

LASERSTRAHLUNG

Sicherheitshinweise zu den Laserversuchen im Physikalischen Anfängerpraktikum

11.96/11.07

In bestimmten Versuchen des Anfängerpraktikums (AP) wird mit Laserstrahlung gearbeitet. Dieses Informationsheft soll zur Vorbereitung auf die Laserschutzbelehrung dienen, die vom Assistenten zu Versuchsbeginn abgehalten wird. Die Teilnahme an der Laserschutzbelehrung ist durch Unterschrift zu quittieren. **Von den nachfolgenden Seiten sind besonders aufmerksam die Passagen zu lesen, die — so wie hier — fettgedruckt sind.** Insgesamt sollten folgende Punkte deutlich werden:

- Laserstrahlung ist besonders für die Augen gefährlich und kann von leichten Schäden bis zur Erblindung führen.
- Die im AP verwendeten Laser sind HeNe-Laser (632 nm, 5 mW, also sichtbares, rotes Licht), die der Gefährdungsklasse 3B zugeordnet werden und nicht mehr als harmlos gelten. Bei den Lasern im AP ist der direkte oder spiegelnd direkt reflektierte Strahl für die Augen gefährlich. Eine Gefährdung der Haut ist nicht gegeben.
- Diese Laser der Schutzklasse 3B dürfen nur *mit Schutz- oder Justierbrillen* bedient werden. *Schutzbrillen* absorbieren das Lasersicht praktisch vollständig, d.h. der Laserstrahl und z.B. Interferenzmuster werden unsichtbar. Solche Brillen sind daher bei Justierarbeiten ungeeignet.
- Daher stehen zusätzlich *Justierbrillen* zur Verfügung, die das Laserlicht um etwa 90 % abschwächen und dadurch vor zufälliger Strahlung schützen. Jedoch darf mit Justierbrillen *niemals absichtlich* in den direkten Strahl gesehen werden.
- Weitere Details werden durch die Unfallverhütungsvorschrift (VBG93) geregelt, die beim Assistenten eingesehen werden kann.

Arbeitsschutz bei Laserarbeiten

1. Gefährdungen bei Laserarbeiten

Gefährdungen beim Umgang mit Lasergeräten treten in zweierlei Form auf. Einmal bestehen sie prinzipiell immer dann, wenn Laserstrahlen den ungeschützten menschlichen Körper treffen können. Dabei ist es zunächst belanglos, ob eine Primär- oder eine Sekundärstrahlung (spiegelnd oder diffus reflektiert, siehe Bild 4 auf Seite 15) vorhanden ist. In diesem Fall handelt es sich um *laserspezifische Gefährdungen*. Zum anderen ist beim Umgang mit Lasergeräten mit Gefährdungen zu rechnen, die ihren Ursprung entweder in den Hilfseinrichtungen der Anlagen selbst oder im Zusammenwirken des Laserstrahls mit verschiedenen Medien der Umwelt bzw. mit zu bearbeitenden Materialien haben. Es wird dann von sonstigen Gefährdungen oder auch *laserunspezifischen Gefährdungen* gesprochen.

1.1. Laserspezifische Gefährdungen

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens sowie der Art und Schwere einer gesundheitlichen Schädigung ist abhängig von einer Reihe von Faktoren. Solche Faktoren sind die zur Wirkung gelangende Energie- bzw. Leistungsdichte, die Wellenlänge der Laserstrahlung, die Expositionsdauer, die Beschaffenheit des exponierten Gewebes (z.B. dessen Pigmentierung, Behaarung und Durchblutung) und verschiedene Umweltfaktoren. Auftretenden gesundheitlichen Schädigungen werden im wesentlichen drei Arten von Wirkungsmechanismen zugrunde gelegt:

- thermische Effekte

Der *thermische Effekt*, dessen biologische Wirkung vom einfachen Erythem (Hautrötung) bis hin zur Verkochung des betroffenen Gewebes reicht, ist der bedeutendste Schädigungseffekt. Er ist abhängig von der einwirkenden Energie- bzw. Leistungsdichte, der Expositionsdauer und der Eindringtiefe der Strahlung. Der thermische Effekt kann zur Koagulation des Gewebes führen, d.h., es bildet sich eine scharfe Trennungslinie zwischen erzeugter Nekrose und Umgebungsgewebe, ohne daß es — infolge des damit verbundenen Verschließens der Blutgefäße — zur Blutung kommt. Diese Wirkung wird übrigens in der *Mikrochirurgie* genutzt.

