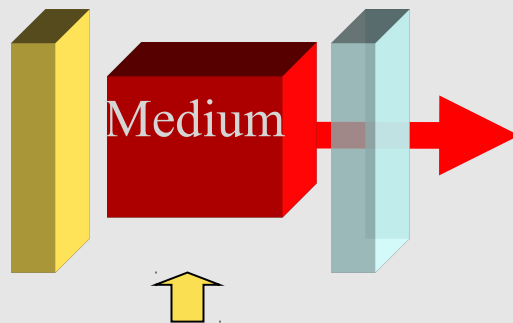


Laserschutzunterweisung - Überblick

- ◆ Laserstrahlung: Eigenschaften
- ◆ Unfallgefahren
- ◆ Schutzmassnahmen und Bedienungsvorschriften
- ◆ Verhalten bei Fehlfunktion und Unfällen

Laserstrahlung: Eigenschaften

Hochrefl. Spiegel



Anregungs-
mechanismus

monochromatisch

geringe Divergenz

Kohärenz

hohe Energiedichte

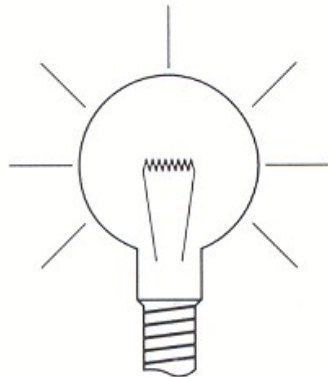
kann unsichtbar sein

kann gepulst sein (μs , ns, ps, fs)

Laserstrahlung: Eigenschaften

Abstrahlcharakteristik

Vergleich Glühlampe / Laser



Vollraum
 $\Theta^2 \sim 4\pi$ [sr]



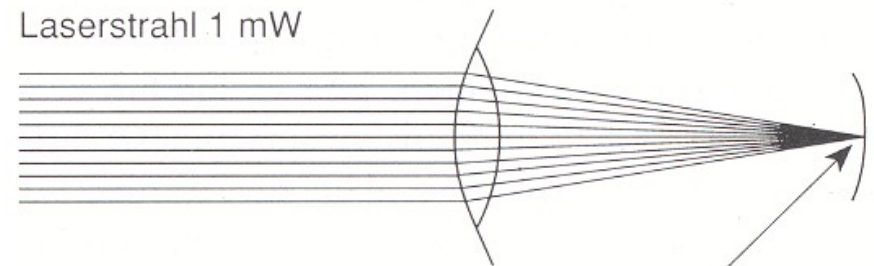
kleiner Raumwinkel
 $\Theta^2 < 10^{-5}$ [sr]

Bündelung der Strahlung um $\times 10^6$

Leistungsdichte

Wirkungsvergleich Laser / Herdplatte

Laserstrahl 1 mW



Durchmesser

10 μm

Fläche

$78,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$

Leistungsdichte

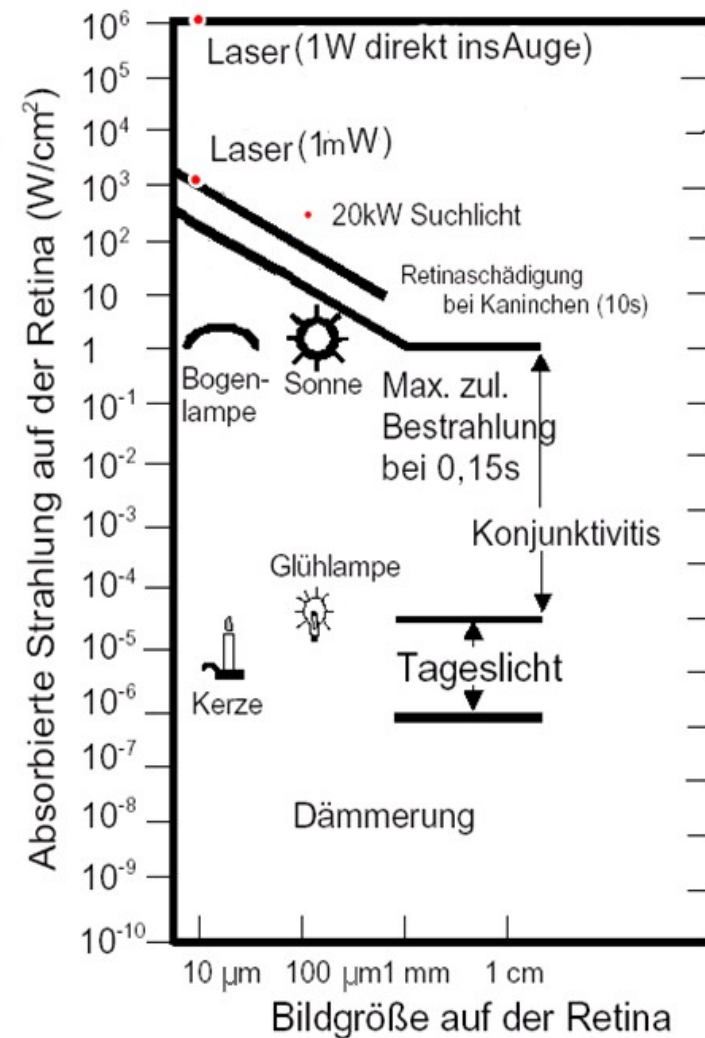
1270 W/cm²

zum Vergleich 20 cm-Herdplatte (1 kW): 3 W/cm²
Dies entspricht dem Faktor 400!

