichnung der Schutzwirkung (links) und CE-Zeichen mit Seriennummer