

Lasersicherheit

Josef Tiggesbäumker
Laserschutzbeauftragter

Problemstellung
Laserparameter
Schädigung des Gewebes
Schädigung des Auges
Laserklassifizierung
Schutzmaßnahmen
Gefährdung durch andere Ursachen



8.3.2013
Fussballstar Frank Lampard
Opfer einer Attacke mit
einem Laserpointer

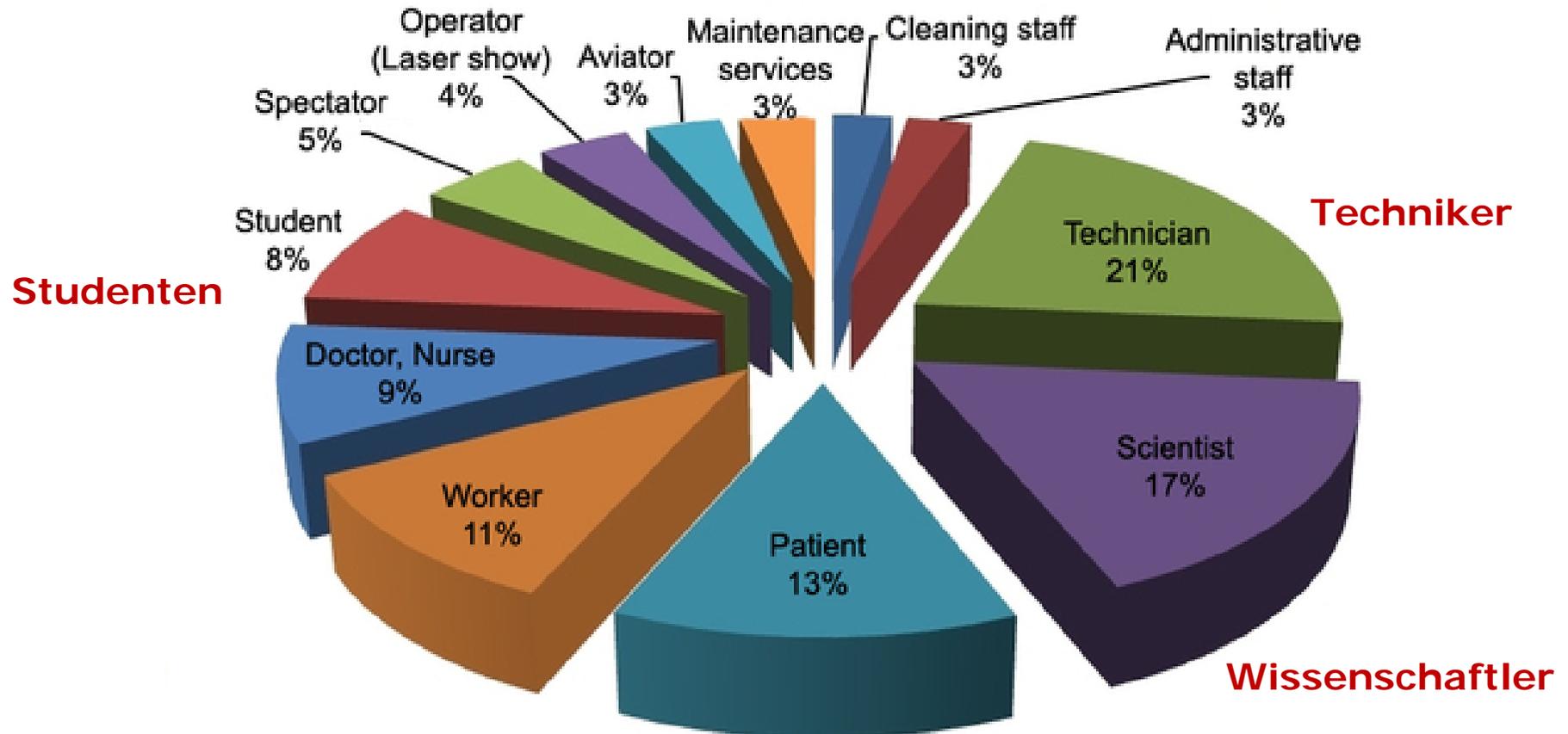
Russland Technofans erblinden bei Lasershow

Partynacht mit schlimmen Folgen: Bei einem Musikfestival in Russland sind mehrere Jugendliche durch Laserstrahlen erblindet. Mehr als 30 Besucher mussten in ein Krankenhaus gebracht werden.



Bei den behandelten Teenagern wurden schwere Verletzungen der Augen diagnostiziert, wie die Tageszeitung "Kommersant" berichtete. "Alle haben verbrannte Netzhäute, man kann richtige Wunden sehen", sagte ein Arzt. "Der Verlust des Augenlichtes beträgt in manchen Fällen bis zu 80 Prozent, und es ist sehr unwahrscheinlich, dass die Sehkraft wiederkommt."

Der Vorfall ereignete sich den Angaben zufolge bereits vor einer Woche bei einem Musikfestival in der Stadt Wladimir, etwa 170 Kilometer östlich von Moskau. Die Verletzten berichteten, dass die Laserstrahlen, die eigentlich den Himmel erleuchten sollten, plötzlich auf die Zuschauerreihen gerichtet worden seien. "Ich sah sofort nur noch einen schwarzen Punkt, wie wenn man in die Sonne guckt", sagte ein Jugendlicher.



Häufigste Ursache für Laserunfälle sind
 Fehler bei Justierungsarbeiten
 Hochspannungsunfälle,
 Falsch gewählte Laserschutzbrille
 Mangelnde Sorgfalt nach Reparaturmaßnahmen
 Inhalation toxischer Substanzen

Lasersicherheit Eigenschaften



Laserparameter: Pulsenergie/-leistung

Lasersysteme können kontinuierlich (CW) oder gepulst arbeiten (ns/ ps/ fs) arbeiten

relevante Messgröße für kontinuierlich arbeitende Lasersysteme

cw - Leistung

[W]

relevante Messgröße für gepulste Lasersysteme

$$\text{Pulsleistung} = \frac{\text{Pulsenergie}}{\text{Pulsdauer}}$$

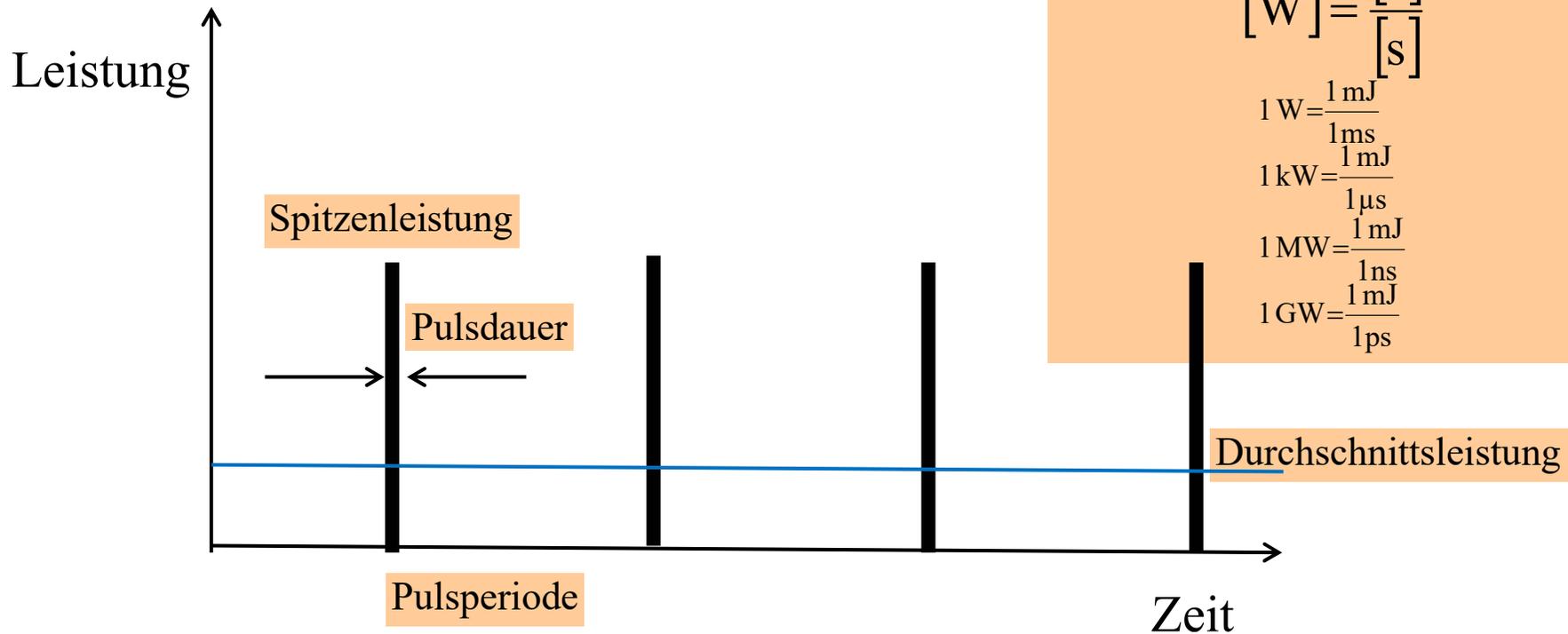
$$[\text{W}] = \frac{[\text{J}]}{[\text{s}]}$$