Laserstrahlung: Eigenschaften

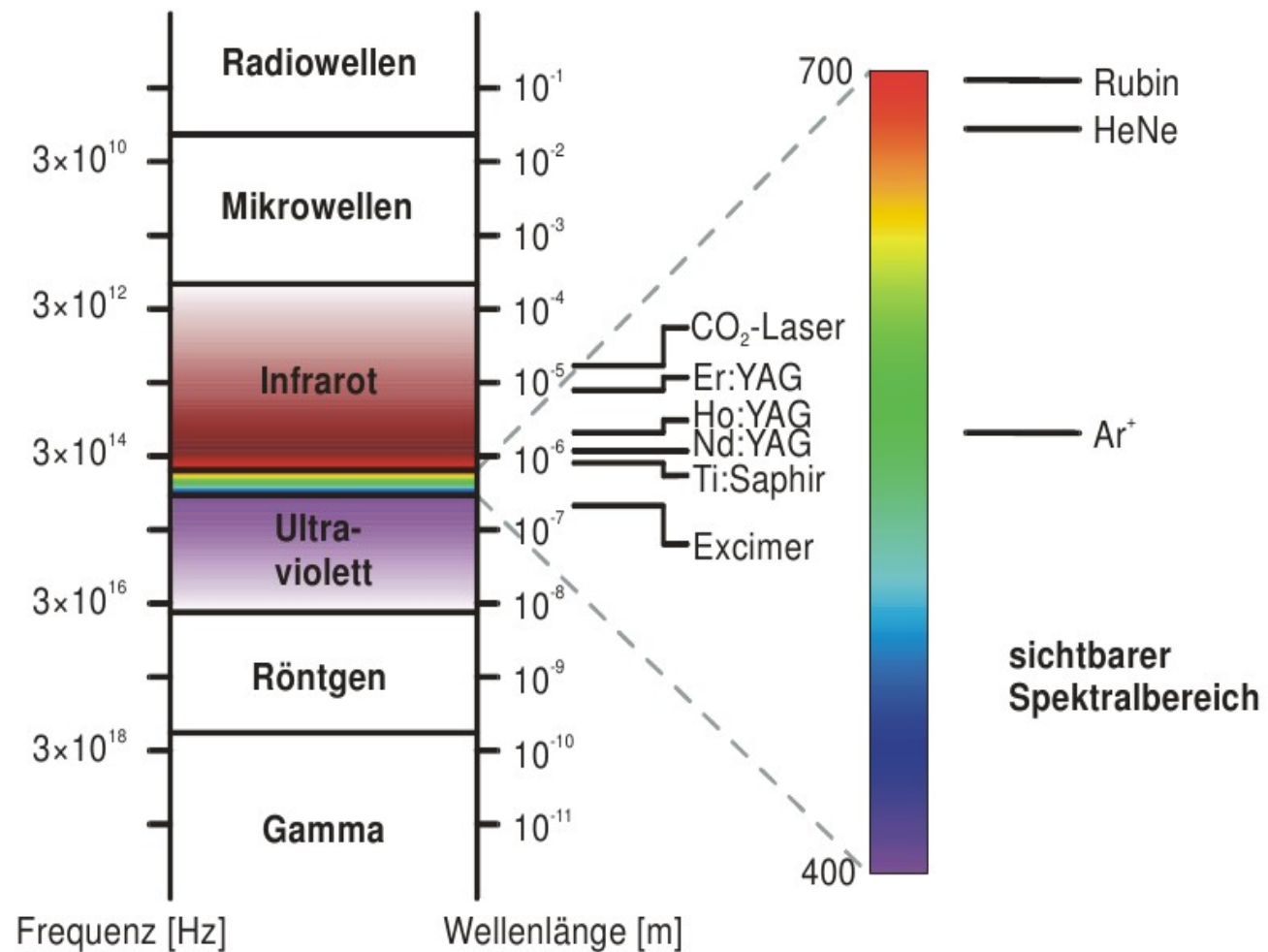
Laser im Vergleich zu anderen Strahlungsquellen

- Praktisch jeder Laser ist gefährlicher als alle anderen natürlichen oder künstlichen Lichtquellen!

