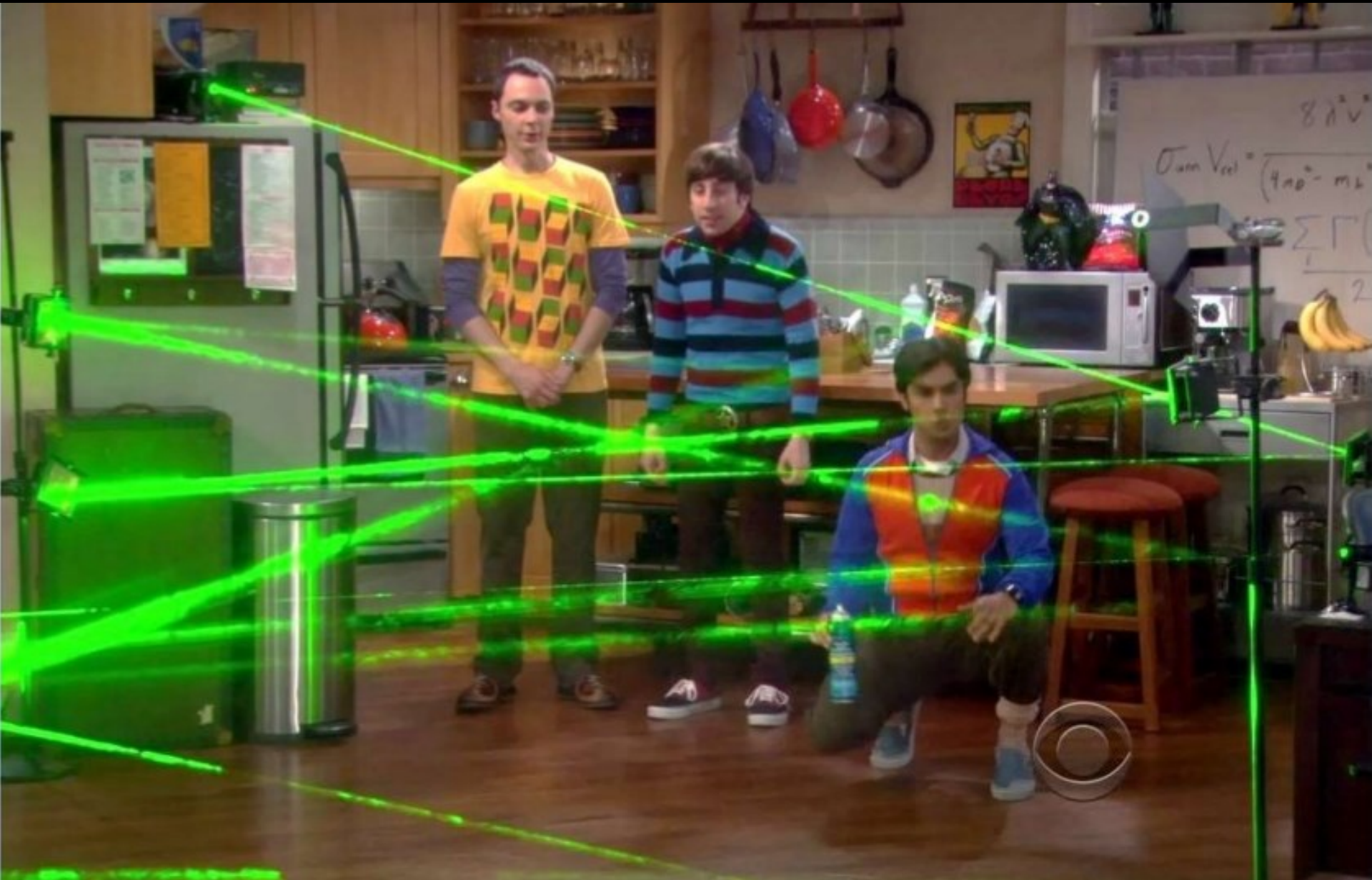




# Belehrung Lasersicherheit



# Übersicht

