

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 .

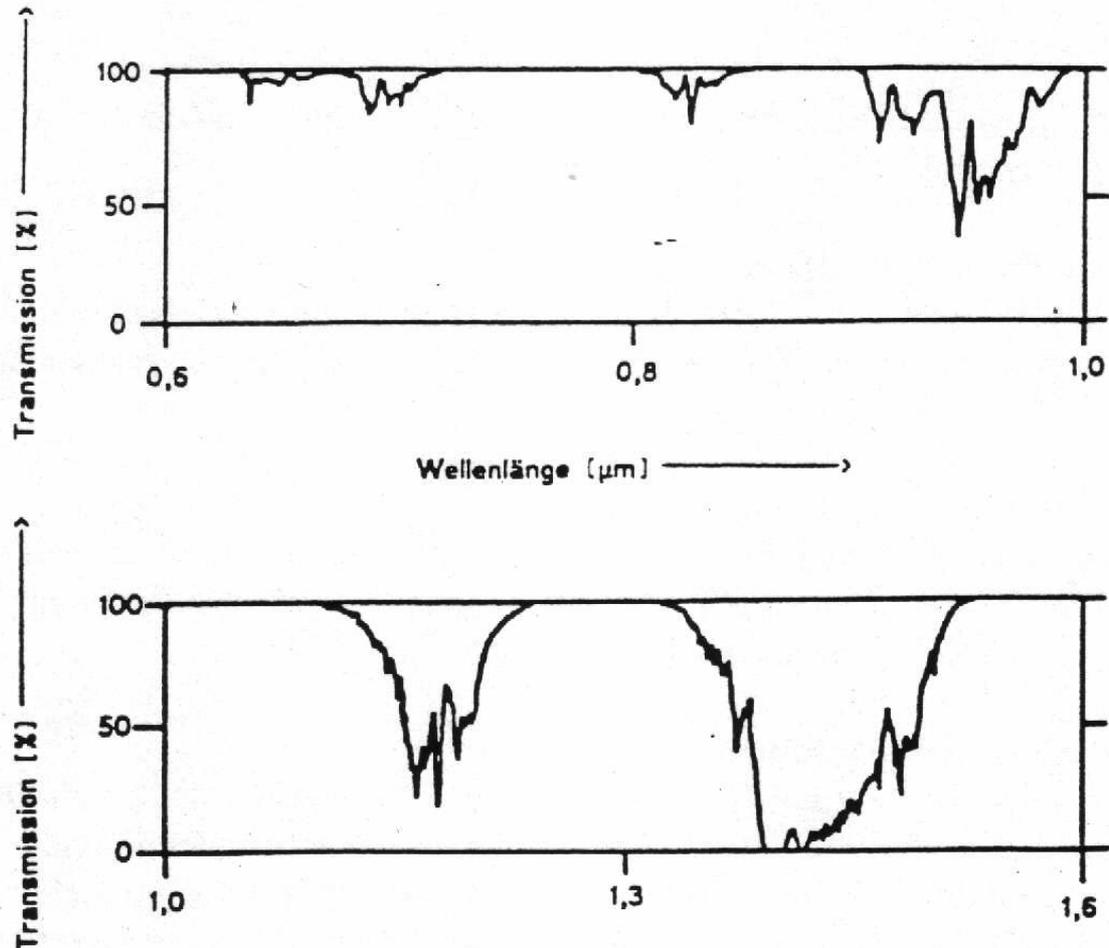


Abb. 1: Transmission des Wassers als Funktion der Wellenlänge

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.