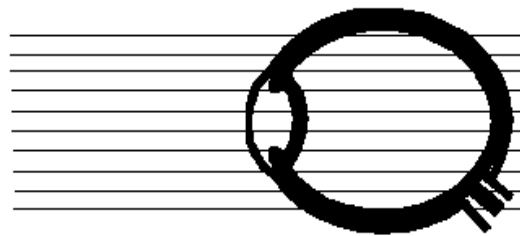


Laserstrahlung: Eigenschaften

Das „Elektromagnetische Spektrum“

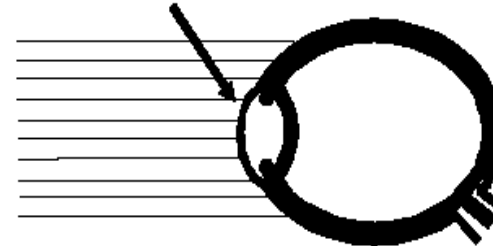


Wellenlängenabhängige Durchdringung des Auges



Mikrowellen,
Röntgenstrahlen

-100 %
Absorption



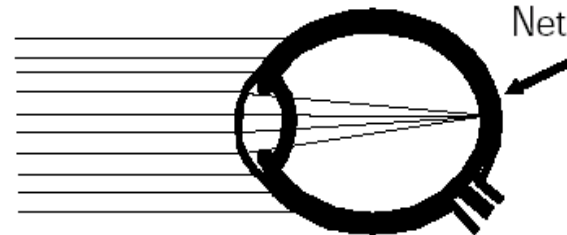
VUV und Fern-Infrarotstrahlung

50 %
Absorption



Nahes UV

Netzhautschäden

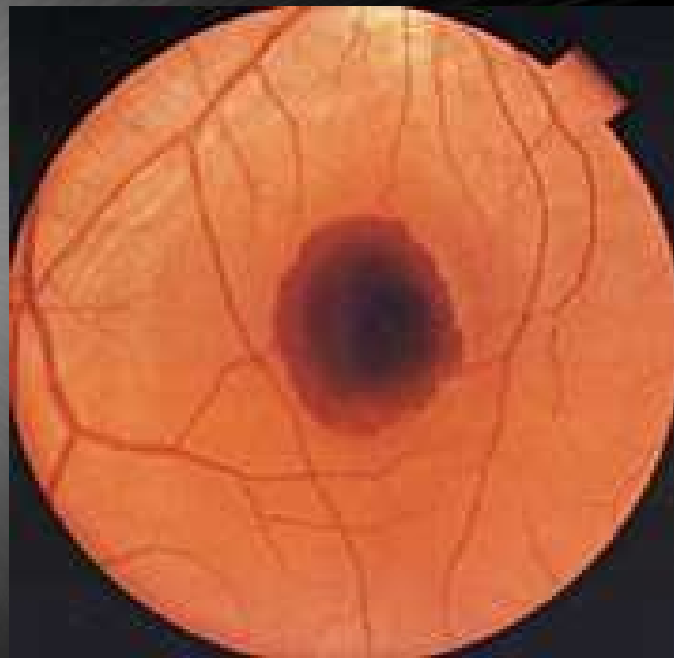


Sichtbar und Nahes Infrarot

Augenschäden

Farbstofflaser 620 nm, Nd:YAG gepumpt, gepulst mit 10 Hz ohne Augenschutz

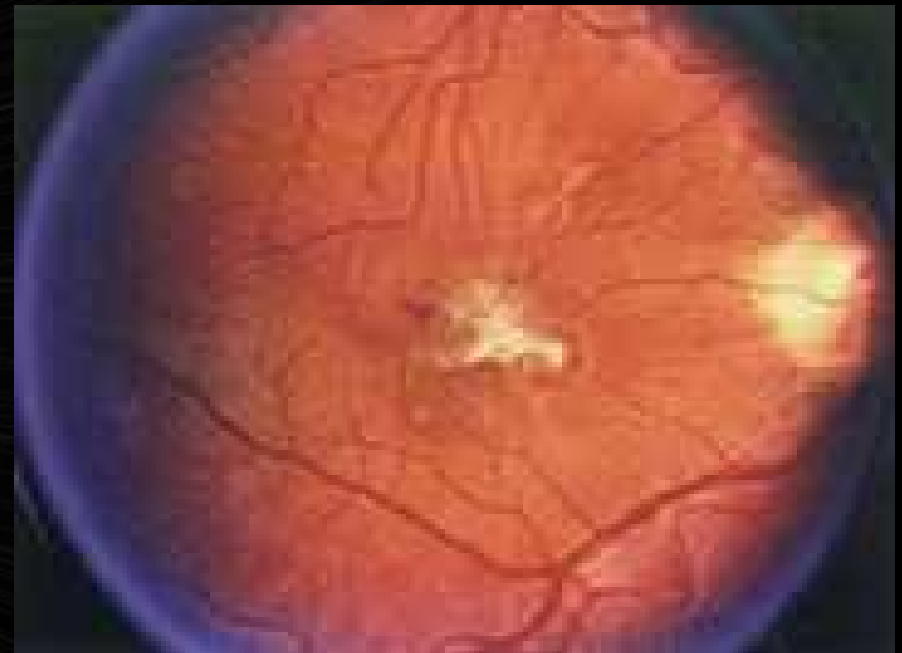
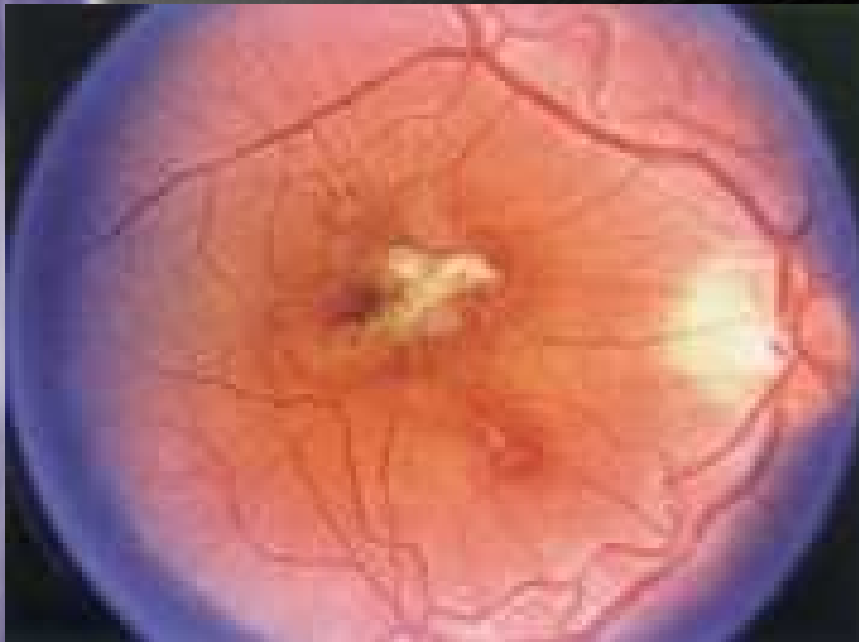
Strahlungsexposition von 550 μJ war 3 000 mal größer als die Grenzbelastung von 0.19 μJ