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ mJ}}{1 \text{ ms}}$$

$$1 \text{ kW} = \frac{1 \text{ mJ}}{1 \mu\text{s}}$$

$$1 \text{ MW} = \frac{1 \text{ mJ}}{1 \text{ ns}}$$

$$1 \text{ GW} = \frac{1 \text{ mJ}}{1 \text{ ps}}$$

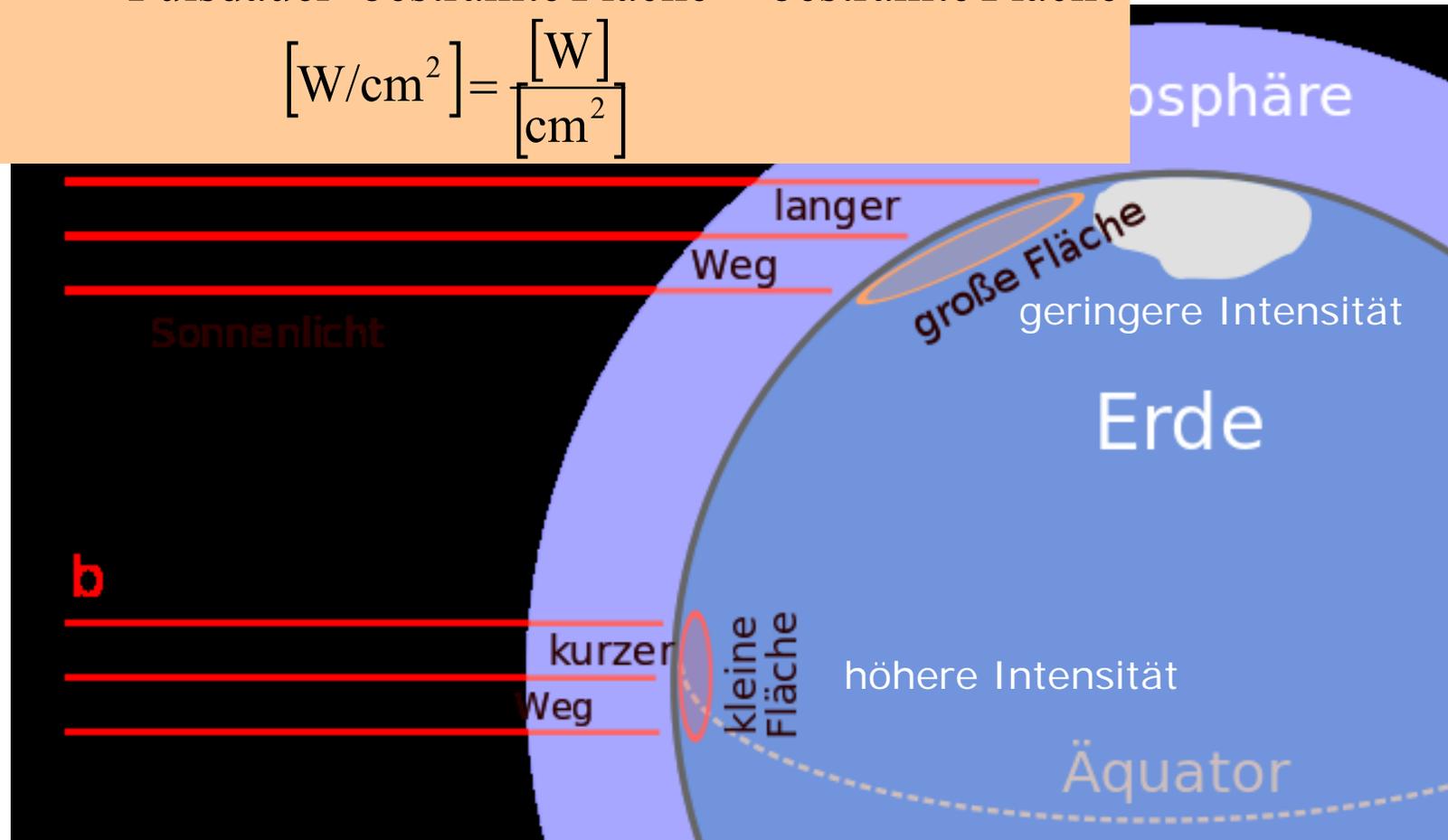


Wiederholraten von gepulsten Lasersystemen können von 1 Hz bis 100 MHz betragen
 Pulse gleicher Energie und aber geringerer Pulsdauer, haben höhere Spitzenleistung

Laserparameter: Pulsintensität

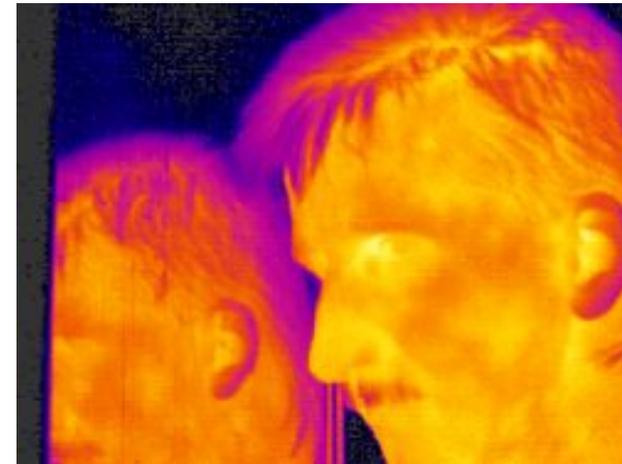
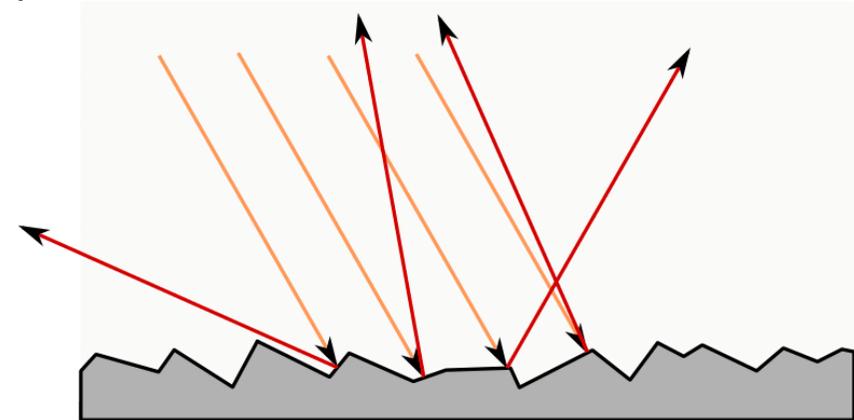
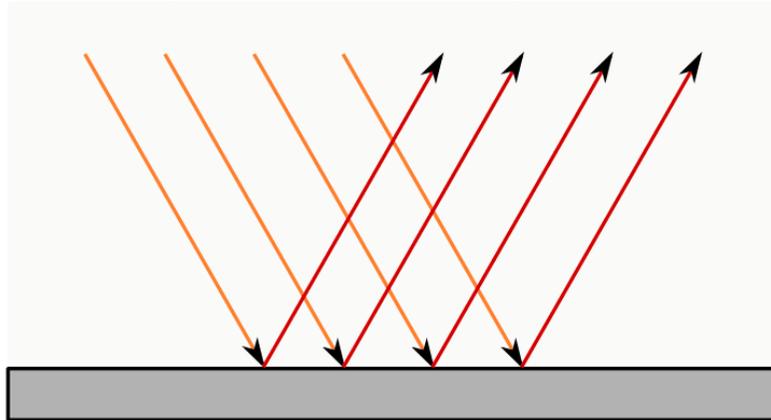
$$\text{Pulsintensität} = \frac{\text{Pulsenergie}}{\text{Pulsdauer} \cdot \text{bestrahlte Fläche}} = \frac{\text{Pulsleistung}}{\text{bestrahlte Fläche}}$$

$$\left[\text{W/cm}^2 \right] = \frac{\left[\text{W} \right]}{\left[\text{cm}^2 \right]}$$



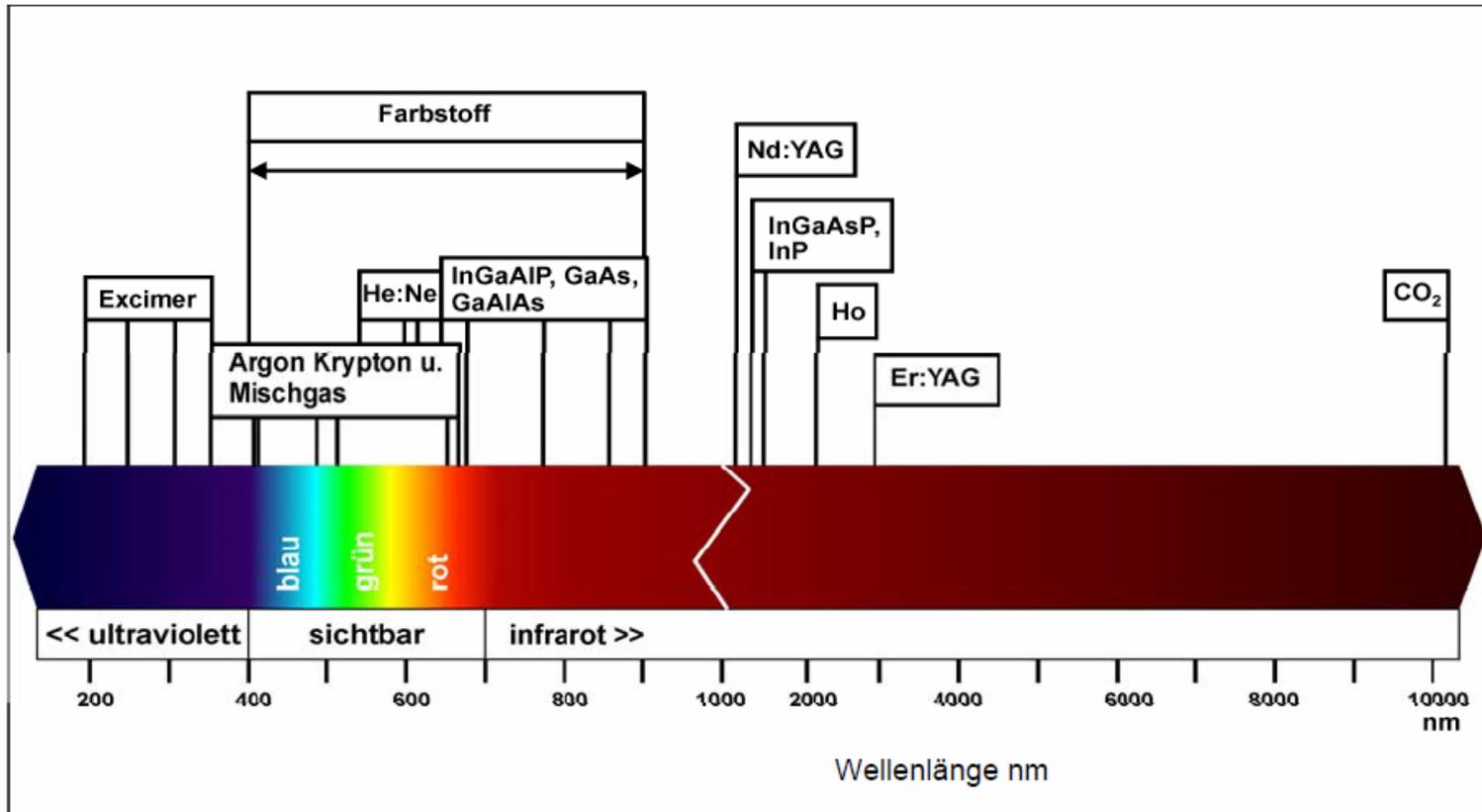
Sicherheitsabstand (Expositionsgrenzwert) eines 600 W CO₂-Lasers mit 2 cm Strahldurchmesser und Strahldivergenz von 3 mrad beträgt 300 Meter

Laserstrahlung wird an spiegelnden Oberflächen reflektiert
Bei längeren Wellenlängen (CO₂-Laser 10μm) sind auch raue Oberflächen glatt



