

Gefahren durch Laserstrahlung

Laserunspezifische Gefahren

- Gefährdung durch elektrischen Strom
- Brand- und Explosionsgefahr
- Ex- oder Implosion von Laserelementen
- Gefährdung durch Ozonbildung
- Gefährdung durch Gase und Stäube

Laserspezifische Gefahren

- Gefährdung durch hohe räumliche Leistungsdichte
- Gefährdung durch hohe spektrale Leistungsdichte
- Gefährdung durch hohe zeitliche Leistungsdichte

Wechselwirkungsmechanismen der Laserstrahlung mit biologischem Gewebe

Der primäre Vorgang bei der Schädigung von biologischem Gewebe ist die Absorption. Da die Absorption von der Wellenlänge abhängig ist, bestimmt die Laserwellenlänge :

- die Art der Schädigung
- welches Gewebe geschädigt wird (Horn-, Netzhaut)
- die Eindringtiefe der Strahlung

Die Wechselwirkungsmechanismen werden unterschieden in :

- thermische Wirkung
- thermoakustische Wirkung
- photochemische Wirkung

Schädigung der Haut

Die Wirkung der Laserstrahlung auf die Haut hängt entscheidend von der Wellenlänge ab [1]:

Ultraviolett C, 100 - 280 nm:

Die Strahlung in diesem Wellenlängenbereich wird stark von der Haut absorbiert und dringt nicht tief ein. Dadurch wird die Alterung der Haut beschleunigt und Ausbildung von Hautkrebs gefördert.

Ultraviolett B, 280 - 315 nm:

Hier liegt das Maximum der Erythembildung (297 nm), d. h. der Hautrötung und schließlich des Sonnenbrandes. Die sekundäre Pigmentierung der Haut entsteht als Folge des Erythems. Gefahr von Hautkrebs.

Ultraviolett A, 315 - 400 nm:

Die Strahlung dringt einige mm tief in die Haut ein und bewirkt eine schwache Pigmentierung - die Bräunung - ohne vorangegangene Erythembildung. Photosensitivierung kann auftreten. D. h. wiederholte örtliche Bestrahlung führt dazu, daß die Minimalintensität, die eine Reaktion hervorruft, gesenkt wird.

Sichtbares Licht, 400 - 780 nm:

Im kurzwelligen Bereich überwiegen hier photochemische Prozesse, die ihr Wirkungsmaximum bei etwa 440 nm haben. Bei Wellenlängen größer als 500 nm läßt die photochemische Wirkung rasch nach. Im längerwelligen sichtbaren Spektralbereich oberhalb von 500 nm dominieren die thermischen Effekte, die hauptsächlich Verbrennungen bewirken.

Infrarotes Licht, 780_{nm} - 1 mm:

Die Wechselwirkung der Infrarot-Strahlung mit dem Hautgewebe ist rein thermisch. Spektrale Abhängigkeiten ergeben sich durch die wellenlängenabhängige Wasserabsorption. Laserwellenlängen zwischen 2 und 3 μm werden extrem stark absorbiert und dringen nicht tief in die Haut ein.

Biologisches Gewebe besteht hauptsächlich aus Wasser. Die Wasserabsorption legt daher entscheidend die Eindringtiefe von Laserstrahlung in Gewebe fest. Abb.1 zeigt ein Spektrum der Wasserabsorption im Bereich von 600 nm bis 1,6 μm .