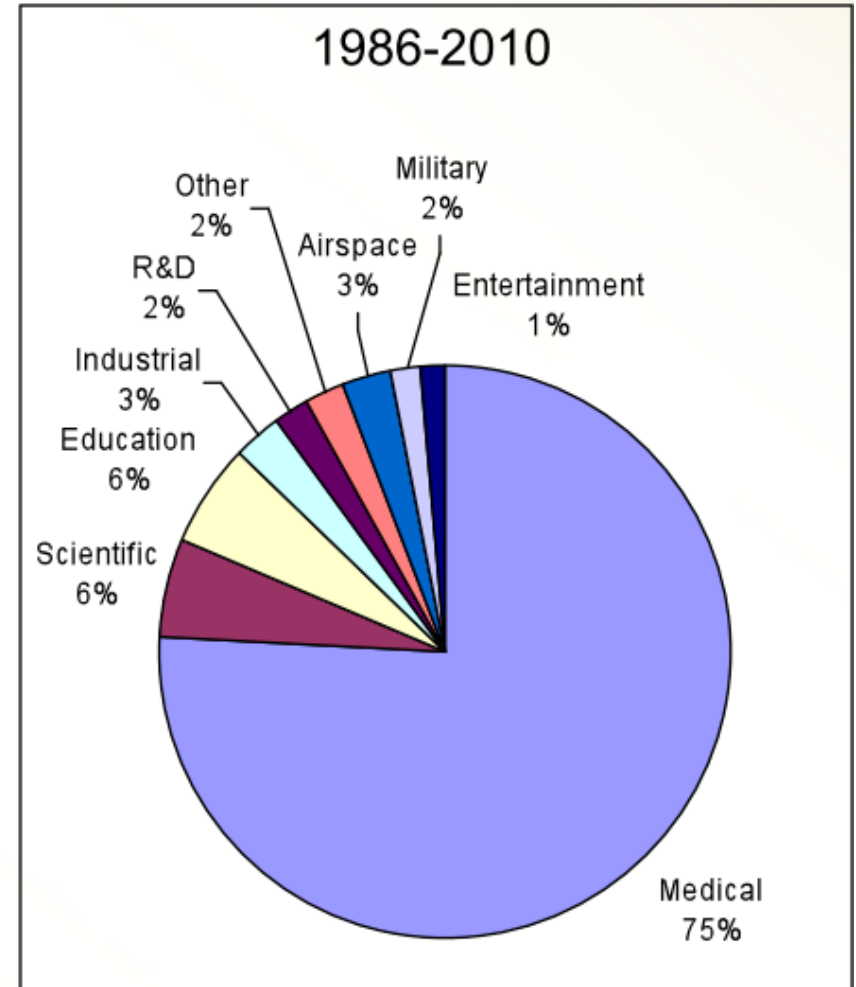
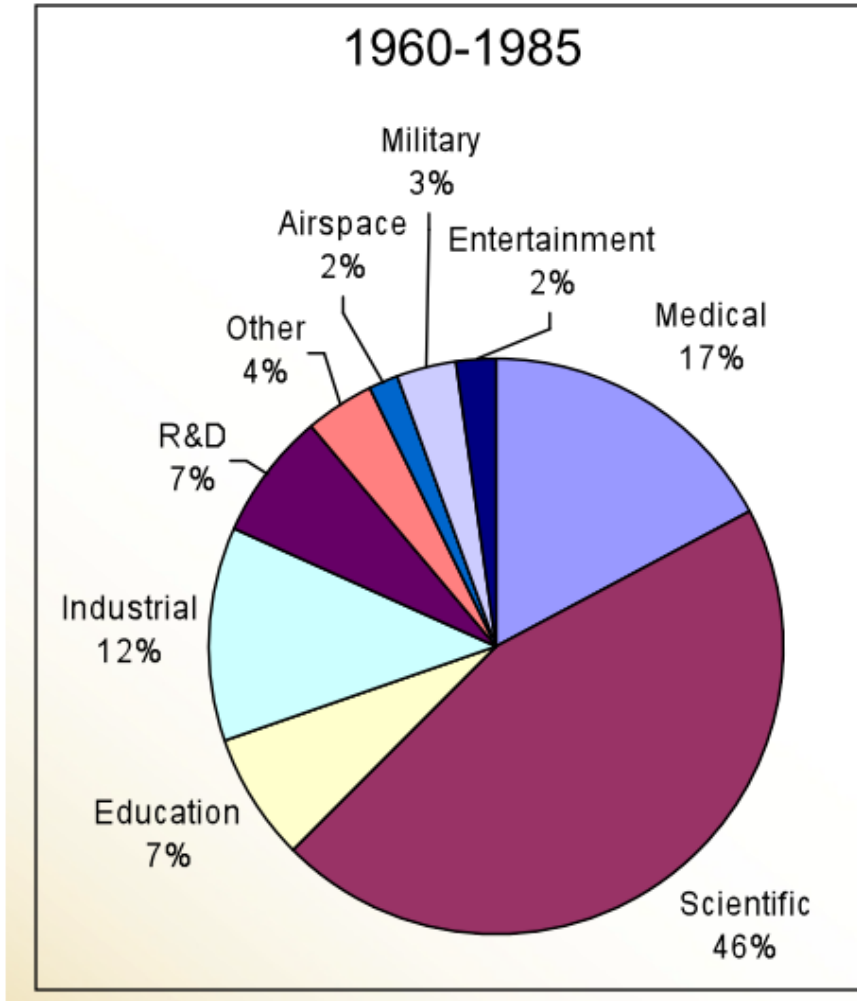
---