- thermoakustische Effekte

Mit dem thermischen Effekt verbunden können auch andere Erscheinungen auftreten, die als *thermoakustische* oder manchmal auch als nichtlineare Effekte bezeichnet werden. Führen sehr hohe Energie- bzw. Leistungsdichten zum Verkochen des

Gewebes, so entsteht dabei Dampf, der einerseits die Zellen sprengen und andererseits, besonders in abgeschlossenen und vollständig gefüllten Räumen (Auge oder Schädel), gefährliche Druckwellen hervorrufen kann. Ebenso kann es zur Ausbildung beachtlicher Druckwellen kommen, wenn ein Laserimpuls sehr hoher Leistungsdichte und extrem kurzer Impulsdauer (z.B. Q-switch-Betrieb) das Gewebe trifft. Die Folge sind Gewebszerreibungen oder ein regelrechtes „Heraussprengen“ von Gewebepartikeln, immer verbunden mit teilweise erheblichen Blutungen (Koagulationswirkung fehlt!).

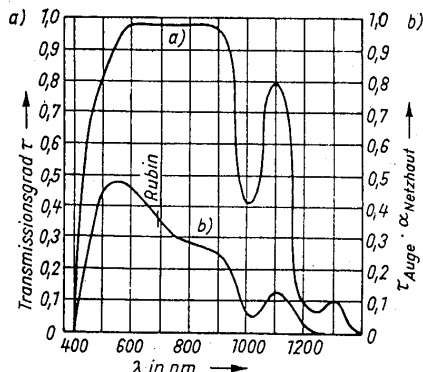
- fotochemische Effekte

Infolge von Laserexpositionen geringer Energie- bzw. Leistungsdichte treten funktionelle Veränderungen im histochemischen Bereich des Zellstoffwechsels auf, die sowohl die normalen Prozesse fördern als auch Abnormitäten erzeugen können.

Diese Art des Wirkungsmechanismus läßt zur Zeit noch die meisten Fragen offen. So ist z.B. noch nicht restlos geklärt, ob es zur Kumulation fraktionierter Dosen oder etwa zu genetischen Wirkungen kommen kann.

1.1.1. Gefährdungen des Auges

Der durch Laserstrahlung gefährdetste Teil des menschlichen Organismus ist das Auge. Das trifft vor allem für Strahlung im sichtbaren und nahen infraroten Bereich zu (Bild 1), obwohl auch die anderen Bereiche der optischen Strahlung nicht unbedenklich sind (Tabelle 1, nach [1]).



**Bild 1: Transmission und Absorption des menschlichen Auges:
a) spektrale Transmission, b) Produkt aus Transmission des Augenkörpers
und Absorption der Netzhaut, abhängig von der Wellenlänge**

Spektralbereich	Wirkungen auf Auge	Wirkungen auf Haut
Ultraviolett C (200...280 nm) Ultraviolett B (280...315 nm)	Keratitis (Photophthalmia electrica)	Erythem (E. solare), Hautkarzinom beschleunigte Hautalterung zunehmende Pigmentierung
Ultraviolett A (315...400 nm)	Strahlenkatarakt	fotosensitive Reaktionen starke Pigmentierung
Sichtbarer Bereich (400...780 nm)	fotochemische und ther- mische Retinaschädigung	
Infrarot A (780... 1400 nm)	Strahlenkatarakt, ther- mische Retinaschädigung	thermische Hautschädigung
Infrarot B (1,4...3,0 μm)	thermische Hornhaut- und Linsenschädigung, Strahlenkatarakt?	thermische Hautschädigung
Infrarot C (3,0... 1000 μm)	thermische Hornhaut- schädigung	thermische Hautschädigung

Tabelle 1: Pathophysiologische Wirkungen optischer Strahlung

Art und Schwere der am Auge auftretenden Schädigungen sind insbesondere abhängig von folgenden Faktoren:

- Wellenlänge
- Energie- bzw. Leistungsdichte
- Pupillendurchmesser
- Größe des Netzhautbildes
- Expositionsdauer

Sowohl Hornhaut, Linse und Glaskörper als auch die Netzhaut können geschädigt werden. Während von den Medizinern Schädigungen der Hornhaut, der Linse und des Glaskörpers als weniger schwerwiegend, weil in der Regel behandelbar, betrachtet werden, sind *Netzhautschäden* wegen ihrer Irreversibilität bedenklich. Beim Auftreffen des durch die Linse fokussierten Strahles auf die Netzhaut entstehen dort blinde Stellen, deren Vorhandensein vom Betroffenen oftmals nicht bemerkt wird. Das ist besonders dann der Fall, wenn:

- unvermutet Streustrahlung von Impulslasern in das Auge eintritt
- der Laser im nahen Infrarot arbeitet und
- die geschädigte Stelle in der Netzhautperipherie liegt (Bild 2)

Trifft der Strahl hingegen die im Bereich der Macula lutea liegende *Fovea centralis*, die Stelle des schärfsten Sehens, so ist eine schwere Störung der zentralen Sehschärfe die Folge. Mit totaler Erblindung des Auges ist dann zu rechnen, wenn die *Papilla nervi optici*, die Eintrittsstelle des Sehnervs in das Auge, geschädigt wird.