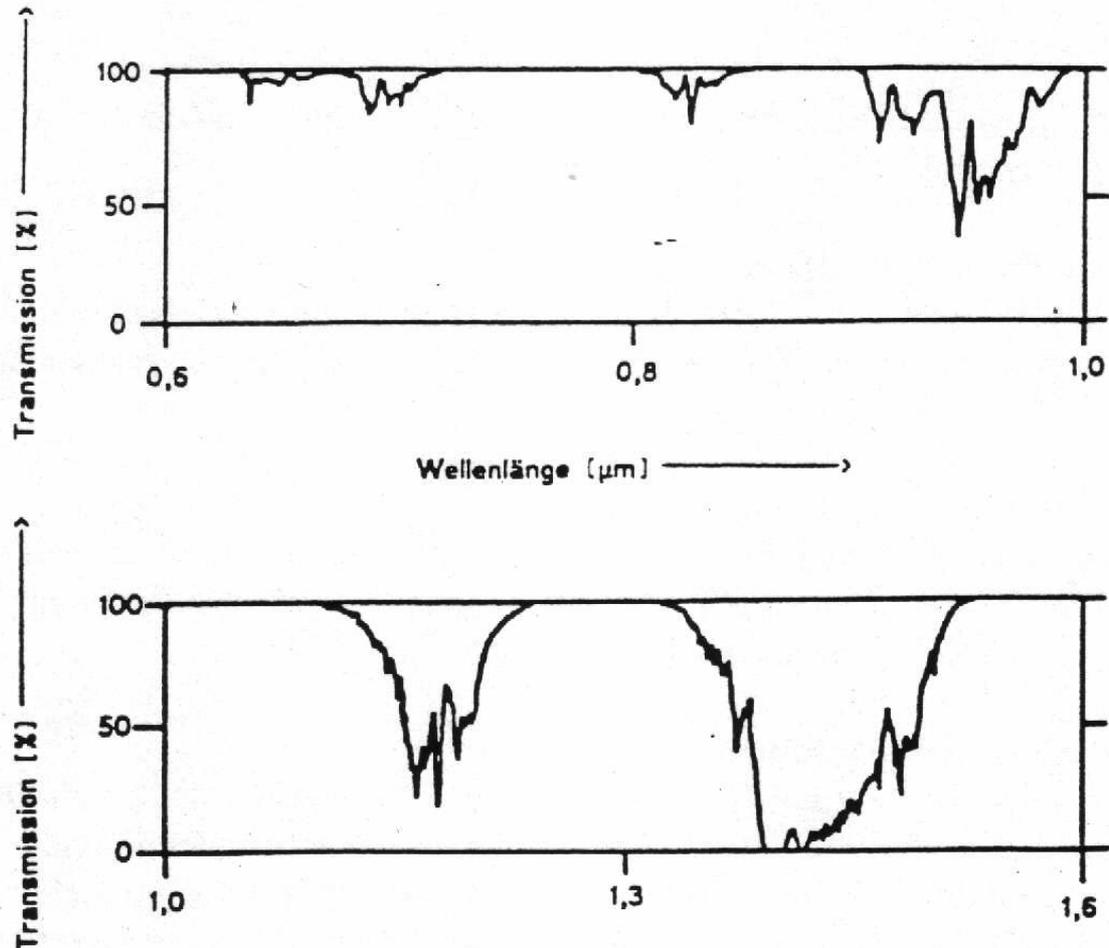


Abb. 1: Transmission des Wassers als Funktion der Wellenlänge

Sichtbare Strahlung dringt im allgemeinen tief in das Gewebe ein und die Energie der Laserstrahlung wird auf ein größeres Volumen verteilt. Wie das Wasserspektrum zeigt, werden Wellenlängen um 950, 1150 und 1400 nm stark absorbiert und dringen folglich nicht tief in biologisches Gewebe ein. Bei Lasern der Wellenlänge von 2 - 3 μm beträgt die Eindringtiefe in Gewebe nur wenige 1/10 mm aufgrund der Wasserabsorption. Holmium- und Erbiumlaser emittieren in diesem Bereich. Sie sind von besonderer Bedeutung für die Lasermedizin, da kleine Eindringtiefe der Laserstrahlung präzise chirurgische Schnitte bedeutet.

Schädigung des Auges

Die auftretenden Schädigungen des Auges sind für die verschiedenen Wellenlängenbereiche des Laserlichts sehr unterschiedlich :

Ultraviolett B und C, 100 - 315 nm:

Strahlung dieses Wellenlängengebietes kann nur in eine dünne Oberflächenschicht des biologischen Gewebes eindringen und wird dort stark absorbiert. Als augenspezifische Schädigungen treten hier Horn- und Bindehautentzündung auf, wobei die maximale Wirkung bei 270 und 260 nm liegt.

Ultraviolett A, 315- 400 nm:

Wegen der vorrangigen Absorption der Strahlung in der Augenlinse tritt hier in erster Linie photochemischer Katarakt auf, d. h. Trübung der Augenlinse (grauer Star).