1. Warum sind Lasersicherheitsbelehrungen erforderlich?
2. Was ist ein LASER?
3. Warum ist LASER Licht besonders gefährlich?
4. Wichtige Begriffe (DIN EN 60825-1):
  - LASER-Klassen
  - Maximal zulässige Exposition
  - Nominelle Gefahrenzonen
5. Sicherheitsvorkehrungen

# 1. Warum Laserschutzbelehrungen?

# LASER-Unfallstatistik

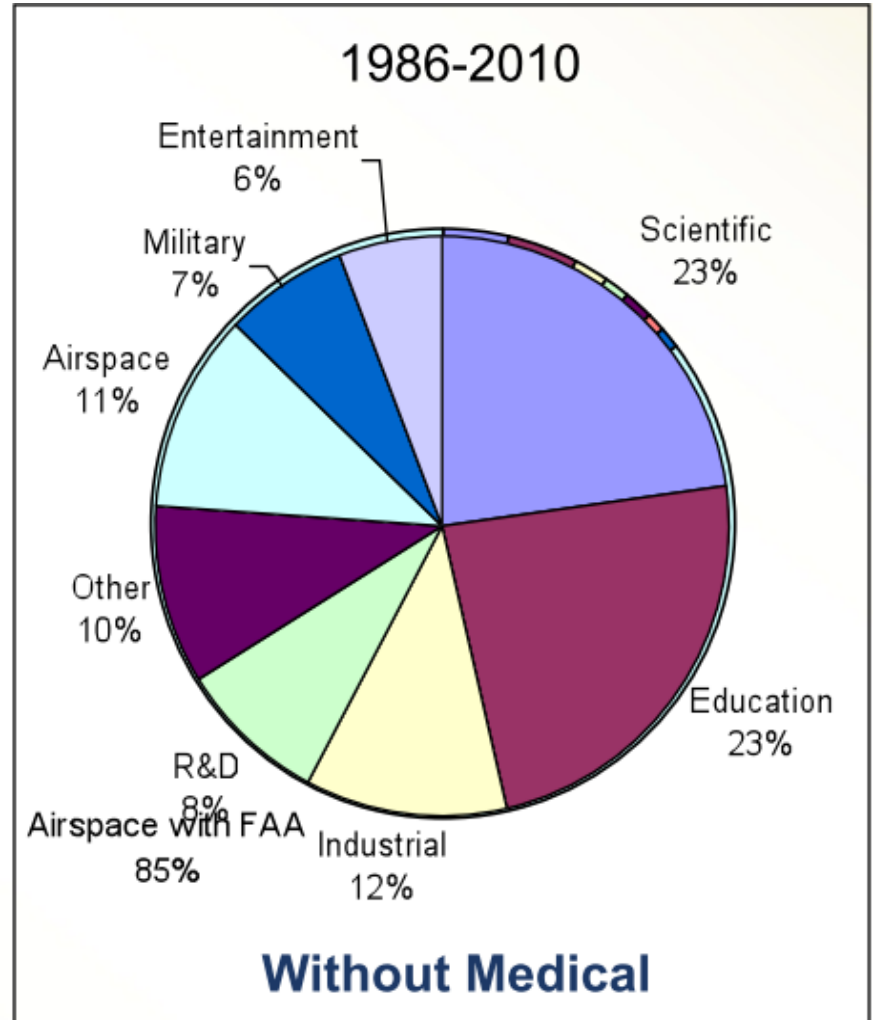
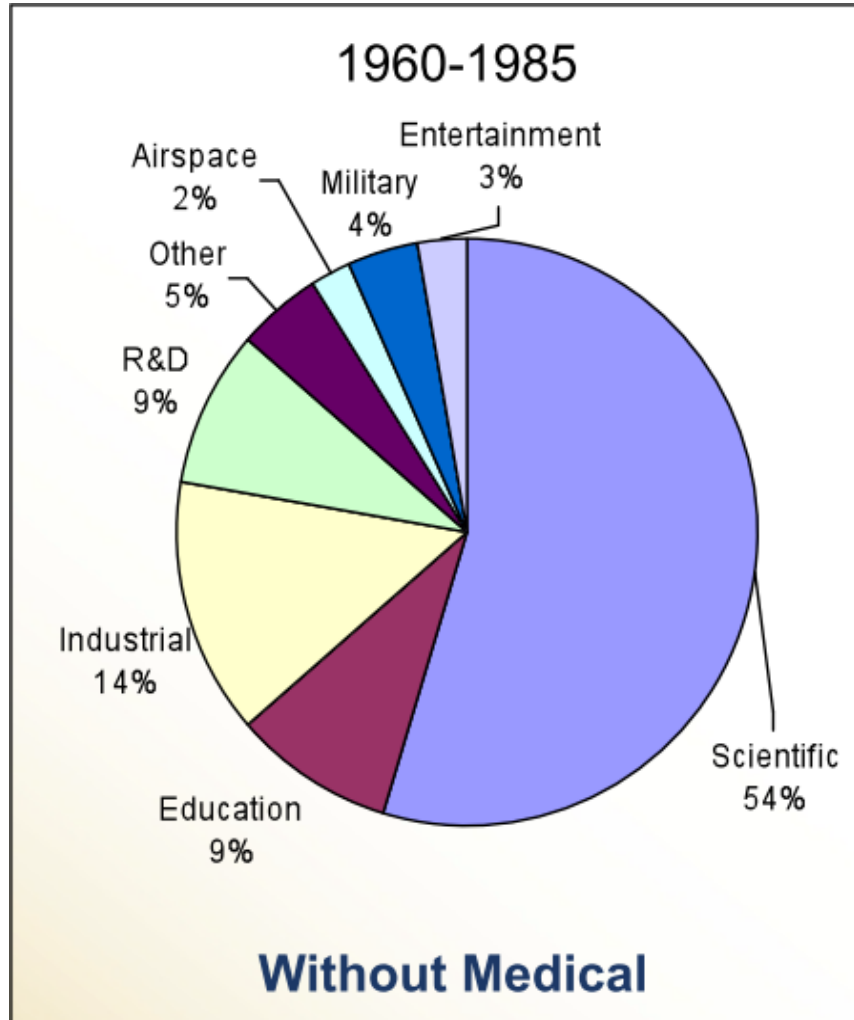
Gesamtzahl Unfälle 1960-2010: 1345