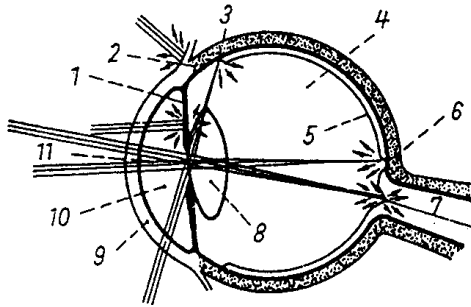


Bild 2: Eintritt von Laserstrahlen in das menschliche Auge
 1 Iris, 2 Lederhaut, 3 äußere Grenze der Retina, 4 Glaskörper, 5 Retina, 6 Netzhautgrube, 7 Sehnerv, 8 Linse, 9 Hornhaut, 10 vordere Augenkammer, 11 Pupille

Infolge der fokussierenden Wirkung der Linse kann die auf die Hornhaut auftreffende Energie- bzw. Leistungsdichte die Netzhaut um den Faktor $10^5 \dots 10^6$ verstärkt erreichen.

Rechnerisch ergibt sich dieser Wert aus:

$$V = d_p^2 / d_R^2 \quad (1)$$

V Verstärkungsfaktor

d_p Pupillendurchmesser ($d_{pmax} = 8 \text{ mm}$)

d_R Durchmesser der Abbildung auf der Retina ($d_{Rmin} = 10 \mu\text{m}$)

2. Schutzmaßnahmen

Die intensiv betriebene wissenschaftliche Untersuchung der laserspezifischen Gefährdungen hat international zu recht umfassenden sowie gut fundierten praktikablen Schlußfolgerungen für den Arbeitsschutz bei Laserarbeiten geführt. Allerdings tragen zum gegenwärtigen Zeitpunkt solche Schlußfolgerungen nur in wenigen Ländern Gesetzescharakter. Meist handelt es sich um Empfehlungen oder Richtlinien, die teilweise auch nur für einen bestimmten Anwenderkreis gelten.

2.1. Klassifikation von Lasergeräten

Durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) wurde 1977 ein Schema zur Klassifikation von Lasergeräten [1] veröffentlicht und zur Anwendung empfohlen. Dieses Schema

geht prinzipiell von drei Aspekten aus, die insgesamt die vom Laser verursachte Gefährdung und damit die Notwendigkeit für die Anwendung von Schutz- bzw. Kontrollmaßnahmen bestimmen:

- die Gefährdung, die tatsächlich von dem Laser ausgeht
- die Umgebung, in der der Laser zum Einsatz gelangt
- das Personal, das den Laser bedient, und das Personal, das durch ihn exponiert werden kann

Vorrangig wird der Aufbau des Schemas jedoch vom 1. Aspekt getragen, weil einerseits der 2. und 3. Aspekt sehr vom jeweiligen, stark variierbaren Einsatz des Lasers abhängig sind und andererseits in den meisten Fällen die Einschätzung des 1. Aspektes hinreichend ist, um entsprechende Schutz- bzw. Kontrollmaßnahmen festlegen zu können. Eine weitere Grundidee des Klassifikationsschemas besteht darin, den Anwender durch die vorgeschlagene Form der Einstufung weitgehend von nicht unbedingt erforderlichen aufwendigen und komplizierten Strahlungsmessungen bzw. Berechnungen zu befreien.

Die Basis für die Klassifikation der Laser bildet ihre Fähigkeit, durch den primären oder reflektierten Strahl Schäden am Auge oder an der Haut zu setzen.

Folgende *Gefährdungsklassen* wurden festgelegt:

- Klasse 1: Ohne Risiko. Gefährdungsfreie Lasersysteme
- Klasse 2: Niedriges Risiko. Lasersysteme, die im sichtbaren Bereich arbeiten und normalerweise nicht gefährdend sind
- Klasse 3: Mäßiges Risiko. Lasersysteme, bei denen das Hineinsehen in den direkten und den direkt reflektierten Strahl gefährdend sein kann. Es werden zwei Unterklassen 3a und 3b unterschieden, wobei die in Unterklasse 3a einzuordnenden Laser nur dann gefährdend sind, wenn ihr Strahl durch ein zusätzliches optisches Instrument gesammelt wird.
- Klasse 4: Hohes Risiko. Lasersysteme, bei denen sogar eine diffuse Reflexion gefährdend sein kann oder deren Strahl eine ernsthafte Hautgefährdung oder eine Brandgefährdung für die Umwelt darstellt.