Sichtbares Licht, 400 - 780 nm:

Photochemische und thermische Schädigung der Netzhaut tritt auf, da alle anderen Körper im Strahlengang des Auges transparent sind. Die Wirkung entspricht derjenigen, die für die Bestrahlung normaler Haut auftritt.

Infrarot A, 780 - 1400 nm:

Dies ist der für das Auge gefährlichste Wellenlängenbereich. Das Auge nimmt die Strahlung nicht mehr wahr, fokussiert sie aber dennoch auf die Netzhaut und verursacht dort schlimme Verbrennungen. Photochemische Netzhautschäden treten ebenfalls auf. Der längerwellige Teil der Strahlung wird schon von der Augenlinse absorbiert und trübt diese (grauer Star).

Infrarot B, 1,4 -3,0 μm :

Auch hier kommt es noch zur Eintrübung der Augenlinse. Schlierenbildung in der Kammerflüssigkeit des Auges tritt auf. Die Wasserabsorption steigt in diesem Bereich stark an und verringert die Eindringtiefe der Strahlung in das Auge. Im langwelligen Bereich treten daher Verbrennungen der Hornhaut auf.

Infrarot C, 3 - 1000 μm :

Wegen der starken Absorption dieser Wellenlänge im Gewebe ist die Eindringtiefe stets kleiner als 1 mm. Beim Auge treten daher ausschließlich Verbrennungen der Hornhaut auf.

ii) Transmissionsverhalten des Auges

Abb. 3 zeigt das Transmissionsverhalten der Augenbestandteile.

Im sichtbaren und infrarot-A Bereich (400 - 1400 nm) ist das Auge transparent bis zur Netzhaut. Licht mit Wellenlängen kürzer als 400 nm wird von allen Augenmedien absorbiert.

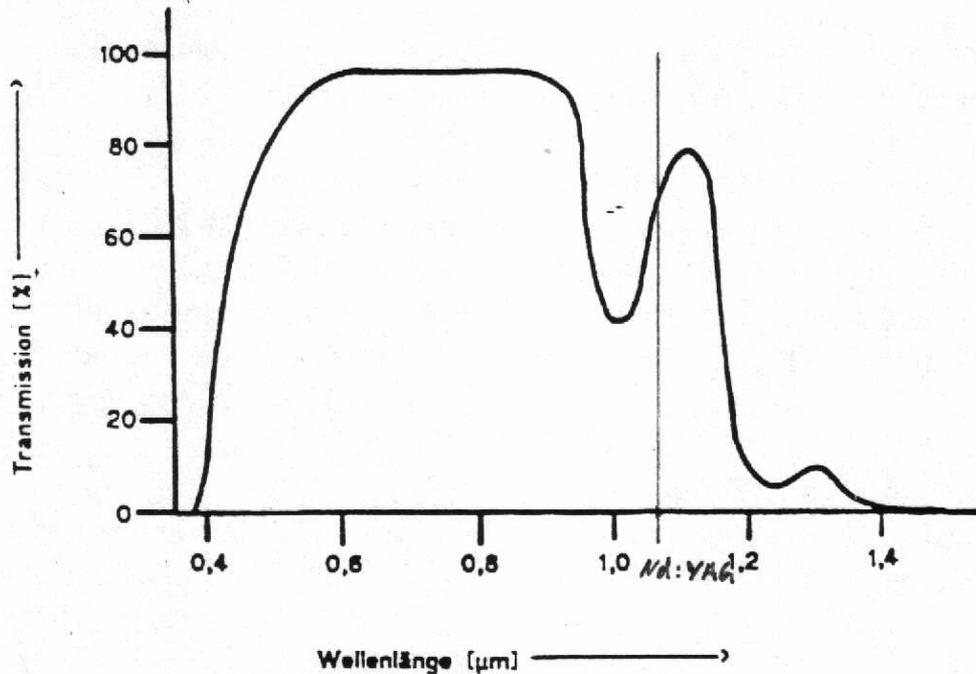


Abb. 3: Transmission des Auges als Funktion der Wellenlänge

Mit zunehmendem Alter trübt sich die Augenlinse und verschiebt die untere Transmissionsgrenze zu größeren Wellenlängen hin. Die im langwelligen Bereich auftretenden Absorptionen sind im wesentlichen auf Wasserabsorptionen zurückzuführen. Die Wellenlänge 10,6 μm des CO_2 Lasers wird bereits von der Hornhaut absorbiert und dringt nicht in das Auge ein. Die folgende Abb. 4 zeigt schematisch die Eindringtiefe optischer Strahlung verschiedener Wellenlängen in das Auge.