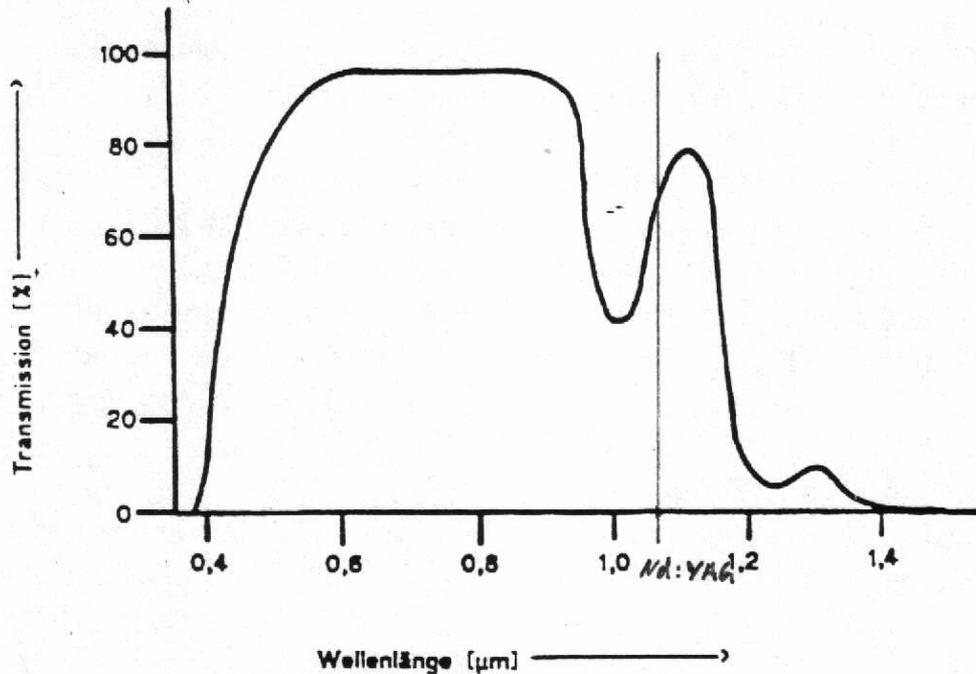


Abb. 3: Transmission des Auges als Funktion der Wellenlänge

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.

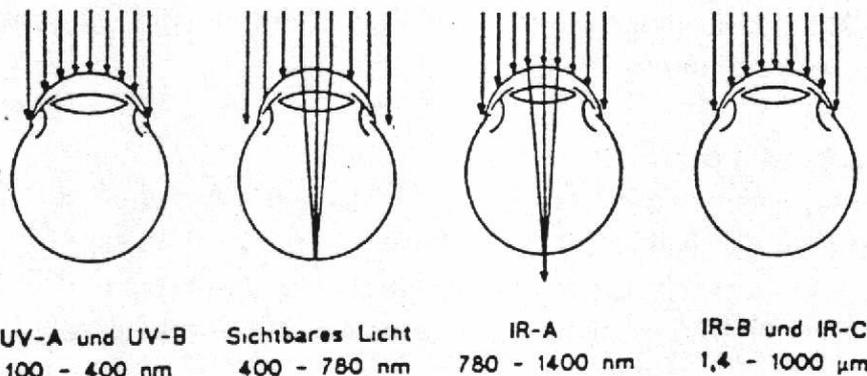


Abb. 4: Eindringtiefe optischer Strahlung in das Auge für verschiedene Wellenlängenbereiche

Laserklassifizierung

Die Einteilung von Lasergeräten in verschiedene Klassen soll die Einschätzung einer möglichen Gefährdung vereinfachen und dem Benutzer die Auswahl der zu ergreifenden Schutzmaßnahmen erleichtern.

Folgende Übersicht gilt nur für cw - Laser im Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm und Einlinienbetrieb. Die Einwirkdauer der Laserstrahlung liegt zwischen 1000 s und 30000 s.