Tabelle 2 zeigt die Zuordnung der Gefährdungsklassen zu den jeweiligen Wellenlängenbereichen.

Die Einordnung der Lasergeräte in die einzelnen Gefährdungsklassen erfolgt vor allem nach folgenden Parametern:

- Für alle Lasertypen sind die Kenntnis der Wellenlänge(n) oder des Wellenlängenbereiches und die Bestimmung der Emissionsdauer erforderlich.

Gefährdung	Ultraviolett	sichtbarer Bereich	Infrarot A	Infrarot B + C
gering	Klasse 1	Klasse 1 Klasse 2	Klasse 1	Klasse 1
	Klasse 3a	Klasse 3a	Klasse 3a	Klasse 3a
	Klasse 3b	Klasse 3b	Klasse 3b	Klasse 3b
groß	Klasse 4	Klasse 4	Klasse 4	Klasse 4

Tabelle 2: Übersicht über die Gefährdungsklassen für Lasergeräte und die jeweiligen Wellenlängenbereiche

- *Dauer-* und *Repetitively-pulsed-Laser* erfordern die Kenntnis der durchschnittlichen Ausgangsleistung.
- Zur Klassifikation von *Impulslasern* ist auch die Kenntnis des gesamten Strahlungsflusses je Impuls (peak power), der Impulsdauer, der Impulsfrequenz und der Bestrahlung notwendig.
- Die Klassifikation von *Extended-source-Lasern*, d. h. Lasern mit aufgeweitetem Strahl, erfordert neben den oben genannten Parametern die Kenntnis der Strahlungsenergie und des Maximums des Winkels, in dem die tatsächliche Blickrichtung vom „Intrabeam viewing“, dem vollen, direkten Hineinsehen in den Strahl, abweicht.

2.1.1. Klasse 1 - Lasergeräte ohne Gefährdung

In diese Klasse werden Lasergeräte eingeordnet, deren Strahl keine Schädigungen zu erzeugen vermag, weil ihre Leistung bzw. Energie in dem für die Klassifikation zu betrachtenden Zeitraum unterhalb der *Schwellwerte* (Werte, bei denen noch keine Schädigung eintritt), in der englischsprachigen Literatur als P_{exempt} bzw. Q_{exempt} bezeichnet, liegt. Unter dem für die Klassifikation zu betrachtenden Zeitraum, der *Klassifikationsdauer*, wird die längste tägliche Emissionsdauer verstanden.

P_{exempt} und Q_{exempt} werden unter dem Aspekt der Verhütung gesundheitlicher Schädigung durch eine Betrachtung des ungünstigsten Falles (*worst case analysis*) bestimmt. Dabei ist selbstverständlich zu berücksichtigen, ob der Laser mit oder ohne aufgeweiteten Strahl zum Einsatz gelangt. Für die meisten Laser lassen sich P_{exempt} und Q_{exempt} als Überschlagsrechnung jeweils durch das Produkt von $a \cdot b$ ermitteln, wobei

a der Grenzwert für die direkte Bestrahlung des Auges, bezogen auf die Expositionsdauer von t_{max}

b die für den Grenzwert definierte Fläche der Grenzöffnung ist.

Die Befreiung solcher *Non-risk-Laser* von besonderen Kontrollmaßnahmen bezieht sich jedoch nur auf die laserspezifische Gefährdung, nicht auf die sonstigen Gefährdungen.

2.1.2. Klasse 2 - Lasergeräte mit niedriger Gefährdung

In diese *Low-risk-Klasse* werden Laser niedriger Leistung eingeordnet, die im sichtbaren Bereich arbeiten. Bei ihnen kann ein „Intrabeam viewing“, ein direktes Hineinsehen in den Strahl, dann ohne Gefährdung erfolgen, wenn sehr sorgfältig kontrollierte Expositionsbedingungen eingehalten werden. Dazu gehören:

- *Dauerlaser* (400...700 nm), deren emittierte Leistung P_{exempt} für die Klassifikationsdauer übersteigt ($0,4 \mu\text{W}$ für $t_{max} > 0,25 \text{ s}$), aber nicht größer als 1 mW ist.
- *Scanning-Lasersysteme* (400...700 nm) und *Repetitively-pulsed-Laser*, die zwar den entsprechenden Wert von P_{exempt} für die Klassifikationsdauer, nicht aber den für eine Expositionsdauer von 0,25 s überschreiten können.