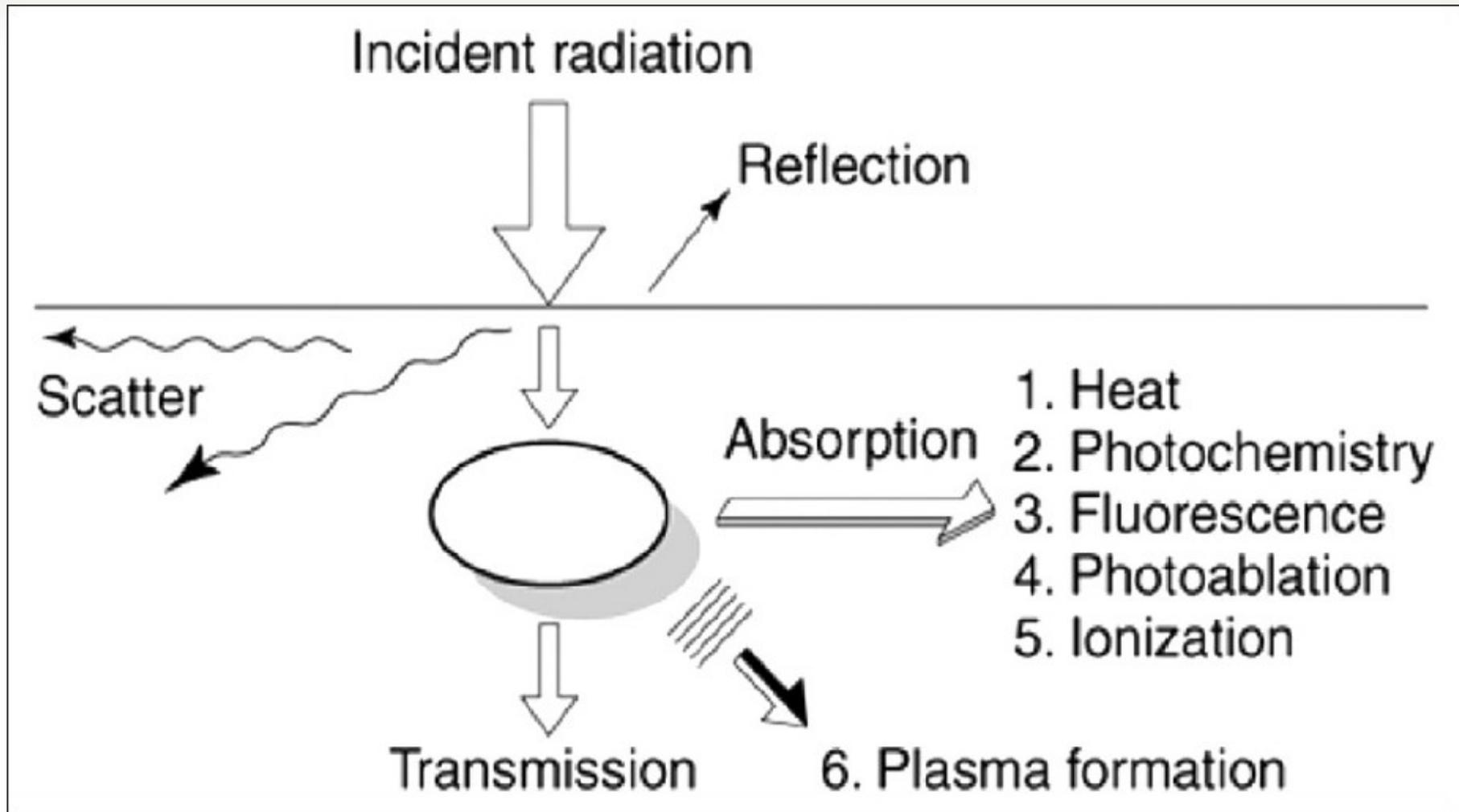
Laserstrahlung wird auch an transparenten optischen Komponenten reflektiert
Reflexion an Vorder- und Rückseite Glas etwa jeweils 4%

Lasersysteme arbeiten im Bereich Infrarot (10 μm) bis Ultraviolett (200 nm)



Sichtbare und für das Auge unsichtbare Laserstrahlung sind gefährlich

Laser-Gewebe Wechselwirkung



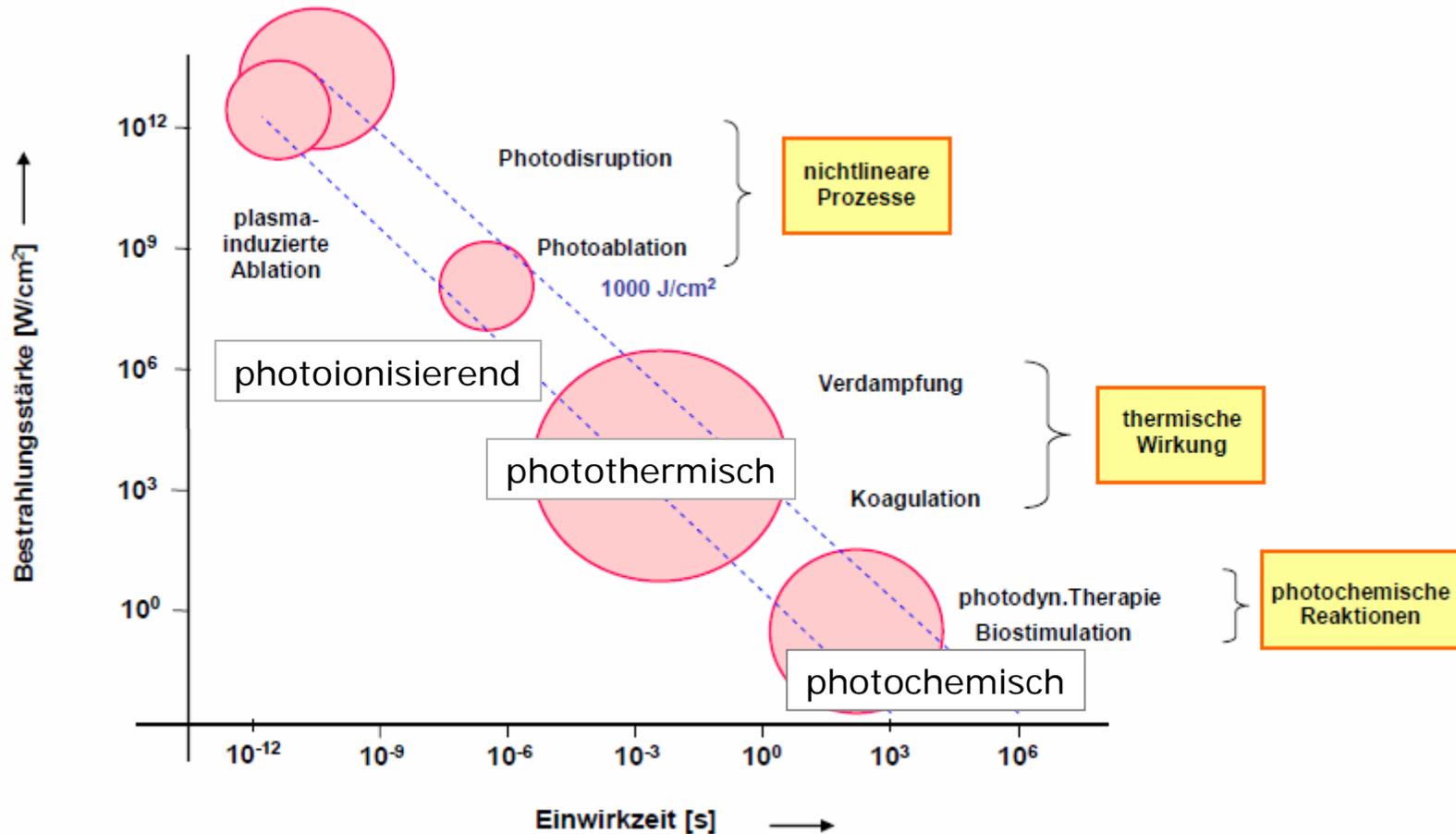
Wellenlängenbereiche

Wellenlänge /nm			Wellenlängenbereich
100	bis	280	Ultraviolett C (UV-C)
280	bis	315	Ultraviolett B (UV-B)
315	bis	400	Ultraviolett A (UV-A)
400	bis	780	Sichtbare optische Strahlung (Licht)
780	bis	1 400	Infrarot A (IR-A)
1 400	bis	3 000	Infrarot B (IR-B)
3 000	bis	1 000 000	Infrarot C (IR-C)

Größenordnungen

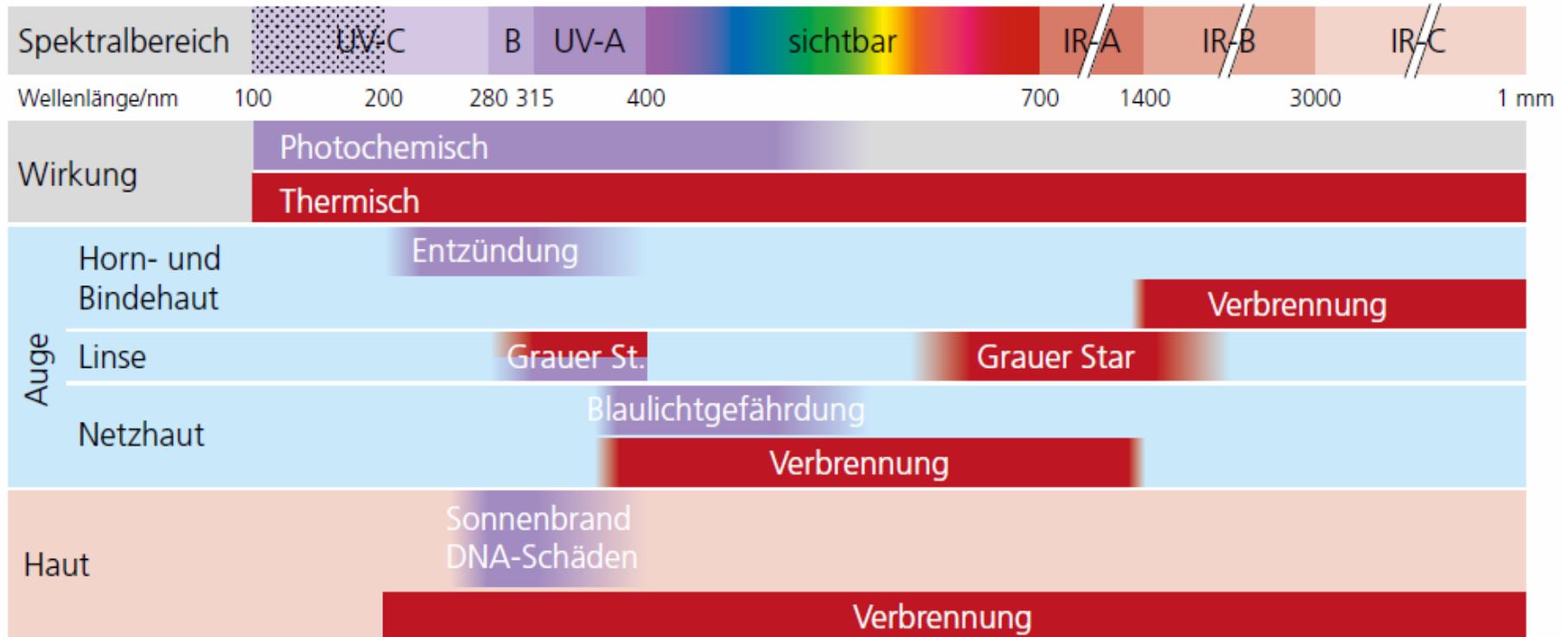
Vorsatz	Wert	Abkürzung
Femto	10^{-15}	f
Piko	10^{-12}	p
Nano	10^{-9}	n
Mikro	10^{-6}	μ
Mega	10^6	M
Giga	10^9	G
Tera	10^{12}	T