Laser der Klasse 1

- Strahlungsgrenzwert: 0,39 μW im Wellenlängenbereich 400 - 550 nm
0,69 μW bei 700 nm (ab 550 nm ansteigend)
- Schutzmaßnahmen: Nicht erforderlich (auch direkter Blick in den Strahl möglich)
- Besonderheiten: Es kann sich um gekapselte Lasersysteme handeln

Laser der Klasse 2 (nur im sichtbaren Spektralbereich definiert)

- Strahlungsgrenzwert: 1 mW
- Schutzmaßnahmen: Augenschutz durch Lidschlußreflex sichergestellt

Laser der Klasse 3a

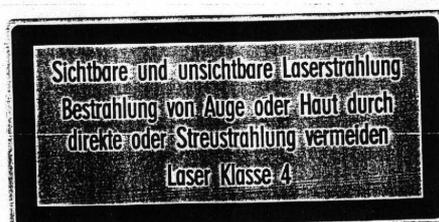
- Strahlungsgrenzwert: 5 mW, wenn gleichzeitig die Leistungsdichte weniger als 25 W/m^2 beträgt
- Schutzmaßnahmen: Siehe Laser der Klasse 2
- Besonderheiten: Strahlquerschnitt darf nicht mit Hilfe von optischen Instrumenten verkleinert werden

Laser der Klasse 3b

- Strahlungsgrenzwert: 500 mW
- Schutzmaßnahmen: Tragen von Schutzbrillen, da die direkte Strahlung auf alle Fälle für das Auge gefährlich ist
Streustrahlung ist unter bestimmten Bedingungen ungefährlich
Teilweise auch Gefährdung der Haut möglich

Laser der Klasse 4

- Strahlungsgrenzwert: Größer 500 mW
- Schutzmaßnahmen: Tragen von Schutzbrillen und meist auch Hautschutz
Auch diffus gestreute Strahlung ist für das Auge gefährlich