2.1.3. Klasse 3 - Lasergeräte mit mäßiger Gefährdung

Diese *Moderate-risk-Klasse* umfaßt Laser mittlerer Leistung, bei denen ein „Intrabeam viewing“ unterbunden werden muß. Dazu gehören:

- *Laser des Infrarot-* ($1,4 \mu\text{m} \dots 1 \text{ mm}$) und *Ultraviolettbereichs* ($200 \dots 400 \text{ nm}$), deren Leistung für die Klassifikationsdauer zwar P_{exempt} überschreitet, nicht aber eine durchschnittliche Leistung von 0,5 W bei $t_{max} > 0,25 \text{ s}$ oder eine Bestrahlung von 10 J/cm^2 bei $t_{max} \leq 0,25 \text{ s}$.
- ***Dauerlaser oder Repetitively-pulsed-Laser im sichtbaren Bereich (400 . . . 700 nm), von denen P_{exempt} für $t_{max} = 0,25 \text{ s}$ (1 mW für den Dauerlaser) überschritten wird, die jedoch nicht eine durchschnittliche Leistung von 0,5 W bei $t_{max} > 0,25 \text{ s}$ zu emittieren vermögen.***
- *Impulslaser* im nahen Infrarotbereich ($700 \dots 1400 \text{ nm}$), deren emittierte Energie größer als Q_{exempt} und kleiner als 10 J/cm^2 ist oder bei denen mit dem Auftreten einer über den Grenzwerten liegenden und daher gefährdenden diffusen Reflexion zu rechnen ist.
- *Dauerlaser und Repetitively-pulsed-Laser* des nahen Infrarotbereichs ($700 \dots 1400 \text{ nm}$), deren Leistung größer als P_{exempt} für die Klassifikationsdauer ist, die aber nicht eine durchschnittliche Leistung von $\geq 0,5 \text{ W}$ bei $t_{max} > 0,25 \text{ s}$ emittieren können.

2.1.4. Klasse 4 - Laser mit hoher Gefährdung

Als *High-risk-Klasse* umfaßt sie Hochleistungslaser, deren direkter sowie direkt oder diffus reflektierter Strahl sowohl für das Auge als auch die Haut eine erhebliche Gefährdung darstellt. Dazu gehören:

- *Laser des Ultraviolett-* (200 . . . 400 nm) und *fernen Infrarotbereichs* (1,4 μm . . . 1 mm), die für $t_{max} > 0,25$ s eine durchschnittliche Leistung von 0,5 W oder eine Bestrahlung von 10 J/cm^2 bei $t_{max} \leq 0,25$ s überschreiten.
- *Laser des sichtbaren Bereichs* (400 . . . 700 nm) und *nahen Infrarotbereichs* (700 . . . 1400 nm) mit einer durchschnittlichen Leistung von $\geq 0,5$ W bei $t_{max} > 0,25$ s oder einer Bestrahlung von $\geq 10 \text{ J/cm}^2$. Solche Laser werden auch dann hier eingeordnet, wenn während ihres Betriebes die Grenzwerte übersteigende diffuse Reflexionen auftreten können.

Generell muß beachtet werden, daß die Einstufung eines mit Abschirmvorrichtungen versehenen Lasers nur dann gilt, wenn er auch mit diesen arbeitsschutztechnischen Mitteln betrieben wird. Ist das nicht der Fall, so gehört er einer *höheren* Gefährdungsklasse an.

Lasergeräte, die auf mehreren Wellenlängen arbeiten können, werden nach der Wellenlänge klassifiziert, bei der die größte Gefährdung zu erwarten ist.

2.2. Grenzwerte für die Exposition durch Laserstrahlung

Bei Überschreitung der angegebenen Grenzwerte kann die stark gebündelte und hoch energiehaltige Laserstrahlung eine sofortige Schädigung verursachen, die beim Auge, dem am stärksten durch die Laserstrahlung gefährdeten Organ, zur Beeinträchtigung der Sehfunktion führen kann.

2.3. Quantitative Betrachtung konkreter Betriebsbedingungen

Zur Abschätzung der Verhältnisse unter konkreten Einsatzbedingungen ist oftmals eine quantitative Betrachtung erforderlich. Dabei ist jedoch unbedingt zu berücksichtigen, daß solche Betrachtungen, sollen sie als Grundlage für Arbeitsschutzmaßnahmen dienen, äußerst gewissenhaft geführt werden müssen und vom schlechtesten bzw. ungünstigsten Fall ausgehen sollten.