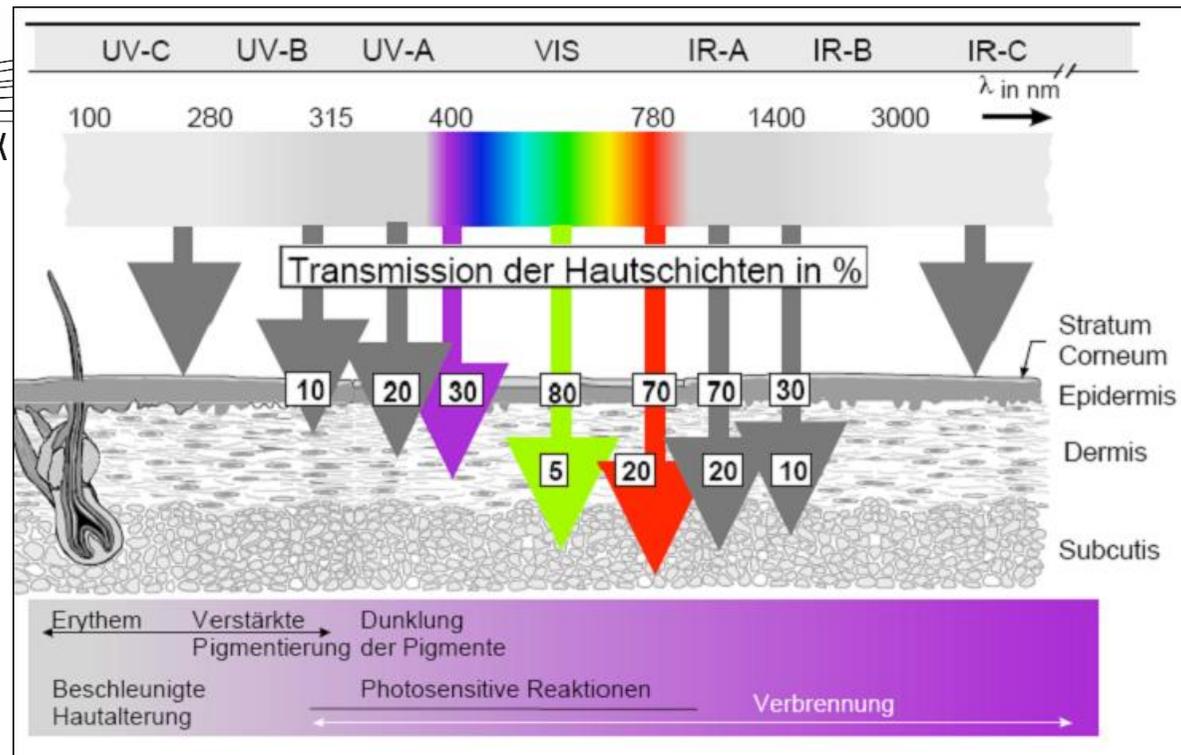
Bei etwa Energiedichten von 1 bis 100 J/ cm² kommt es zu Gewebereaktionen



Abhängig von der Pulsdauer treten unterschiedliche Gewebeschädigungen auf

Gewebeschädigungen





UVC (100-280nm)

starke Absorption, obere Oberflächenschichten betroffen

UVB (280-315nm)

Hautrötung, Schwellenwert bei etwa 0.1 J/cm^2

UVA (315-380nm):

Pigmentierung der Haut, Schwellenwert bei etwa 10 J/cm^2

VIS (380-780nm)

große Eindringtiefe, photochemische Prozesse, Verbrennungen

IRA (780-1400nm)

IRB (1400-3000nm)

geringere Eindringtiefe, Verbrennungen

IRC (ab 3000nm-1mm)

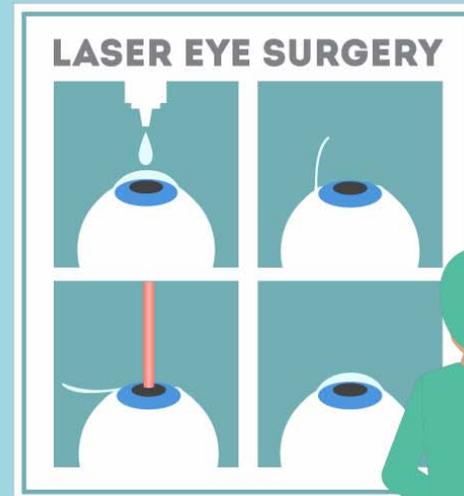
Absorption an Hautoberfläche, Verbrennungen

Lasersicherheit

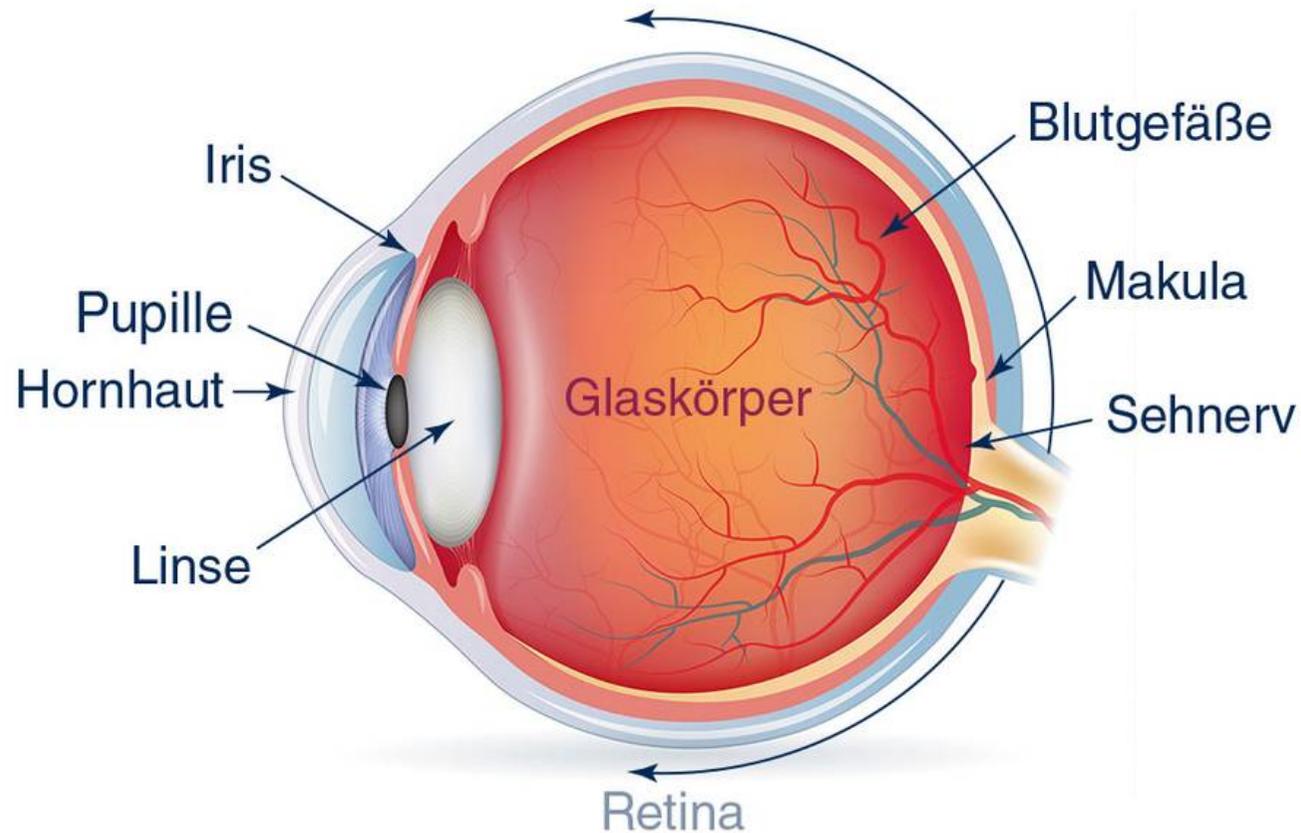
Laser-Auge Wechselwirkung



Laser Eye Surgery Cost



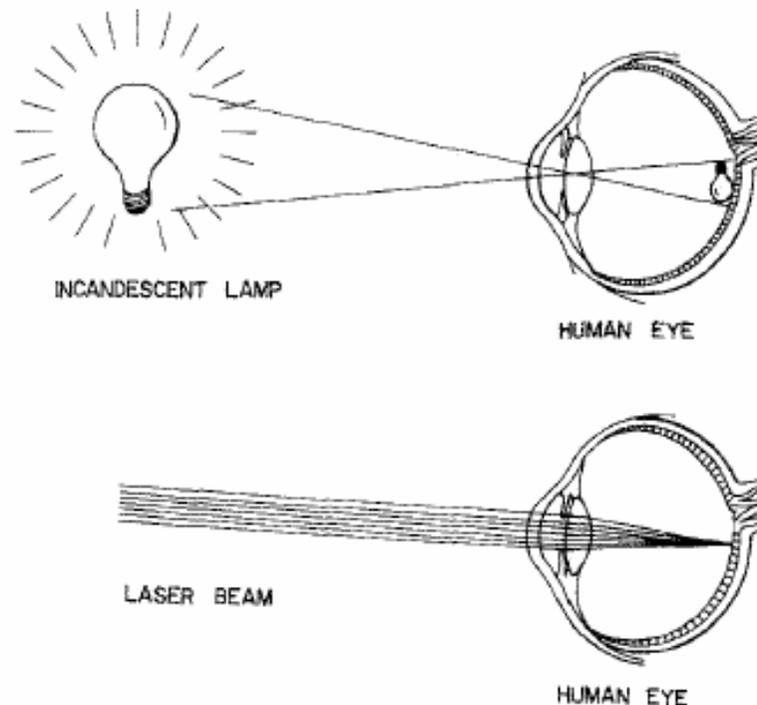
Gefährdung des Auges



Auge ist das empfindlichste Organ bezüglich Laserstrahlung
Laserlicht im Wellenlängenbereich von 400 -1400 nm ist gefährlich
Photochemische und thermische Schädigung