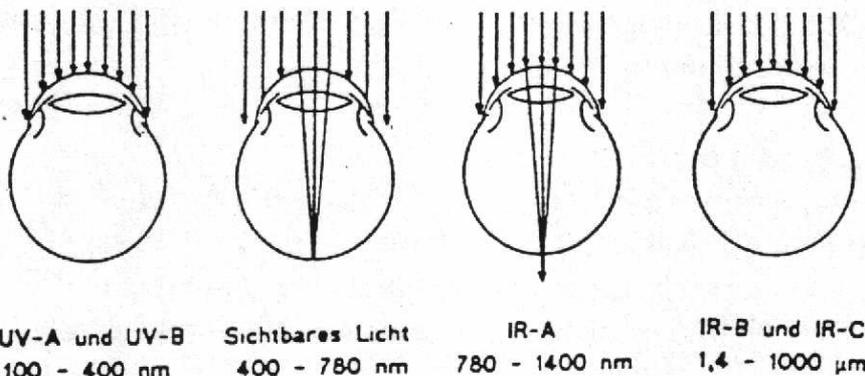


Abb. 4: Eindringtiefe optischer Strahlung in das Auge für verschiedene Wellenlängenbereiche

Laserklassen

Lasersysteme werden gemäß ihrer Gefährlichkeit verschiedenen Laserklassen zugeordnet. Als gefährliche Laserklassen gelten die Klassen 3B und 4. Geräte dieser Laserklassen bedürfen gesonderter Sicherheitsmaßnahmen.

Folgende Laserklassen sind nach IEC 60825-1:07-2015 definiert:

Laserklasse 1

Lasere der Klasse 1 sind unter vernünftigerweise vorhersehbaren Betriebsbedingungen, auch bei Verwendung optischer Hilfsmittel, sicher. Ist die Strahlung zugänglich, dann ist sie so schwach, dass jedwede Schädigung ausgeschlossen werden kann. Ist die Strahlung gefährlich, dann ist sie wegen des technischen Aufbaus der Lasereinrichtung unzugänglich, auch bei Fehlmanipulation. Große Laseranlagen im Industriebereich sind in der Regel so gekapselt, dass sie als Laser der Klasse 1 betrieben werden. Dies besonders auch deshalb, weil die Laserstrahlung im nicht-sichtbaren Wellenlängenbereich liegt.

Laserklasse 1M

Lasere der Klasse 1M emittieren einen zugänglichen Laserstrahl im Wellenlängenbereich 302,5 - 4000nm der entweder divergent verläuft oder aufgeweitet ist.

Für den gesamten Strahl ist eine Strahlungsleistung bis 0,5W (= Grenzwert für Klasse 3B) zulässig. Im Wellenlängenbereich 400-1400nm wird der Strahl von der Pupille beschnitten, weshalb nur ein Teilstrahl, der den Grenzwert der Klasse 1 nicht überschreitet, ins Augenninnere gelangen kann. Die Pupille macht dabei den eigentlich gefährlichen Laser augensicher.

Lasere der Klasse 1M können gefährlich sein, wenn sich ein optisches Instrument (Lupe, Mikroskop, Fernglas) vor dem Auge befindet. Eine Brille stellt kein optisches Instrument dar, da sie lediglich den eigentlich korrekten Sichtbereich des Auges herstellt. Bei Lasern der Klasse 1M muss der Hersteller angeben, bei welchen optischen Instrumenten vor dem Auge der Laser gefährlich werden kann.

Laserklasse 1C

Die Laserklasse 1C ist neu mit Stand 07-2015 und bildet eine Klasse für Geräte, die für den Kontakt mit dem „Zielobjekt“ wie z. B der Haut vorgesehen sind.