Hinweise zur Berechnung der Mindestschutzentfernung [3]:

Die Mindestschutzentfernung r_s ist der Abstand von der Austrittsöffnung des Laserstrahles, in dem der Grenzwert für den direkten oder direkt reflektierten Strahl (Intrabeam viewing) unterschritten wird.

Der Schwächungsfaktor S ist das Verhältnis der Strahlungsflußdichte φ des Strahls zu der maximal zulässigen Strahlungsflußdichte.

Für im Dauerbetrieb arbeitende He-Ne-Laser ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$) wurden in Tabelle 3 (nach [3]) einige berechnete Mindestschutzzentfernungen zusammengestellt.

Strahlungsfluß am Ausgang	1 mW	1 mW	5 mW	10 mW
Strahldurchmesser	2 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Strahldivergenz	2'	2'	2'	2'
Optisch unbeeinflusst	272	276	620	870
Mit Teleskop (20fach)*)	4100	4800	11700	16700
Mit Zylinderlinse ($\Theta_z = 17^\circ$)	9,2	10	23	33
Mit Teleskop und Zylinderlinse	1,7	3,4	17	34

*) Luftabsorption vernachlässigt

Tabelle 3: Mindestschutzzentfernungen (in Metern) eines He-Ne-Lasers im Dauerbetrieb

2.4. Spezielle Maßnahmen für den Augenschutz

Überall dort, wo beim Betreiben von Laseranlagen die Grenzwerte für die Exposition der Augen nicht eingehalten werden können, sind spezielle Maßnahmen erforderlich.

Eine Reihe von Vorschlägen, wie z.B. der Einsatz fototroper Substanzen in Schutzbrillen oder von KERR-Zellen als Schutzschalter, hat sich als zu unzuverlässig und bzw. oder zu zeitaufwendig erwiesen. Empfohlen wird daher nach wie vor der Gebrauch von Schutzbrillen mit optischen Filtern. Solche *Absorptionsfilter* haben die Aufgabe, die entsprechende Wellenlänge des Laserlichtes auszufiltern, den übrigen Bereich des sichtbaren Lichtes jedoch möglichst ungeschwächt passieren zu lassen. Daraus folgt, daß nicht jedes Absorptionsfilter für jeden Laser einsetzbar ist, weil eine Abhängigkeit von der emittierten Wellenlänge vorhanden ist. Darüber hinaus wird auch die Dicke des Filters von den Leistungsparametern des Lasers bestimmt. Ein besonderes Problem bei der Anwendung von Laserschutzbrillen ist die *Wärmebeständigkeit* des verwendeten Absorptionsfilters, da der absorbierte Teil des Lichtstromes in Wärme überführt wird.

Neben der Verwendung von geeigneten Schutzbrillen für die jeweilige Laserlichtwellenlänge und verschiedenen anderen Verhaltensanforderungen an das im Laserbereich arbeitende Personal (s. Abschn. 2.5.) sind *arbeitsmedizinische Kontrollmaßnahmen*, z.B. eine augenärztliche Überwachung des möglicherweise exponierten Personenkreises, erforderlich.

Dazu ist prinzipiell davon auszugehen, daß Augenverletzungen durch Laser:

- oftmals nur schwer eindeutig als solche diagnostizierbar sind, weil sie auf eine andere Ursache zurückzuführenden Verletzungen bzw. Schädigungen sehr ähneln können
- oftmals von dem Betroffenen selbst nicht bemerkt werden, wenn es sich z.B. um geringfügige Läsionen in der Retinaperipherie handelt.

Deshalb sind drei Grundforderungen zu berücksichtigen:

- Jeder für eine Tätigkeit an Laseranlagen bzw. im möglicherweise gefährdenden Laserbereich vorgesehene Werk tätige ist vor der Arbeitsaufnahme einer besonderen *augenärztlichen Tauglichkeitsuntersuchung* zu unterziehen.
- Dieser Personenkreis ist, zweckmäßigerweise nach den Lasergefährdungsklassen (s. Abschn. 2.1.) gestaffelt, in einen festen Turnus von *Überwachungsuntersuchungen* einzubeziehen.
- Ist ein echter oder vermutlicher *Laserunfall* eingetreten, so muß der Betroffene sofort augenärztlich untersucht werden.

Die Grundforderungen für den Augenschutz sind selbstverständlich in analoger Weise auch für den Hautschutz zutreffend.