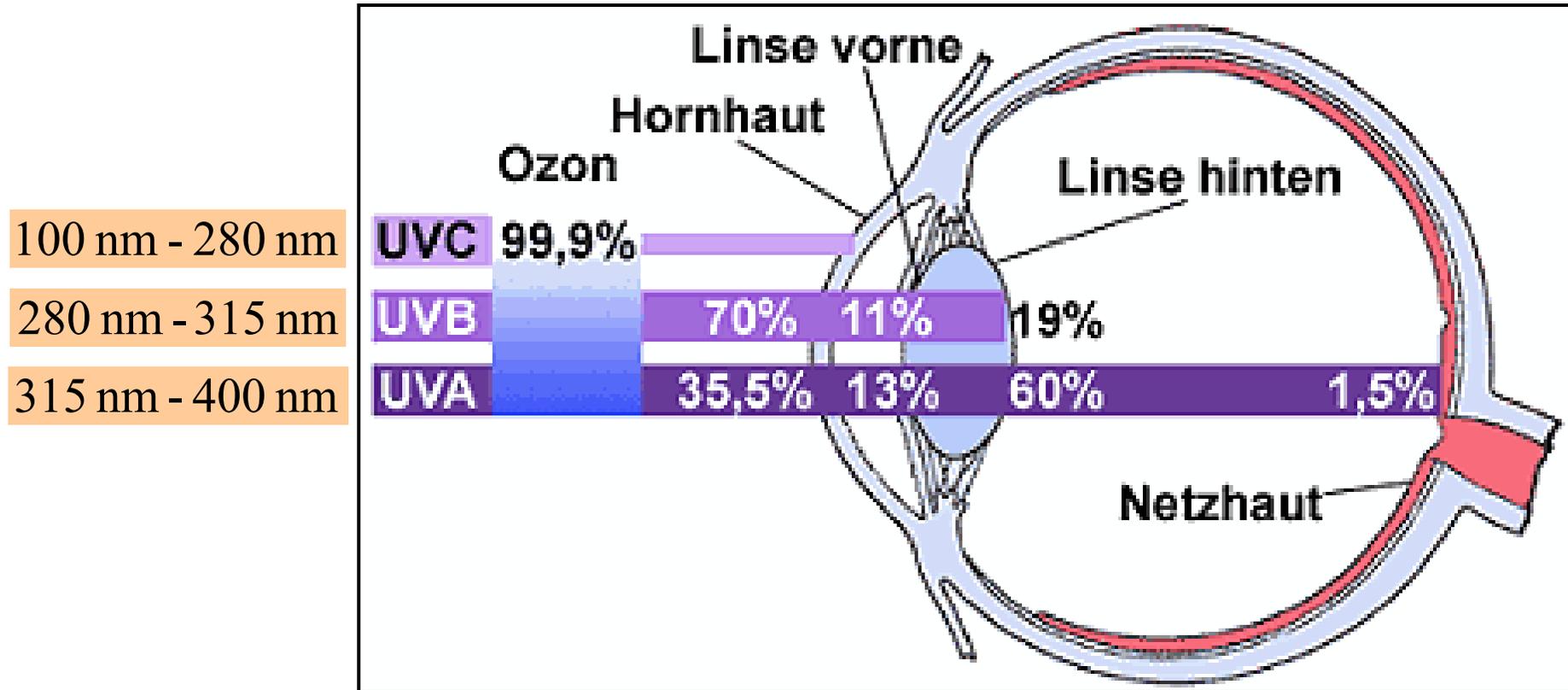
Gefährdung des Auges

Laserstrahlung zeichnet sich durch hohe Leistungsdichte und geringe Divergenz aus
Lampe mit 10 W optische Leistung belastet Retina mit etwa 1 mW/cm^2
Ein 1 mW Helium-Neon-Laser deponiert dagegen 1.5 kW/cm^2
Unterschied in der Intensität sind SECHS Größenordnungen



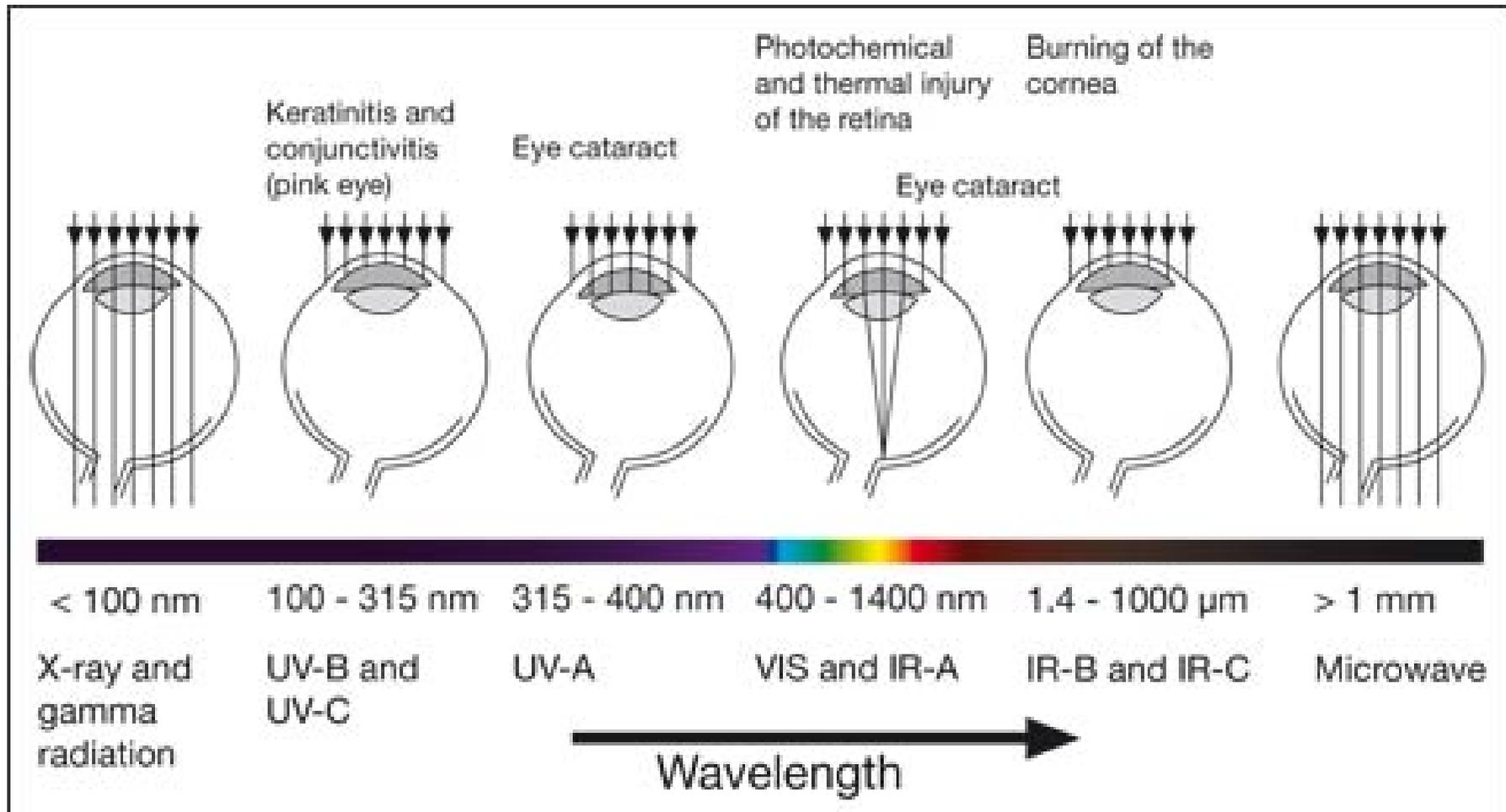
10° Temperaturerhöhung reicht aus, um Retina zu schädigen
Schon kurze Einwirkung von Laserstrahlen auf Auge kann Schädigungen hervorrufen

UV-Absorption von Laserstrahlung



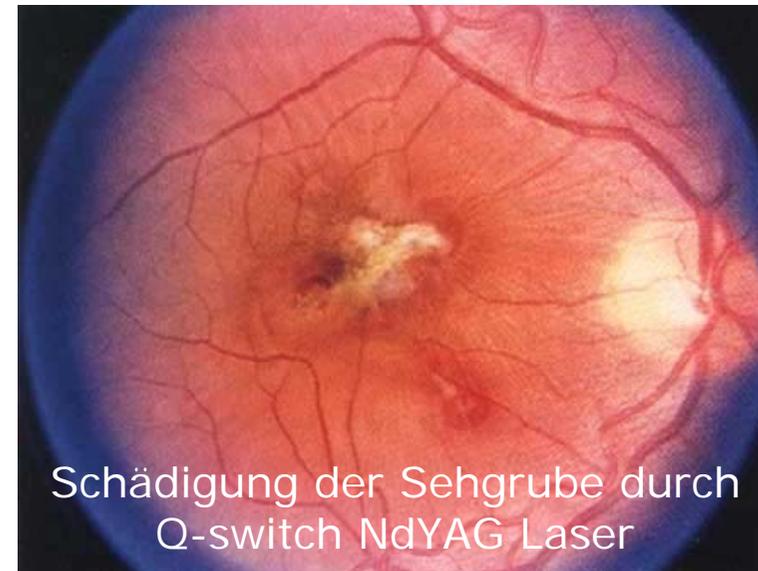
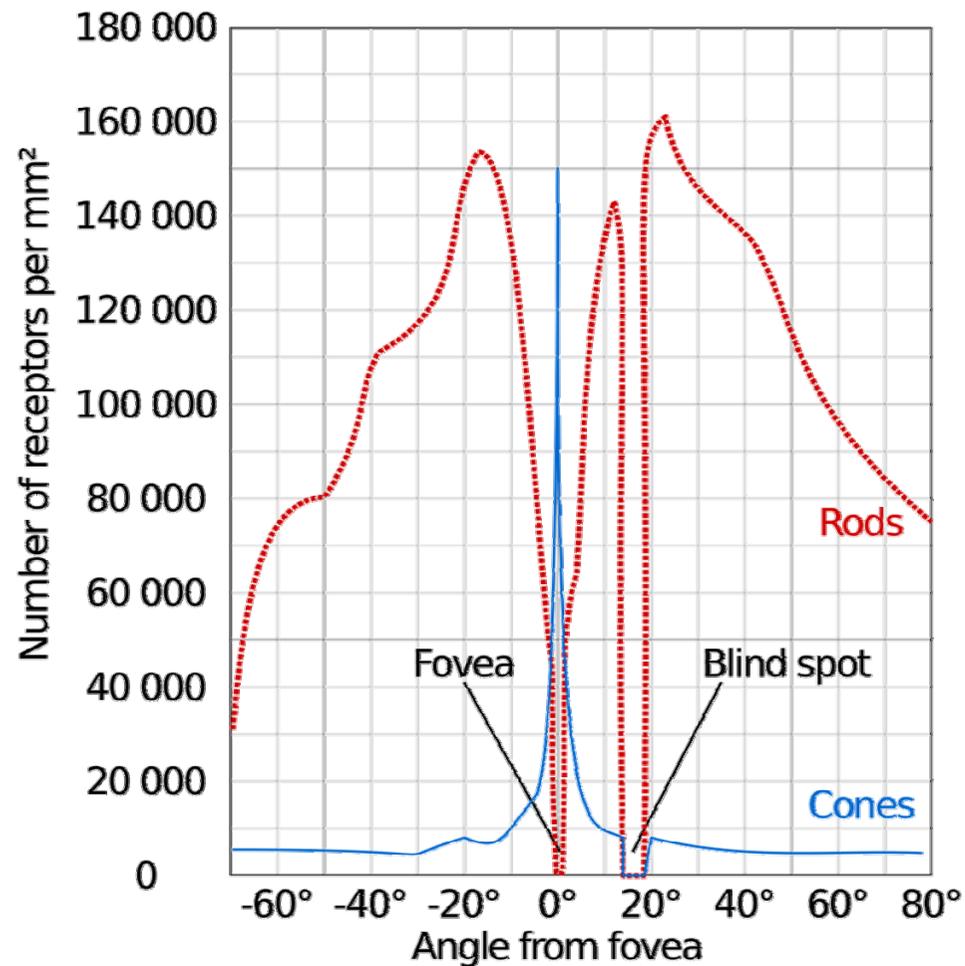
Ultraviolettes Licht wird in den äußeren Schichten des Auges absorbiert

Absorption von Laserstrahlung



Laserlicht wird vom Auge in Abhängigkeit der Wellenlänge unterschiedlich absorbiert