Laserverbrennungen mit Ödemen, subretinalen Blutungen, Zerreißen der internen Grenzmembran

Augenschäden

IR Laser mit 15 mJ bei 1 054 nm



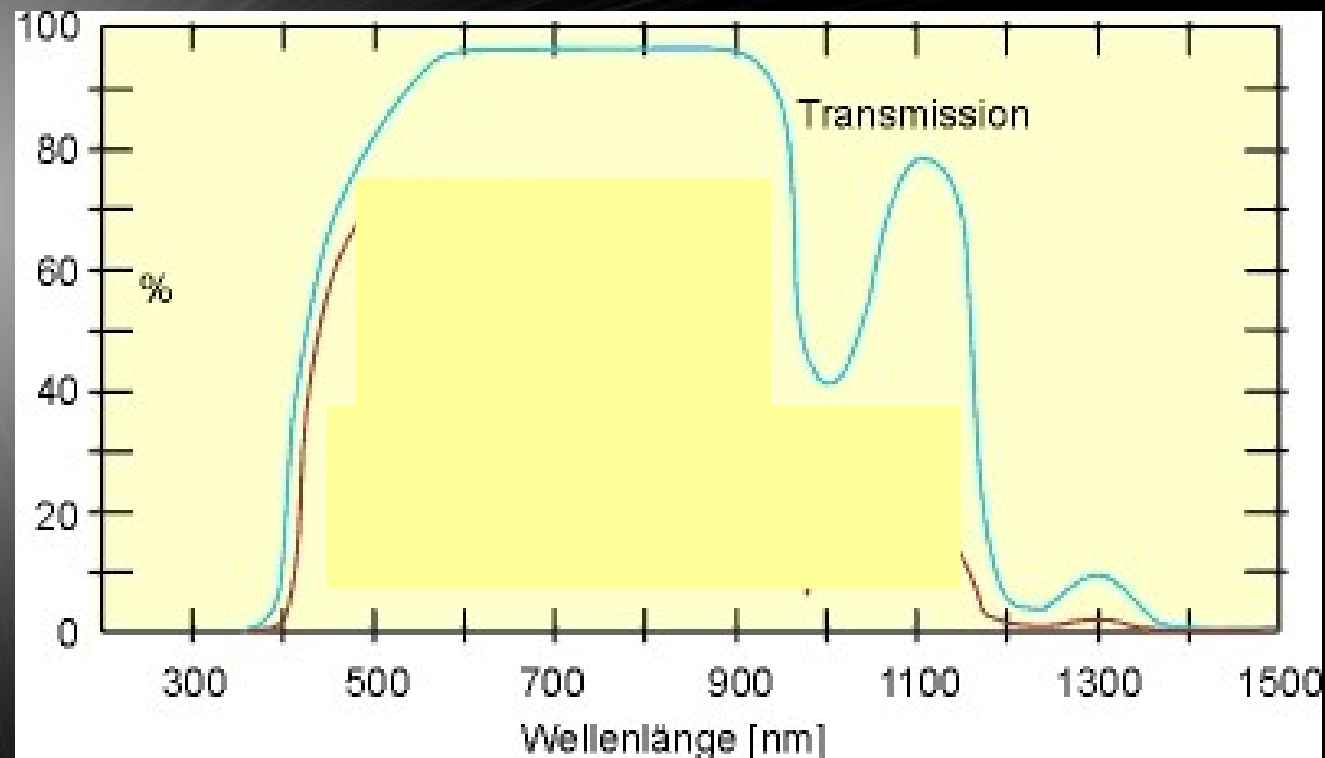
Laserverbrennungen mit Ödemen, subretinalen Blutungen,
Zerreißen der internen Grenzmembran