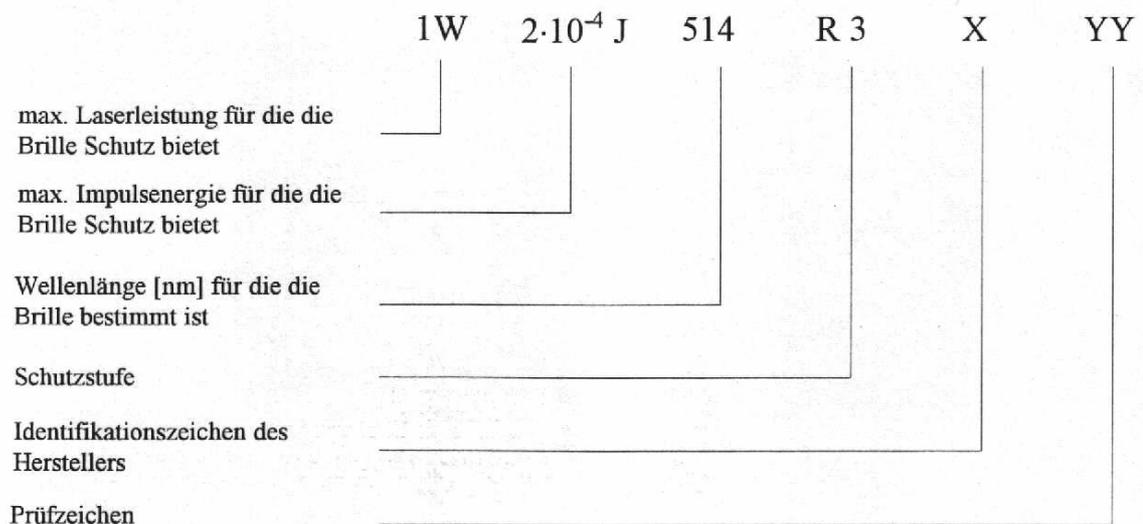
Laserjustier- und Laserschutzbrillen

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

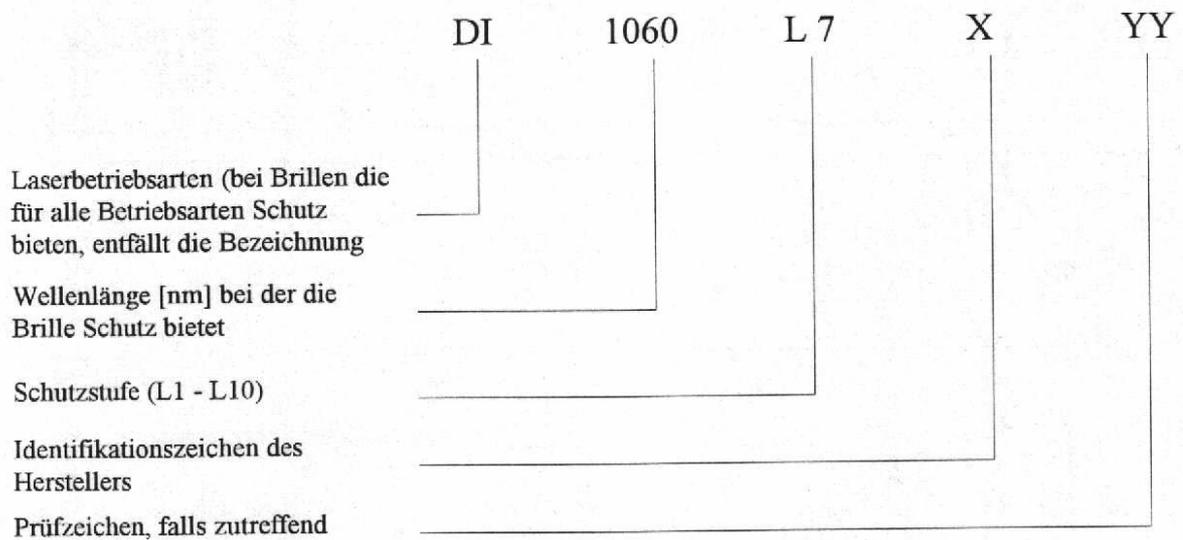
Kennzeichnung von Justierbrillen

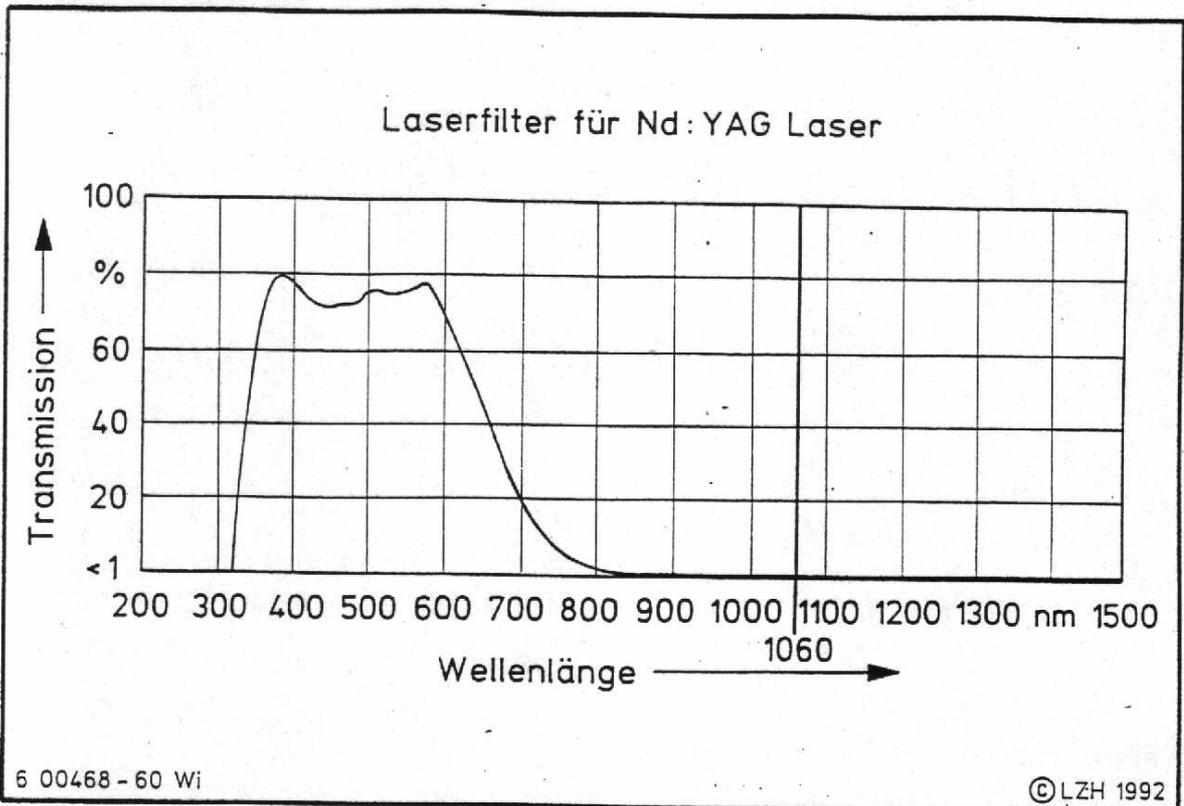


Laserschutzbrillen