Sehgrube



Blickt man direkt in den Laserstrahl trifft der Strahl die Sehgrube
 Fovea ist kleiner Bereich auf der Retina (Durchmesser 1 mm),
 in dem die Zapfen konzentriert sind

Gefahren für Auge und Haut

Spektralbereich	Auge	Haut
Ultraviolett C (UVC) 100 nm bis 280 nm	Fotokeratitis und Fotokonjunktivitis Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Präkanzerose Erythem (Sonnenbrand) Karzinome
Ultraviolett B (UVB) 280 nm bis 315 nm	Fotokeratitis und Fotokonjunktivitis Kataraktbildung Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Verstärkte Pigmentierung (Spätpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem (Sonnenbrand) Präkanzerosen Karzinome
Ultraviolett A (UVA) 315 nm bis 400 nm	Kataraktbildung Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen Bräunung (Sofortpigmentierung) Beschleunigte Prozesse der Hautalterung Erythem (Sonnenbrand) Karzinome
sichtbare Strahlung (VIS) 400 nm bis 700 nm	Fotochemische und Fothermische Schädigung der Netzhaut (Retina)	Verbrennungen Fotosensitive Reaktionen
Infrarot A (nahes Infrarot) 700 nm bis 1 400 nm	Katarakt, Verbrennung der Netzhaut (Retina) (fothermische Schädigung) Verbrennungen der Hornhaut	Verbrennungen
Infrarot B 1 400 nm bis 3 000 nm	Katarakt, Verbrennungen der Hornhaut (Kornea)	Blasenbildung auf der Haut Verbrennungen
Infrarot C (fernes Infrarot) 3 000 nm bis 1 mm	Verbrennungen der Hornhaut (Kornea), (fothermische Schädigung)	Verbrennungen

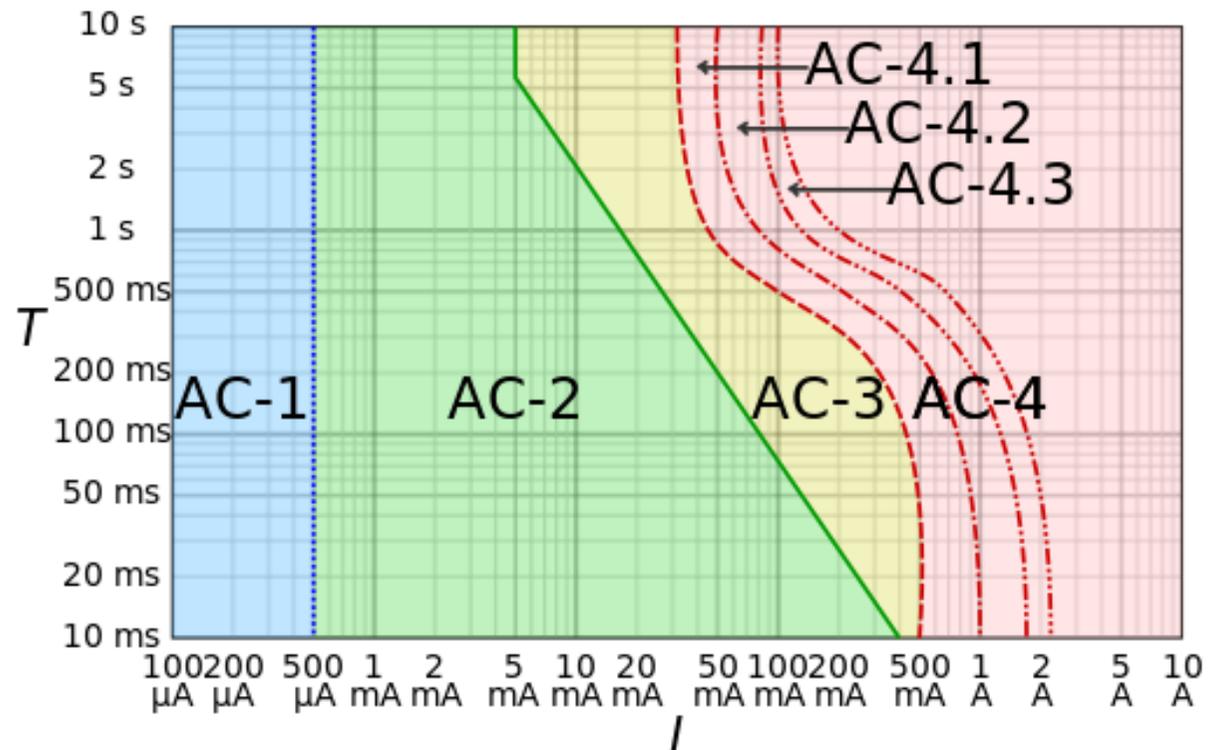
Lasersicherheit
Andere Gefährdungen



Elektrische Gefahren

Spannungsversorgungen von Lasersystemen arbeiten oft

- mit Hochspannungen
- mit großen Kondensatoren



- entscheidend ist nicht die Höhe der Spannung,
sondern die Höhe des durch den Körper fließenden Stroms
- nasse Hände reduzieren den Hautwiderstand drastisch

Chemische Gefahren

Chemische Gefahren gehen von den im Lasersystem verwendeten Materialien aus



- Excimer-Laserverwenden giftiges Fluor und Chlor
- Gasflaschen sicher verwahren

Farbstoffe wie Rhodamine und Coumarine wirken nervengiftartig.

- Hautkontakt und Einatmen vermeiden

Laserröhren von Ar- und Kr-Lasern enthalten hochgiftiges Beryllium
Röhren mit großer Sorgfalt behandeln

Staub zerbrochener ZnSe-Linsen (Optikmaterial für CO₂-Laser) ist giftig
mit Schutzbrille, Handschuhen, Schutzanzug, Atemmaske einzusammeln

Lasergenerierte Rauche und Stäube beinhalten lungengängige Schwebstoffe
Schwebstoffe können krebserregend, giftig, lungenbelastend (durch Ablagerungen, Funktionsstörungen), entzündungsfördernd wirken

Explosionen etc.



Blitzlampen können implodieren

Intensive Laserstrahlung kann Stoffe entzünden

Extrem schnelle Aufheizung und Verdampfung kann chemische Reaktion auslösen
(toxische Stoffe)

Kurzwellige Laserstrahlung führt zu Ionisation von der Luftmolekülen
(Ozon)

Lasersicherheit
Laserklassen



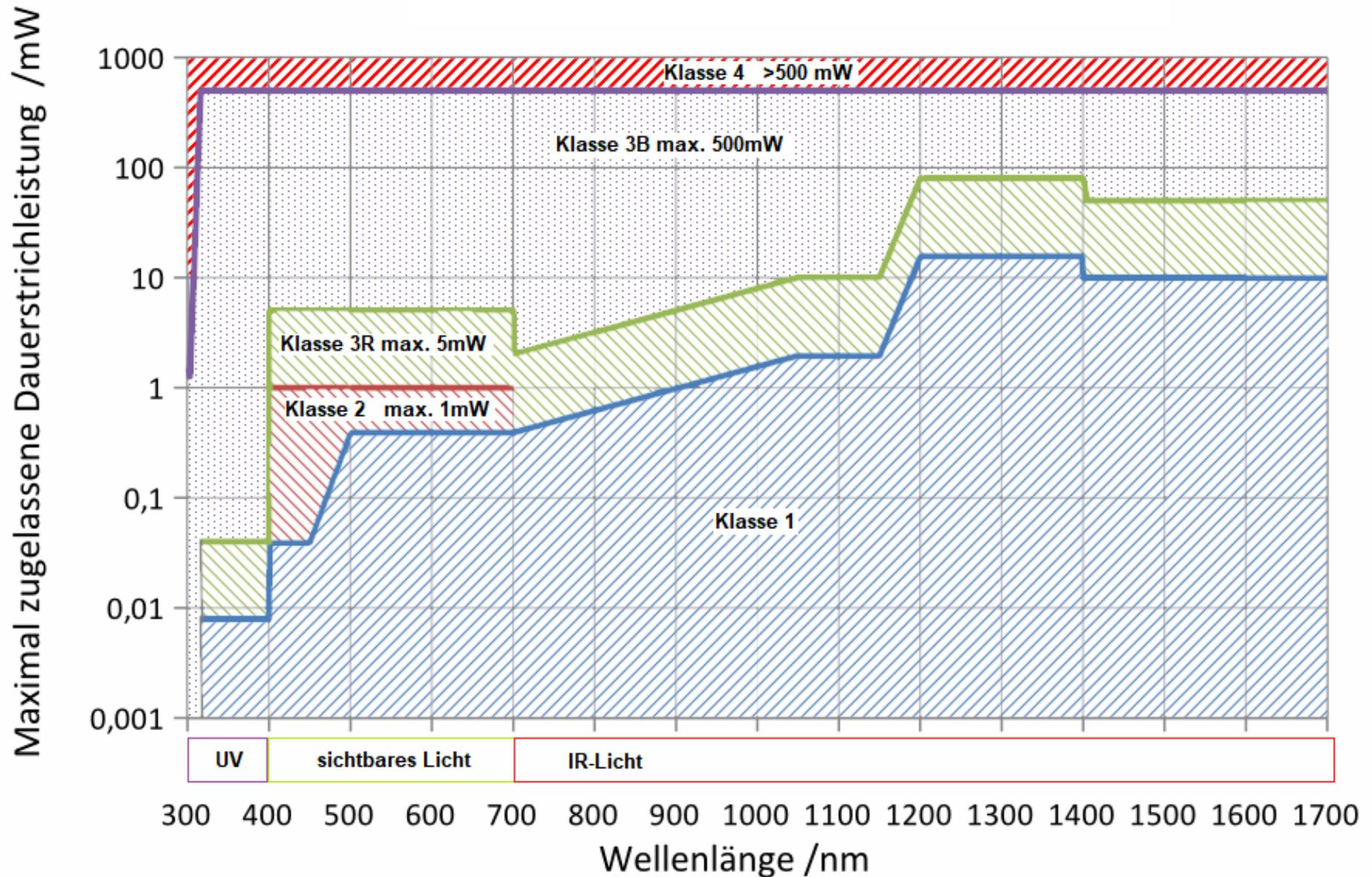
Laserklassen nach EN 60825-1

Klasse	Beschreibung
1	zugängliche Laserstrahlung ungefährlich
1M	zugängliche Laserstrahlung ungefährlich, ohne optische Instrumente (Lupen, Ferngläser)
2	zugängliche Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm), bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer für das Auge ungefährlich
2M	wie Klasse 2, ohne optische Instrumente (Lupen, Ferngläser)
3R	Laserstrahlung gefährlich für das Auge
3B	Laserstrahlung gefährlich für das Auge, in besonderen Fällen auch für die Haut
4	Laserstrahlung sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut, Brand- und Explosionsgefahr