Schädigung in Abhängigkeit der Transmission des Auges

Schneeblindheit
Hornhautschädigung

Netzhautkoagulation

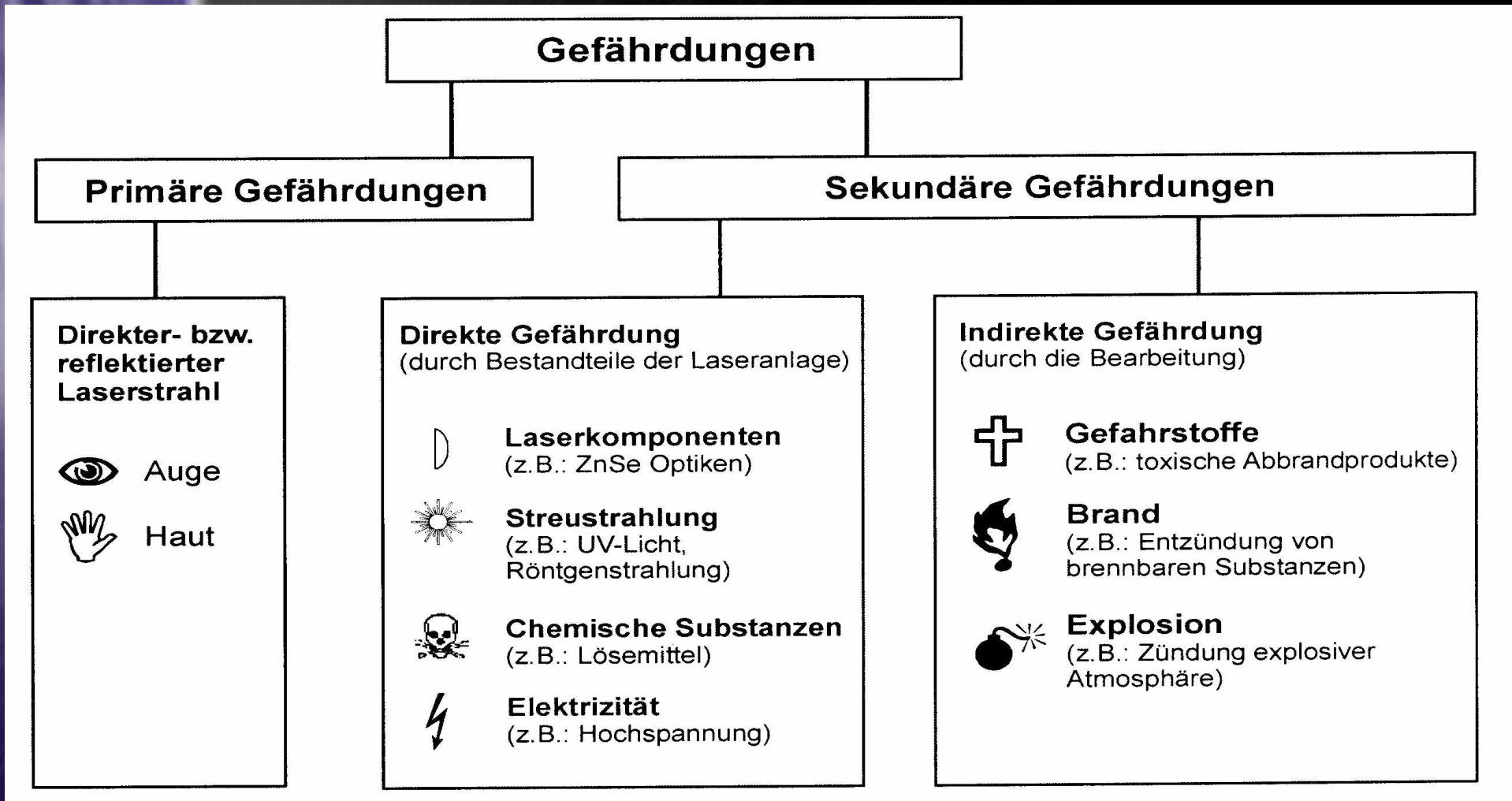
Linsentrübung
grauer Star



Schädigung in Abhängigkeit der Transmission des Auges

Wellenlängenbereich		Wirkung auf die Augen	Schädigungsmechanismus
100-315 nm	UV	Hornhautentzündung	Denaturierung der Proteine der Hornhaut durch photochemische Prozesse (verblitzen) Excimer-Laser
315-400 nm		Linsentrübung	Absorption in der Linse, 'grauer Star'
400-700 nm	VIS	Verletzung der Netzhaut	Schaden der Netzhaut durch Aufheizen des Melanin im Zellgewebe oder photochemisch am Rezeptor He-Ne-Laser
700-1400 nm	IR	Linsentrübung, Verletzung der Netzhaut	Hochleistungsdioden-Laser
1400-3000 nm		Linsentrübung, Verbrennung der Hornhaut	Nd-YAG-Laser
3000 nm- 1mm		Verbrennung der Hornhaut	CO₂-Laser

Unfallgefahren



Laserschutzbereiche

Kennzeichnung:

Nur Zutritt mit Laserschutzunterweisung



Laserschutzklassen

- Klasse 1: Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich
- Klasse 1M: Die zugängliche Laserstrahlung liegt in einem Wellenlängenbereich von 302.5 nm bis 4 000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente verkleinert wird.