Die augenärztliche Untersuchung sollte folgenden Umfang haben:

1. *Untersuchungen zur Erfassung anatomischer Veränderungen*
 - Inspektion der Lider und äußeren Augenabschnitte
 - Untersuchung der brechenden Medien bei erweiterter Pupille
 - Untersuchung des Augenhintergrundes bei erweiterter Pupille
2. *Untersuchungen zur Erfassung funktioneller Veränderungen*
 - Untersuchung des Sehvermögens (für jedes Auge)
 - Prüfung des stereoskopischen Sehens
 - Prüfung des Farbensinns
3. *ausführliche Befunddokumentation mit Augenhintergrundfotografie*

2.5. Allgemeine Schutzmaßnahmen

Es existieren gegenwärtig noch keine, die gesamte Breite des Laserarbeitsschutzes umfassenden, allgemeingültigen rechtlichen Regelungen. Eine Richtlinie wurde in [2] veröffentlicht.

2.5.1. Empfehlungen für den Gesundheits- und Arbeitsschutz bei Arbeiten mit Laserversuchsanlagen

1. Arbeitsraum

- 1.1. Räume, in denen mit Laserversuchsanlagen gearbeitet wird, sind mit dem Warnzeichen „LASER“ zu kennzeichnen (Bild 3).



Bild 3 Sicherheitszeichen Laser (innere Farbe: gelb)

- 1.2. Das Betreten der mit dem Warnzeichen gekennzeichneten Räume ist nur dem befugten Personenkreis, anderenfalls nach Aufforderung oder gegebenenfalls nach Einweisung gestattet.
- 1.3. Der Arbeitsraum ist hell zu beleuchten, um eine Dunkeladaptation der Augen zu verhindern.

2. Arbeitsplatz

- 2.1. Laserversuchsanlagen sind so abzuschirmen, daß die gerichtete Primärstrahlung und die gerichtete Sekundärstrahlung nicht austreten können. Die Anregungsstrahlung ist lichtdicht abzuschirmen.
- 2.2. An jeder Laserversuchsanlage ist ein Hinweis auf das als Augenschutz zu verwendende Schutzfilter anzubringen.
- 2.3. Der Laserstrahl ist in geeigneter Weise auf die zur Arbeit notwendige Länge zu begrenzen.
- 2.4. Reflektierende Flächen im Bereich des Strahlenganges sind zu entfernen oder abzudecken.

2.5. **Auch mit geschützten Augen darf nicht in den gerichteten Laserstrahl gesehen werden.**

2.6. Zum Hautschutz sind geeignete Körperschuttmittel vorzusehen.

2.7. Ausnahmeregelungen zu den Maßnahmen der Punkte 2.1. bis 2.6. sind nur mit schriftlicher Genehmigung durch den Verantwortlichen gestattet.

3. Allgemeine Richtlinien

3.1. Die an Laserversuchsanlagen tätigen Mitarbeiter sind vor ihrer Einstellung sowie mindestens einmal jährlich, augenärztlich zu untersuchen. Bei auftretenden Sehstörungen hat sich der Betroffene sofort unaufgefordert einer augenärztlichen Kontrolle zu unterziehen.

3.2. Die vorliegende Empfehlung ist in die regelmäßigen Arbeitsschutzbelehrungen einzubeziehen.

Diese speziell auf *Laserversuchsanlagen* bezogene Empfehlung gilt im analogen Sinne natürlich auch für andere, z.B. kommerzielle Lasergeräte. Sie enthält jedoch nur die wichtigsten Maßnahmen und soll daher um eine Reihe weiterer Hinweise ergänzt werden:

1. Laseranlagen bzw. Lasergeräte müssen in Abhängigkeit vom Gefährdungsgrad und dem jeweiligen Verwendungszweck immer den höchstmöglichen Grad an *technischer Sicherheit* aufweisen. Nur den mit arbeitsschutztechnischen Mitteln nicht beherrschbaren Gefährdungen darf mit individuellen Schuttmitteln bzw. mit Anforderungen an das arbeitsschutzgerechte Verhalten der mit den Laserarbeiten betrauten Personen entgegengewirkt werden.
2. Eine *Signalanlage* sollte bei abgeschlossenen Räumen außerhalb des Raumes den Betrieb der Laseranlage anzeigen.
3. Außerhalb des Raumes sollte ein *Hauptschalter* vorhanden sein, der es gestattet, sämtliche zur Laseranlage gehörenden Geräte im Raum auszuschalten.
4. Der Zugang zu den *Kondensatorräumen* sollte zwangsverriegelt sein.
5. Zur *Entladung der Kondensatoren* sollte eine besondere Vorrichtung vorgesehen werden.
6. **Der Arbeitsraum muß übersichtlich sein und gute Ordnung aufweisen.**
7. **Die Wände des Arbeitsraumes sollten möglichst mit einem hellen, aber matten Anstrich versehen sein.**
8. **Im Arbeitsraum sollten keine blanken Gegenstände herumstehen.**