Laserklassen nach EN 60825-1

Kl. neu	Grundkonzept	Wellenlänge /nm	Zeitbasis	GZS-Wert für das Sichtbare	Messung	Kommentar
1	augensicher	alle	100 s 30000 s	Wellenlängen-abhängig	50 mm in 2m 7 mm /14mm	alte Klasse 1
1M	augensicher ohne Verwendung optischer Instrumente; unsicher bei Verwendung optischer Instrumente	302,5 - 4000	100 s 30000 s	Wellenlängen-abhängig	Wie MZB-Werte	Früher: nicht VIS-Teil der Klasse 3A und Geräte, die in Klasse 3B wegen Leistungsgrenze (fünfmal Klasse 2)
2	augensicher durch Abwendungsreaktion plus Lidschlussreflex	400 - 700	0,25 s	1 mW	50 mm in 2m 7 mm /14mm	alte Klasse 2
2M	Lidschlussreflex; kann mit optischen Instrumenten unsicher sein	400 - 700	0,25 s	1 mW	Wie MZB-Werte	Früher: VIS-Teil Klasse 3A und Geräte, nicht in 3A wegen Leistung > 5 mW in Klasse 3B
3 R	-Überschreitet die MZB-Werte -die Strahlung ist max. fünfmal höher als die GZS-Werte von Klasse 1 (bzw. Klasse 2) -das Risiko ist etwas geringer als in der Klasse 3B	400 - 700 302,5 - 400 700 - 10 ⁶	0,25 100 s	5 mW	50 mm in 2m 7 mm /14mm	alte Klasse 3B* im VIS erweitert in Wellenlängenbereich 302,5 nm bis 1 mm
3 B	alte Klasse 3 B ohne 3 R	alle	100 s	500 mW	50 mm in 2m 7 mm /14mm	alte Klasse 3B ohne 3 R
4	alte Klasse 4	alle	100 s 30000 s	> 500 mW		alte Klasse 4

Laserklassen nach EN 60825-1





Laserklassen

Laserklasse 1

Die zugängliche Laserstrahlung ist unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen ungefährlich. Keine Schädigung auch bei Verwendung optischer Instrumente. Es ist hier jedoch zu beachten, dass es sich hier oft um gekapselte Laser einer höheren Klasse handelt.

Laserklasse 1M (*magnifying instruments*)

Nicht direkt mit optischen Instrumenten betrachten

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 4 000 nm. Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z. B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird.

Laserklasse 2 (sichtbare Laserstrahlung)

Nicht direkt in den Laserstrahl blicken

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s (Lidschlussreflex)) auch für das Auge ungefährlich. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1.

Laserklasse 2M

Nicht direkt in den Strahl blicken und nicht mit optischen Instrumenten betrachten

Laser oder LEDs mit divergenter Strahlung, Einrichtungen mit breiter, kollimierter Strahlung

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im sichtbaren Spektralbereich von 400 nm bis 700 nm. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkungsdauer (bis 0,25 s) für das Auge ungefährlich, solange der Strahlquerschnitt nicht durch optische Instrumente, z. B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Zusätzliche Strahlungsanteile außerhalb des Wellenlängenbereiches von 400 nm bis 700 nm erfüllen die Bedingungen für Klasse 1M.

Es gibt keine Beschränkung der Laserleistung (Laserklasse 3B darf nicht überschritten werden)



Laserklassen

Laserklasse 3A (veraltet)

Nicht direkt in den Strahl blicken auch nicht mit optischen Instrumenten

Die zugängliche Laserstrahlung wird für das Auge gefährlich, wenn der Strahlquerschnitt durch optische Instrumente, z. B. Lupen, Linsen, Teleskope, verkleinert wird. Ist dies nicht der Fall, ist die ausgesandte Laserstrahlung im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm) bei kurzzeitiger Einwirkungs-dauer (bis 0,25 s), in den anderen Spektralbereichen auch bei Langzeitbestrahlung, ungefährlich.

Laserklasse 3R

Nicht dem Strahl aussetzen und direkte Bestrahlung des Auges vermeiden

Die zugängliche Laserstrahlung liegt im Wellenlängenbereich von 302,5 nm bis 10^6 nm und ist gefährlich für das Auge. Die Leistung bzw. die Energie beträgt maximal das Fünffache des Grenzwertes der zugänglichen Strahlung der Klasse 2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm und das Fünffache des Grenzwertes der Klasse 1 für andere Wellenlängen. *Es besteht nur eine geringe Gefahr für Auge. Diffuses Streulicht ist ungefährlich*

Laserklasse 3B (Gefahr für Auge und Haut)

Nicht dem Strahl aussetzen

Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge, häufig auch für die Haut

Laserklasse 4

Bestrahlung von Haut und Auge durch direkte oder Streustrahlung vermeiden

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

Laserstrahlung von Lasersystemen der Klasse 4 ist so intensiv, dass bei jeglicher Art von Exposition der Augen oder der Haut mit Schädigungen zu rechnen ist. Diffuses Streulicht ist gefährlich.

	Direkte Langzeitbestrahlung		Direkte Kurzzeitbestrahlung		Diffuse Reflexion		Direkte Bestrahlung
	opt. Inst.	freies Auge	opt. Instr.	freies Auge	Auge	Haut	Haut
							
Klasse 1	sicher	sicher	sicher	sicher	sicher	sicher	sicher
Klasse 1M		sicher		sicher	sicher	sicher	sicher
Klasse 2			sicher	sicher	sicher	sicher	sicher
Klasse 2M				sicher	sicher	sicher	sicher
Klasse 3R			Geringes Risiko	Geringes Risiko	sicher	sicher	sicher
Klasse 3B					Geringes Risiko	sicher	Geringes Risiko
Klasse 4							

Lasersicherheit
Laserschutzbrillen





Bei Blendung Augen schließen und abwenden

Laserschutzbrille

Optische Dicke OD

$$OD = -\log_{10}(\text{transmission})$$

$$T_L = 10^{-5} \Rightarrow OD = 5 \Rightarrow L5$$

D/ I

D: Dauerstrich (ab 0.25 s)

I: Impuls (10^{-96} bis 0.25 s)

R: Riesenimpuls (10^{-9} bis 10^{-6} s)

M: Modengekoppelt (kleiner 10^{-9} s)

Wellenlängenbereich
Lasersystem

1060 nm

Kennbuchstabe
Hersteller

XXX

DIN

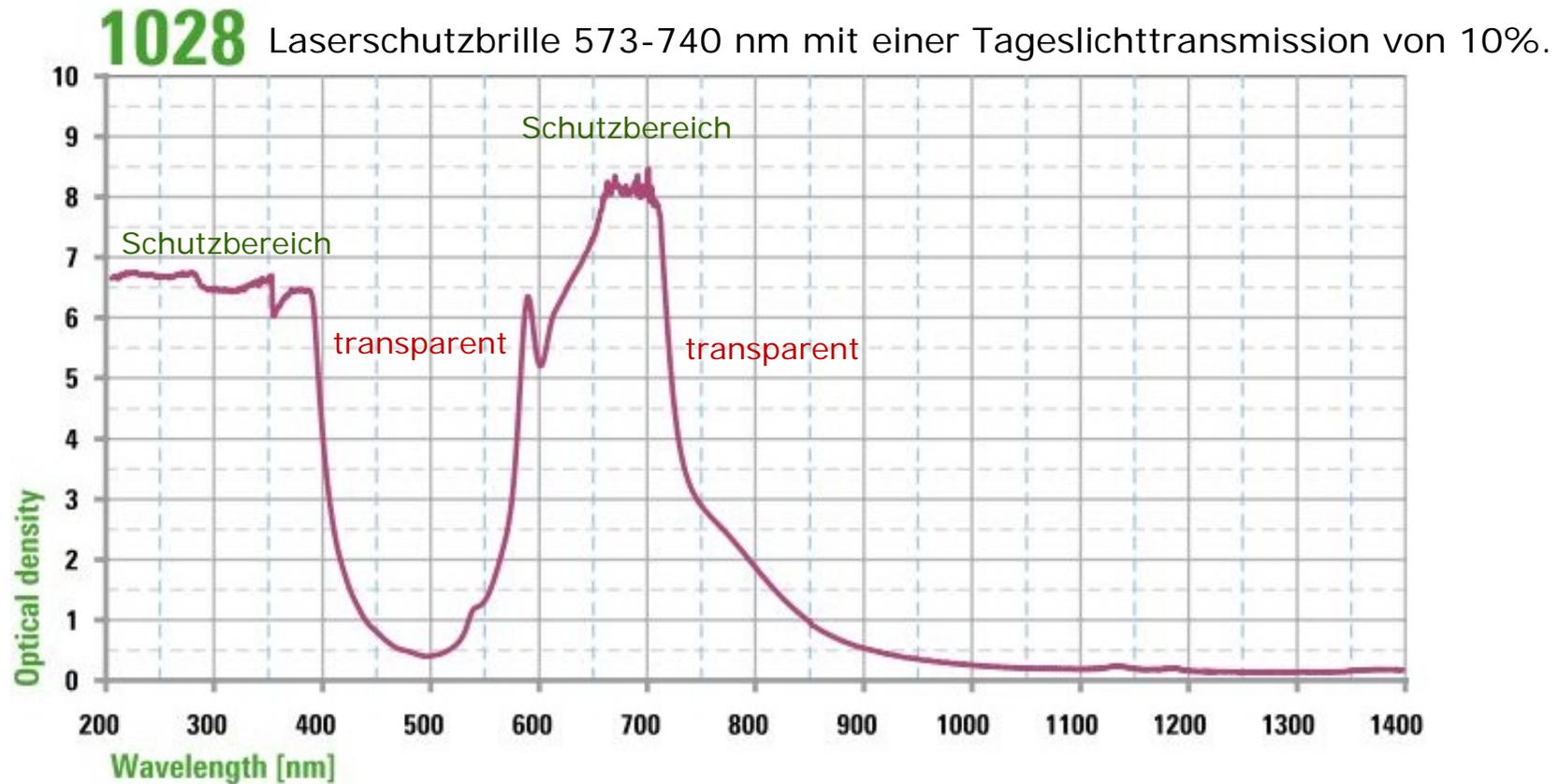
L5

Schutzstufe



Spezifikation ist auf der
Laserschutzbrille angegeben

Schutz- stufe	Maximaler spektraler Transmissions- grad bei den Laserwellen- längen τ (λ)	Maximale Energie- bzw. Leistungsdichte im Wellenlängenbereich								
		180 nm bis 315 nm			über 315 nm bis 1400 nm			über 1400 nm bis 1000 μm		
		für die Laserbetriebsart / Betriebsdauer in s								
		D	I, R	M	D	I, R	M	D	I, R	M
		$\geq 3 \cdot 10^4$	10^{-9} bis $3 \cdot 10^4$	$< 10^{-9}$	$> 5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$< 10^{-9}$	$> 0,1$	10^{-9} bis 0,1	$< 10^{-9}$
		E W/m ²	H J/m ²	E W/m ²	E W/m ²	H J/m ²	E W/m ²	E W/m ²	H J/m ²	E W/m ²
L 1	10^{-1}	0,01	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{11}$	10^2	0,05	$5 \cdot 10^7$	10^4	10^3	10^{12}
L 2	10^{-2}	0,1	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{12}$	10^3	0,5	$5 \cdot 10^8$	10^5	10^4	10^{13}
L 3	10^{-3}	1	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{13}$	10^4	5	$5 \cdot 10^9$	10^6	10^5	10^{14}
L 4	10^{-4}	10	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{14}$	10^5	50	$5 \cdot 10^{10}$	10^7	10^6	10^{15}
L 5	10^{-5}	10^2	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{15}$	10^6	$5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{11}$	10^8	10^7	10^{16}
L 6	10^{-6}	10^3	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{16}$	10^7	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{12}$	10^9	10^8	10^{17}
L 7	10^{-7}	10^4	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{17}$	10^8	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^{13}$	10^{10}	10^9	10^{18}
L 8	10^{-8}	10^5	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{18}$	10^9	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{14}$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
L 9	10^{-9}	10^6	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{19}$	10^{10}	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{15}$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
L 10	10^{-10}	10^7	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{11}	$5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^{16}$	10^{13}	10^{12}	10^{21}