Laserschutzklassen

- Klasse 2: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0.25 s) auch für das Auge ungefährlich.
- *Zufällige kurzzeitige Einwirkung, d.h. 0.25 s schädigen das Auge nicht. Klasse 2 Laser dürfen deshalb ohne weiteren Schutz eingesetzt werden.*

$$P_{\text{Grenz}} = 1\text{mW}$$



Laserschutzklassen

- Klasse 2M: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im **sichtbaren Spektralbereich** (400 nm bis 700 nm).

- Die zugängliche Laserstrahlung ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0.25 s) ungefährlich solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente verkleinert wird.

Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm entsprechen Klasse 1M.

Laserschutzklassen

- Klasse 3R: Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302.5 nm bis 10^6 und ist gefährlich für das Auge.

Die Leistung bzw. die Energie beträgt das fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung für Klasse 2, in den übrigen Wellenlängenbereichen das fünffache des Grenzwertes für Klasse 1

Für cw Laser beträgt der Grenzwert der zugänglichen Strahlung 5 mW.

(vgl. Laserpointer <1mW)

Unsichtbare Laserstrahlung

**Nicht dem Strahl aussetzen
Laser Klasse 3R**

nach DIN EN 60825-1:2001-11

Laserschutzklassen

- Klasse 3B: Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut.

Direktes Blicken in den Strahl schädigt das Auge.

- Klasse 4: Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Laserstrahlung kann Brand- und Explosionsgefahr verursachen.

Laser der Klasse 4 sind Hochleistungslaser. Bei Lasereinrichtungen der Klasse 4 muss geprüft werden ob ausreichend Maßnahmen gegen Brand und Explosionsgefahr getroffen wurde.

Beschilderung von Laseranlagen (Klassen 3R, 3B und 4)

Laser Klasse 3R (sichtbare Strahlung)



Laserstrahlung
Direkte Bestrahlung der Augen
vermeiden
Laser Klasse 3R
nach DIN EN 60825-1:2001-11

$P_s = \text{_____ W}$
 $\lambda = \text{_____ nm}$

Laser Klasse 3B (unsichtbare Strahlung)



Unsichtbare Laserstrahlung
Nicht dem Strahl aussetzen
Laser Klasse 3B
nach DIN EN 60825-1:2001-11

$P_s \text{ _____} = \text{W}$
 $P_r \text{ _____} = \text{W}$
 $f \text{ _____} = \text{s}$
 $F \text{ _____} = \text{Hz}$
 $\lambda \text{ _____} = \text{nm}$

Laser Klasse 4 (unsichtbare Strahlung)



Unsichtbare Laserstrahlung
Bestrahlung von Auge oder
Haut durch direkte oder
Streustrahlung vermeiden
Laser Klasse 4
Nach DIN EN 60825-1:2001-11

$P_s = 100 \text{ W}$
 $P_r = \leq 5,5 \text{ kW}$
 $t = 0,1 \text{ ms} - 20 \text{ ms}$
 $F = \text{Einzelimpuls bis } 300 \text{ Hz}$
 $\lambda = 1004 \text{ nm}$