Dies sind beispielsweise Geräte, die zur Haarentfernung, Hautfaltenreduzierung, Tattoorentfernung und der Aknebehandlung - einschließlich für den Heimgebrauch - vorgesehen sind, können der Laserklasse 1C zugeordnet werden. Dabei müssen Schutzmaßnahmen ein Austreten von Laserstrahlung oberhalb der GZS (Gesamte Zugängliche Strahlung) von Klasse 1 verhindern. Geräte der Klasse 1C verfügen für gewöhnlich über spezielle Kontaktschalter, die ein

unbeabsichtigtes Austreten von Laserstrahlung bei korrekter Verwendung des Geräts verhindern. Häufig wird die elektrische Leitfähigkeit der Haut in den Schutzmechanismus mit eingebunden.

Laserklasse 2

Laser der Klasse 2 strahlen nur im sichtbaren Wellenlängenbereich (400-700nm) und emittieren im Dauerstrichbetrieb (CW-Laser) höchstens 1 Milliwatt an Leistung ab. Der zufällige, direkte Blick in den Laserstrahl erzeugt ggf eine Blendung, führt aber zu keinem Schaden, auch nicht bei Verwendung optischer Hilfsmittel. Blickt man absichtlich in den Strahl, so wird das reflexartige Schließen der Augenlider (Lidschlussreflex) unterdrückt. Dies sollte vermieden werden.

Laserklasse 2M

Laser der Klasse 2M emittieren einen zugänglichen Laserstrahl im sichtbaren Wellenlängenbereich (400-700nm), der entweder divergent verläuft oder aufgeweitet ist.

Für den gesamten Strahl ist eine Strahlungsleistung bis 0,5 W (= Grenzwert für Klasse 3B) zulässig. Im Wellenlängenbereich 400-1400 nm wird der Strahl von der Pupille beschnitten, weshalb nur ein Teilstrahl, der den Grenzwert der Klasse 1 nicht überschreitet, ins Augeninnere gelangen kann.

Laser der Klasse 1M können gefährlich sein, wenn sich ein optisches Instrument (Lupe, Mikroskop, Fernglas) vor dem Auge befindet. eine Brille stellt kein optisches Instrument dar, da sie lediglich den eigentlich korrekten Sichtbereich des Auges herstellt. Bei Lasern der Klasse 1M muss der Hersteller angeben, bei welchen optischen Instrumenten vor dem Auge der Laser gefährlich werden kann.

Laserklasse 3R

Laser der Klasse 3R dürfen im sichtbaren Bereich (400-700nm) bis 5 mW Leistung abstrahlen (entspricht 5 mal Klasse 2), im übrigen Bereich den 5-fachen Grenzwert für Klasse 1, ohne dass der Strahl aufgeweitet sein muss.

Erleichterungen gegenüber der Klasse 3B ist, dass kein Schlüsselschalter, keine Anschlussmöglichkeit für ein Interlocksystem und auch keine Zutrittsbeschränkung erforderlich ist. Eine direkte Bestrahlung der Augen vermeiden. Den Lidschlussreflex nicht unterdrücken. Ansonsten können derartige Systeme im Showlaserbereich üblicherweise als unbedenklich eingestuft werden.

Laserklasse 3B

Laser der Klasse 3B geben im Dauerstrichbetrieb (CW-Laser) maximal eine Leistung von 500 mW ab. Das Betrachten der Strahlauftreffstelle auf einer nichtreflektierenden Wand (diffuse Reflexion)

führt zu keinem Augenschaden. Nach Norm soll dabei eine Distanz vom Bild mehr als 13 cm und die zusammenhängende Betrachtungsdauer nicht mehr als 10s betragen.

Der direkte Blick in den Strahl oder in eine spiegelnde Reflexion kann zu Augenschäden führen. Nicht dem Strahl aussetzen, außer in einem Abstand in dem der MZB (Maximal Zulässiger Bestrahlungswert) Wert eingehalten wird.