Laserbrillen absorbieren einen Großteil des sichtbaren Lichts
Immer für gute Beleuchtung sorgen

Laserjustierbrille

Schutzstufe <i>Scale number</i>	Spektraler Transmissionsgrad <i>Spectral transmission</i>		Dauerstrichlaser und Impuls laser mit einer Impulsdauer <i>cw and pulsed lasers with a pulse duration of</i> $\geq 2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$	Impuls laser mit einer Impulsdauer von <i>Pulsed lasers with a pulse duration of</i> $> 10^{-9} \text{ s} \dots 2 \cdot 10^{-4} \text{ s}$
	Filter <i>filter</i>	Tragkörper <i>Frame structure</i>		
RB1	$10^{-2} < \tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	$\tau(\lambda) \leq 10^{-1}$	0,01	$2 \cdot 10^{-4}$
RB2	$10^{-3} < \tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	$\tau(\lambda) \leq 10^{-2}$	0,1	$2 \cdot 10^{-5}$
RB3	$10^{-4} < \tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	$\tau(\lambda) \leq 10^{-3}$	1	$2 \cdot 10^{-4}$
RB4	$10^{-5} < \tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	$\tau(\lambda) \leq 10^{-4}$	10	$2 \cdot 10^{-3}$
RB5	$10^{-6} < \tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	$\tau(\lambda) \leq 10^{-5}$	100	$2 \cdot 10^{-2}$

Maximale Bestrahlungsstärke

Wellenlängenbereich in nm	Bestrahlungsstärke E				Bestrahlung H			
	D*		M**		M		I***, R****	
	Impulsdauer in s	E / W · m ⁻²	Impulsdauer in s	E / W · m ⁻²	Impulsdauer in s	H / J · m ⁻²	Impulsdauer in s	H / J · m ⁻²
$100 \leq \lambda < 315$	30 000	0,001	$< 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{10}$	—	—	$> 10^{-9}$ bis $3 \cdot 10^4$	30
$315 \leq \lambda < 1\,400$	$> 5 \cdot 10^{-4}$ bis 10	10	—	—	$< 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$> 10^{-9}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$	0,005
$1\,400 \leq \lambda \leq 10^6$	$> 0,1$ bis 10	1 000	$< 10^{-9}$	10^{11}	—	—	$> 10^{-9}$ bis 0,1	100

Reflektiertes Laserlicht

An transparenten Materialien wird ein Teil des Laserlichts zurück geworfen
4% Reflexion des Lichts eines Titan-Saphir Laser (1W CW, 2mm Strahldurchmesser)

Energiedichte an der Pupille bei einem 1 Watt Laserstrahl

$$F_L = \frac{\text{Pulsenergie}}{\text{Fläche}} = \frac{R=4\% \quad \text{Lidschlussreflex} \quad 0.04 \cdot 1.0 \text{ W} \cdot 0.25 \text{ s}}{\pi(1 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 3184 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

maximal zulässige Bestrahlung (MZB) für Auge

$$MZB = 13 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

laut Tabelle

Laserschutzbrille

$$D_L = \log_{10} \left(\frac{F_L}{MZB} \right) = \log_{10} \left(\frac{3184}{13} \right) \approx \log_{10}(245) = 2.3$$

mit optischer Dichte OD = 3 wählen

Diffus reflektiertes Laserlicht

4% diffuse Reflexion des Lichts eines NdYAG Lasers (1 J, 10 ns Pulsdauer)

Energiedichte im Abstand R_{crit} von Reflexion

$$F_L = \frac{\text{Pulsenergie}}{\text{Fläche}} = \frac{1.0 \text{ J}}{\pi(R_{crit})^2}$$

maximal zulässige Bestrahlung (MZB)

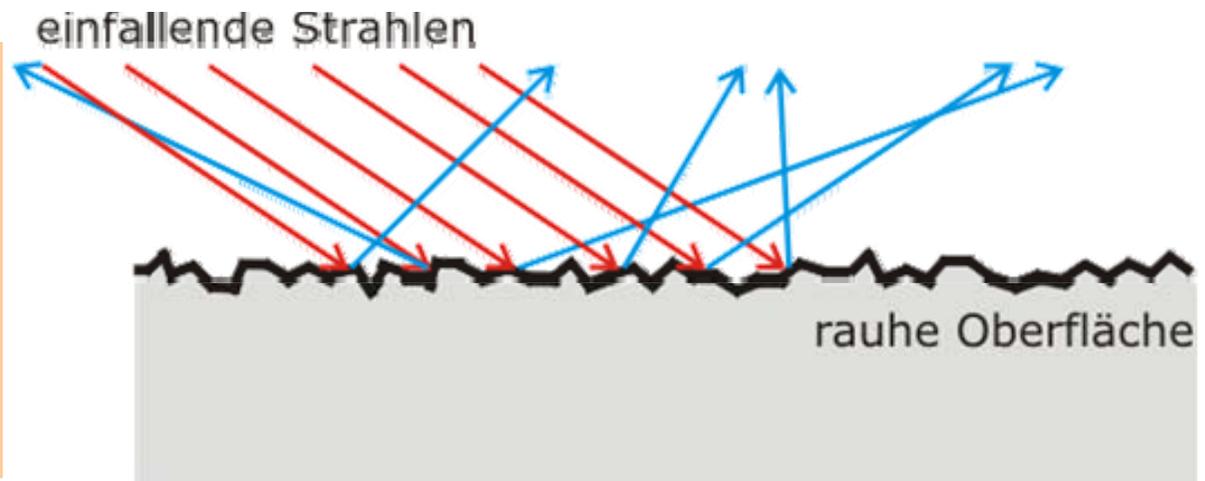
$$MZB = 5 \frac{\text{mJ}}{\text{m}^2}$$

laut Tabelle

Sicherheitsabstand

$$MBZ = 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{1.0 \text{ J}}{\pi R_{crit}^2}$$

$$R_{crit} = \sqrt{\frac{1.0 \text{ J}}{\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{m}^2}}} = 2.5 \text{ m}$$



Lasersicherheit Verhaltensregeln



Technische Schutzmaßnahmen

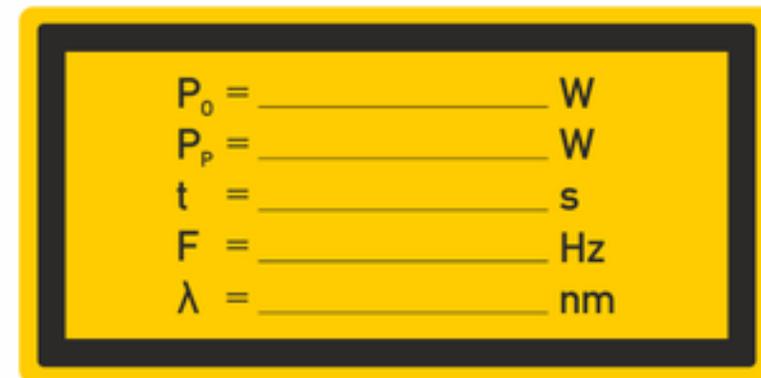
- Schlüsselschalter, um die Nutzung nur berechtigten Personen zu gestatten
- Leuchtanzeige, die deutlich anzeigt, ob der Laser in Betrieb ist
- Überwachungseinrichtung, die Zugang zum Laserbereich überwacht
- Abschirmung des Laserbereichs
- regelbare Beleuchtungstärke bei Justierarbeiten

Persönliche Schutzmaßnahmen

- Laserschutzbrille
- Schutzhandschuhe
- Schutz



Kennzeichnung des Laserbereichs



Laserbereich mit Hilfe von Warnschildern ausweisen
Austrittsöffnungen für Laserstrahlung kennzeichnen
Warnleuchten anschalten



in the Lab

Laserschutzbrille

- am Eingang zum Labor deponieren
- Leistungsdaten des Lasersystems mit Angaben auf Laserschutzbrille überprüfen
Wellenlängenbereiche, optische Dicke, CW oder gepulst
- Brille nur in Ausnahmefällen absetzen

Laser-Strahlungsquelle

in der Regel ist dies am Institut ein Laser der Klasse 4
Wellenlänge, Pulsenergie, Pulsdauer, Wiederholrate

Laserstrahl

- nicht auf Augenhöhe führen, Bücken
- in definierter Ebene führen (mit Blick von oben arbeiten)
- nicht durch Laufwege führen
- mit minimaler Laserenergie einrichten
- Strahlweg beim Einrichten kontrollieren (optische Komponenten wie Spiegel, Linsen, ...)
- Strahlengang blockieren, und dann erst optische Komponente einsetzen
- Strahlwege wenn möglich optisch abschirmen (Führung in Rohrsystemen)
- Strahl bei täglichem Betrieb nicht unkontrolliert freigeben
- kontrolliert durch Absorber (Rasierklingen etc.) enden lassen

Reflektionen an spiegelnden Oberflächen vermeiden

- spiegelnden Schmuck (Ringe, Ketten, Uhren, ...) ablegen
- sichtbare Hautflächen (Piercing in Strahlhöhe) gering halten
- absorbierende Oberflächen verwenden (auch Werkzeug)
- Streulicht im Labor reduzieren
- Laserstreulicht im Labor suchen (z.B. mit IR-Kamera)



Verhaltensregeln im Labor

Lasereperimente sind so aufzubauen, dass eine Gefährdung von Personen durch direkte, reflektierte oder gestreute Laserstrahlung verhindert wird

Sicherheitsunterweisung durch einen Fachkundigen für den Anwender
Unterweisung für Besucher und nur in Begleitung Anwender Laserbereich betreten

Schutzbrillen und Justierbrillen, Schutzkleidung verwenden
Schlüsselschalter (Schlüssel abziehen, wenn Laser außer Betrieb)

Möglichst nicht alleine arbeiten

Eintretende Personen warnen
Vor dem Einschalten des Lasers anwesende Personen warnen

Kopf nicht in Strahlhöhe bringen (Arbeitstisch, bücken)
Besondere Vorsicht bei Kindern, da Augen oft in Strahlhöhe

Optiken fixieren

Stolperfallen vermeiden

Für gute Raumbelichtung sorgen



Notruf

Notruf bei Verwendung des Diensttelefons

0 1 1 2



**Universitätsmedizin
Rostock**

**Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde
4948649**

www.cluster-nano.physik.uni-rostock.de/pd-dr-josef-tiggesbaeumker/laser-safety-at-the-insitute/



Betriebsgenossenschaftliche Vorschriften

BGV B2: Laserstrahlung

A5: Erste Hilfe

DIN EN 60825-1

DIN EN 207, 208

Man hat nur ZWEI Augen