Schutzmassnahmen



Persönlicher Augenschutz



Laserschutzbrillen

DIN EN 207



Schutzstufen

L1 - L10

Laser - Justierbrillen

DIN EN 208

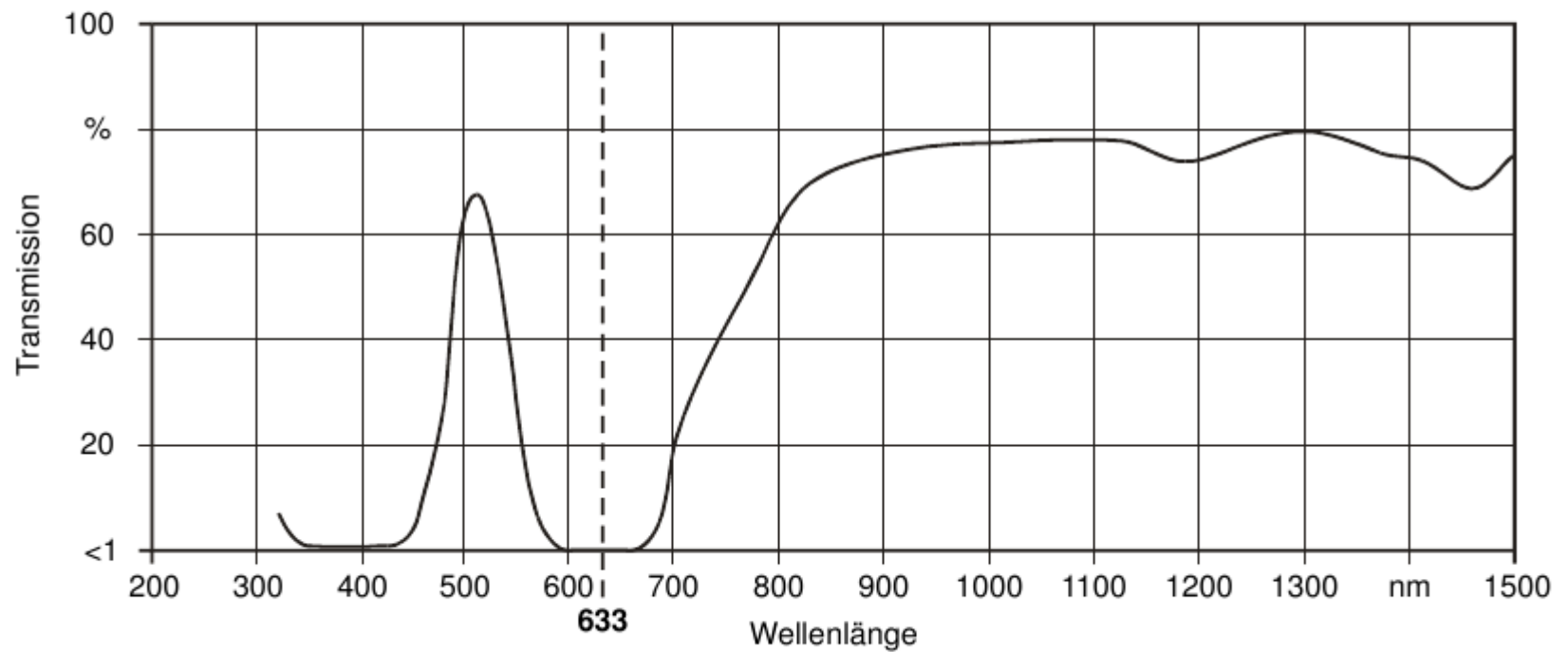


Schutzstufen

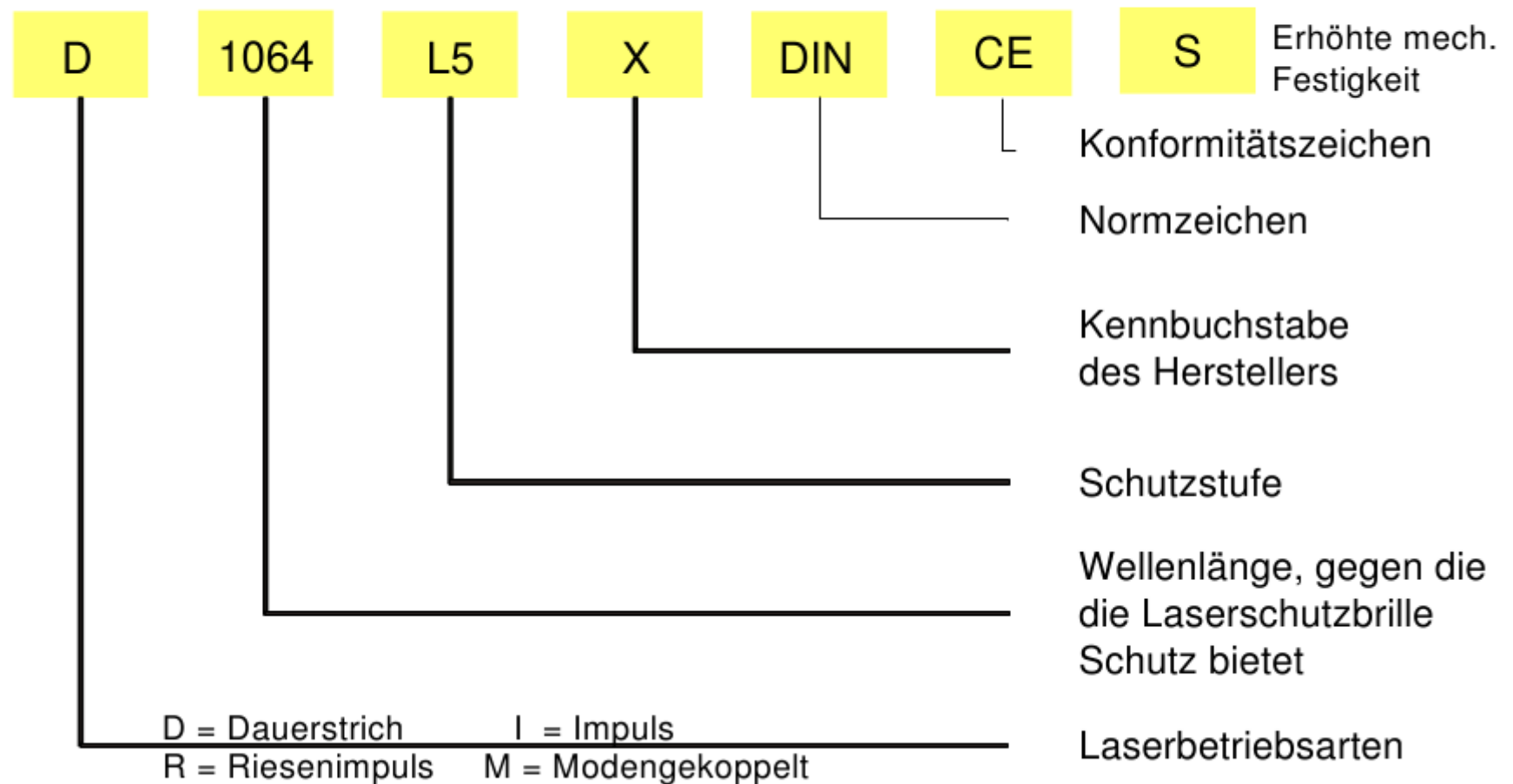
R1 - R5

Transmissionsgrad für Strahlschutzfilter

Strahlschutzfilter für He-Ne-Laserstrahlung ($\lambda = 633 \text{ nm}$)