Laserklasse 4

Alle Laser, die die Bedingungen der Klassen 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R oder 3B nicht erfüllen, werden der Klasse 4 zugeordnet. Für die Laserklasse 4 gibt es keine obere Begrenzung. Strahl wie auch Reflexion gefährden Augen und Haut. Daher Bestrahlung von Augen und Haut vermeiden, wenn der MZB Wert nicht eingehalten wird. Durch geeignete Maßnahmen können auch Klasse 4 Laser (die im Dauerstrichbetrieb und zwischen 400 und 700nm arbeiten) problemlos für Publikumsshows (Audience Scanning) eingesetzt werden. Der MZB Wert darf dabei nicht überschritten werden. Laser der Klasse 4 können auch Brände oder Explosionen auslösen, ein Umgang erfordert daher ganz besondere Wachsamkeit.

Laserworld Group

<https://www.laserworld.com/de/lasersicherheits-faq/2955-laserklassen.html>

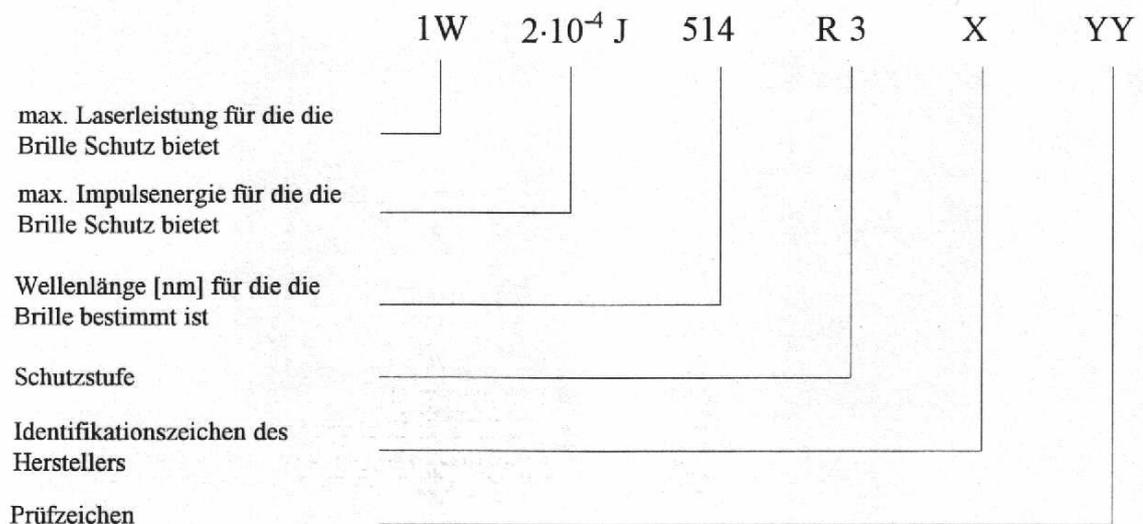
Laserjustier- und Laserschutzbrillen

Brillen für den Strahlenschutz sollen nur die Laserstrahlung absorbieren oder reflektieren. Für das Umgebungslicht soll die Transmission möglichst hoch sein.

Laserjustierbrillen

- sind nur für den Spektralbereich zwischen 400 und 700 nm verfügbar
- für Wartungs- und Justierarbeiten ist der Laserstrahl noch gut sichtbar
- Justierbrillen sind so ausgelegt, daß die Strahlungsleistung, die das Auge noch erreichen kann, max. 1 mW beträgt
- sind nicht für den bewußten Blick in den Strahl geeignet