- 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)

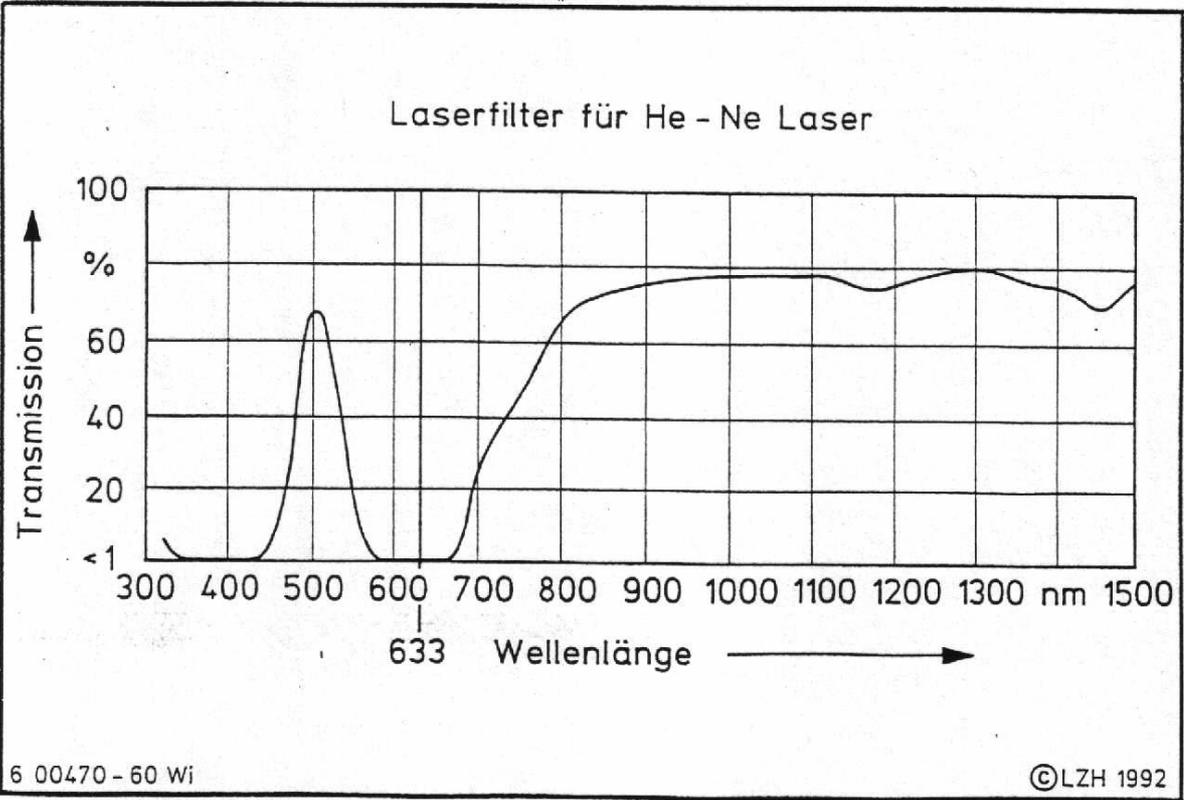
Kennzeichnung von Laserschutzbrillen





6 00468 - 60 Wi

Transmissionsgrad für Schutzbrille (2 von 4)



6 00470 - 60 Wi

Transmissionsgrad für Schutzbrille (4 von 4)