Kennzeichnung von Laserschutzbrillen



Schutzstufen und Verwendung der Laserschutzfilter bzw. Laserschutzbrillen

Schutz- stufe	Maximaler spektraler Trans- missions- grad bei den Laserwellen- längen $\tau\ (\lambda)$	Leistungs- bzw. Energiedichte (E,H) zur Prüfung der Schutzwirkung und der Beständigkeit gegen Laserstrahlung im Wellenbereich								
		180 nm bis 315 nm			>315 nm bis 1400 nm			>1400 nm bis 1000 μm		
		Für Prüfbedingungen / Impulsdauer in s								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R 10^{-9} bis 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^{-9} bis 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R 10^{-9} bis 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H_M J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²
L1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
L2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
L3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
L4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
L5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
L6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
L7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
L8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
L9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
L10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

Die Bedeutung von D, I, R und M ist bezüglich der Prüfbedingungen in Tabelle 4 erläutert

Quelle: DIN EN 207: A1:2002



Massnahmen

Nie in den Laserstrahl blicken

Auch nicht mit Laser- oder Justierbrillen



Maßnahmen

Klasse 3R, 3B und 4:

Laserschutzunterweisung erforderlich:
Vorsicht und Sachkenntnis

- Augenschutz muss vorhanden sein, Auswahl nach Laserleistung, Wellenlänge und Strahldurchmesser

Abgrenzung des Laserbereichs



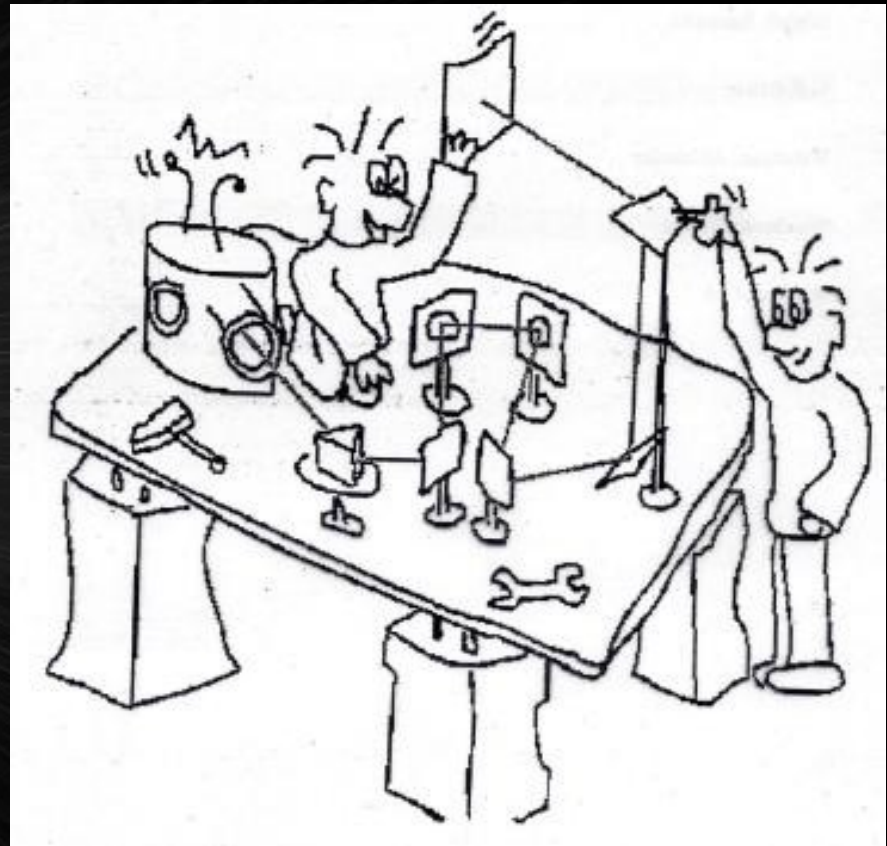
Massnahmen

- Keine reflektierenden Materialien im Labor:
Glas, Metall, Werkzeug

Armbanduhr und Schmuck o.ä.
unbedingt abnehmen

- Verdunkelung benutzen um Austritt von
Laserstrahlung zu verhindern

Massnahmen



So bitte nicht!!!!



Massnahmen

Strahlengang nicht in Augenhöhe

Strahlende immer blockieren

Strahlwege abschirmen

Streulicht vermeiden

helle Raumbeleuchtung (wenn möglich)



Im Schadensfall

Laser aus!

Erste Hilfe: Art der Verletzung?

- Arzt aufsuchen: Augenhintergrunduntersuchung
(auch nur im Verdachtsfall)
- Vorgesetzten und Laserschutzverantwortlichen
sofort informieren