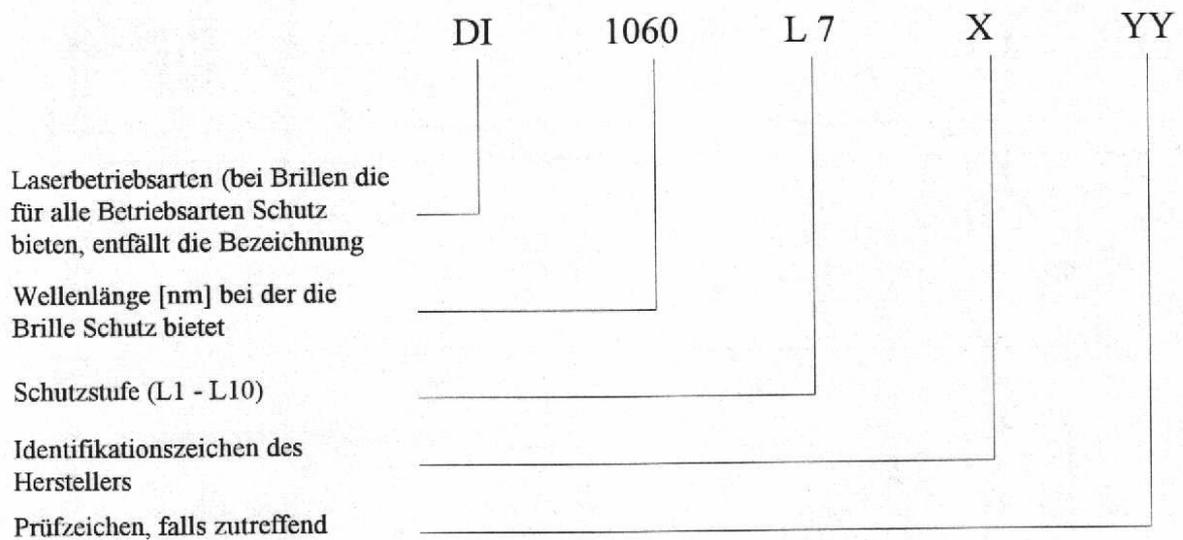
Kennzeichnung von Justierbrillen

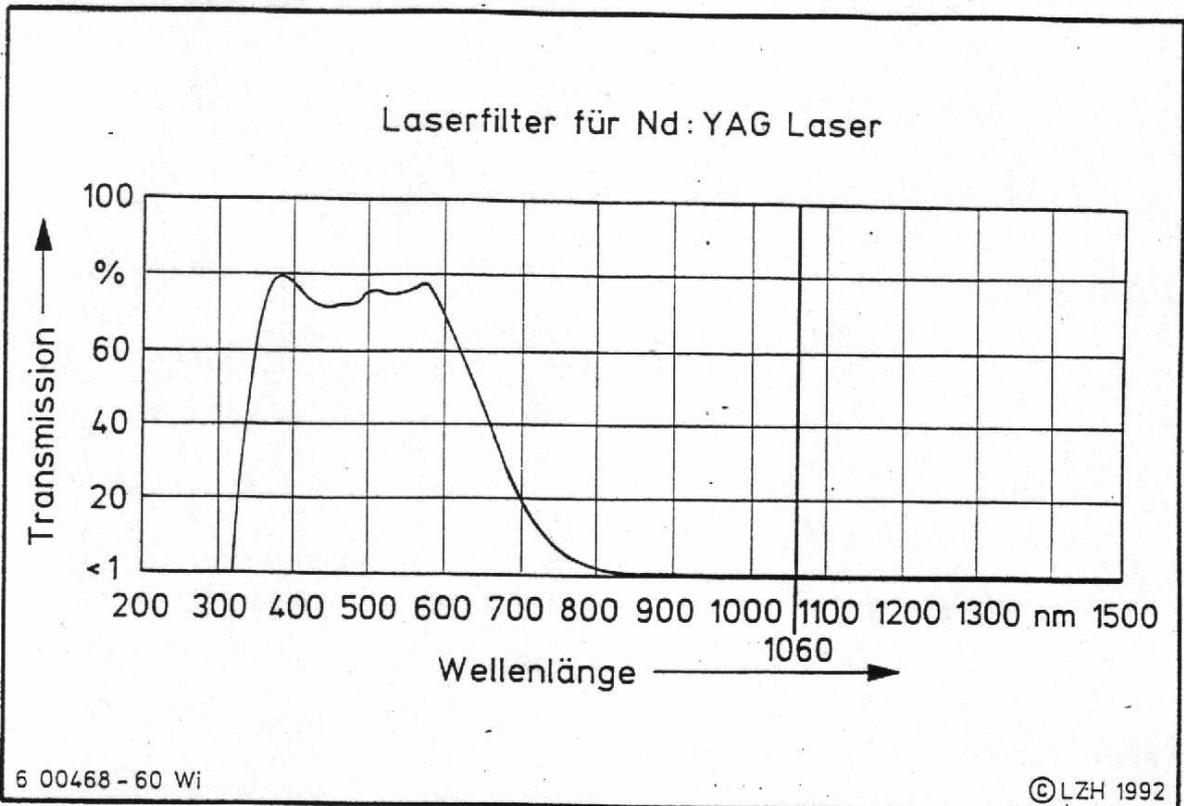


Laserschutzbrillen

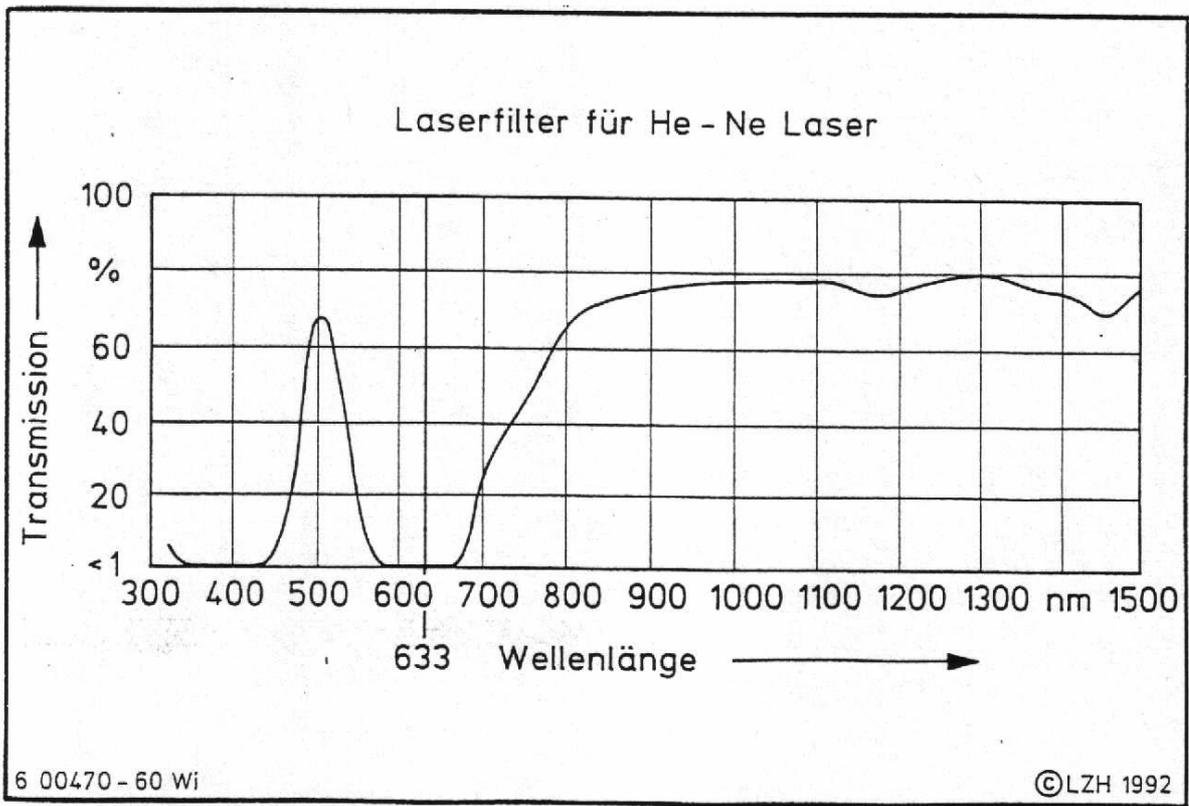
- sind auch für den direkten Blick in den Strahl geeignet
- schwächen den Strahl so stark ab, daß er nicht mehr verfolgt werden kann
- Berücksichtigung der verschiedenen Laserbetriebsarten
 - Dauerstrichlaser (D)
 - Impulslaser (I)
 - Riesenimpulslaser (R)
 - modengekoppelte Laser (M)

Kennzeichnung von Laserschutzbrillen





6 00468 - 60 Wi	Transmissionsgrad für Schutzbrille (2 von 4)	
-----------------	--	--



6 00470 - 60 Wi	Transmissionsgrad für Schutzbrille (4 von 4)	
-----------------	--	--