9. Der *Laserbereich* ist präzise abzugrenzen und deutlich zu markieren. Nach [3] wird der Laserbereich in seiner Länge durch die Mindestschutzentfernung r_s und in seiner Breite durch einen seitlichen Abstand von mindestens 1,5 m vom Laserstrahl bestimmt.
10. Wird mit *Kühlmitteln* gearbeitet, so ist eine ausreichende Belüftung und Entlüftung vorzusehen. Außerdem sind geeignete *Körperschutzmittel* (Gesichtsschutz, Handschutz, Schürzen u.a.) für den Umgang mit den Kühlmitteln bereitzustellen.
11. Eine ausreichende Belüftung und Entlüftung ist auch dann erforderlich, wenn durch freiwerdende UV-Strahlung mit über dem MAK-Wert liegenden Ozonkonzentration n zu rechnen ist.
12. Im Arbeitsraum sollten *keine brennbaren* oder *explosiblen* Stoffe gelagert werden.
13. Arbeitet der Laser mit *Hochspannungen* (Warnzeichen!) über 15 kV, sind geeignete Maßnahmen zum Schutz vor möglicher Röntgenstrahlung vorzusehen.
14. Bei *Impulslasern* ist das unbeabsichtigte Auslösen von Impulsen zu verhindern.
15. Der *Laserstrahl* ist soweit wie möglich geschlossen zu führen.
16. Bei *frei geführtem Strahl*, insbesondere bei Impulslasern, sind beim Einschalten die Augen zu schließen.
17. **Vor dem Einschalten des Lasers sind alle im Raum befindlichen Personen davon in Kenntnis zu setzen.**
18. **Der Laser darf nicht mit ungeschützten Augen justiert werden.**
19. **Ein in Betrieb gesetzter Laser darf nicht ohne Aufsicht bleiben.**
20. Die *Schutzbrillen* sind regelmäßig und gewissenhaft auf ihre optische Wirkung hin zu kontrollieren, besonders nach energiereicher Bestrahlung.

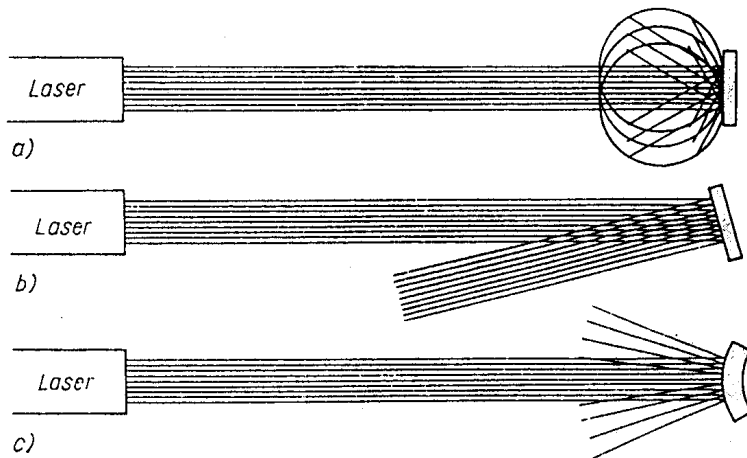


Bild 4: Arten der Reflexion eines Laserstrahles.

- a) ebener diffuser Reflektor,
- b) ebener spiegelnder Reflektor,
- c) gewölbter spiegelnder Reflektor

Quelle: W. Brunner/K. Junge [Hrsg.] (Autor dieses Kapitels 5: W. Kleinschmidt) Lasertechnik - eine Einführung; Lizenzausgabe Hüthig Verlag Heidelberg 3. Auflage 1987, ©VEB Fachbuchverlag Leipzig 1987

Literatur:

[1] Optical Radiation with Particular Reference to Lasers / GOLDMANN, L. u. a. hrsg. von der WHO, Regional Office for Europe, Copenhagen, 1977

[2] Laser aus der Sicht des Arbeitsschutzes

KLEINSCHMIDT, W. - In: Schriftenreihe Arbeitsschutz d. Zentralinstituts f. Arbeitsschutz, Heft 30 - Berlin: Verlag Tribüne 1971

(ANMERKUNG: Die derzeit gültige Richtlinie zum Arbeitsschutz bei Laserarbeiten ist die Unfallverhütungsvorschrift Laserstrahlung (VGB93) mit den zugehörigen Durchführungsanweisungen.)

[3] Laser-Schutz bei der Anwendung von Helium-Neon-Dauerlicht-Lasern

DETMERS, D.; LÖFFLER, W.; RENZ, K. In: Z. Berufsgenossenschaft/Betriebssicherheit. - (1970) 7. - S. 247-252