... ca. 80 % körperliche Verletzungen (Augen 70%, Haut 10%)

# LASER-Unfallstatistik

Gesamtzahl Unfälle 1960-2010: 1345



... ca. 80 % körperliche Verletzungen (Augen 70%, Haut 10%)

# Top 14 Unfallursachen

---

## Die 14 häufigsten von der Rockwell Laserindustrie gemeldeten Ursachen

1. Unerwartete Augenexposition während der Justage.
2. Falsch ausgerichtete Optiken und nach oben gerichtete Strahlen.
3. Verfügbarer Laser-Augenschutz wurde nicht verwendet.
4. Fehlfunktion der Ausrüstung.
5. Unsachgemäße Handhabung von Hochspannung.
6. Beabsichtigte Exposition ungeschützter Personen.
7. Personen, die mit der Laserausrüstung nicht vertraut sind.
8. Kein Schutz für die damit verbundenen Gefahren vorgesehen.
9. Unsachgemäße Wiederherstellung der Ausrüstung nach der Wartung.
10. Falsche Auswahl der Schutzbrille und/oder Versagen der Schutzbrille.
11. Unbeabsichtigte Exposition der Augen/Haut bei normalem Gebrauch.
12. Einatmen von durch den Laser erzeugten Dämpfen und Exposition von Sekundärstrahlung (UV, blaues Licht).
13. Entzündung von Bränden durch Laser.
14. Photochemische Augen- oder Hautexposition.

# Top 14 Unfallursachen

---

## Die 14 häufigsten von der Rockwell Laserindustrie gemeldeten Ursachen

1. Unerwartete Augenexposition während der Justage.
2. Falsch ausgerichtete Optiken und nach oben gerichtete Strahlen.
3. Verfügbarer Laser-Augenschutz wurde nicht verwendet.
4. Fehlfunktion der Ausrüstung.
5. Unsachgemäße Handhabung von Hochspannung.
6. Beabsichtigte Exposition ungeschützter Personen.
7. Personen, die mit der Laserausrüstung nicht vertraut sind.
8. Kein Schutz für die damit verbundenen Gefahren vorgesehen.
9. Unsachgemäße Wiederherstellung der Ausrüstung nach der Wartung.
10. Falsche Auswahl der Schutzbrille und/oder Versagen der Schutzbrille.
11. Unbeabsichtigte Exposition der Augen/Haut bei normalem Gebrauch.
12. Einatmen von durch den Laser erzeugten Dämpfen und Exposition von Sekundärstrahlung (UV, blaues Licht).
13. Entzündung von Bränden durch Laser.
14. Photochemische Augen- oder Hautexposition.

# Im Lehr- und Forschungsumfeld

---

- **100%iger Schutz?**
  - Es ist nicht möglich, industrielle Sicherheitsniveaus zu erreichen  
→ vollständig geschlossene Systeme
  - Das Risiko sollte so gering wie vernünftigerweise erreichbar sein
- **Zugang mehrerer Benutzer**
  - Es kann mehr als ein Laser im Labor verwendet werden
  - Es kann mehr als eine Wellenlänge gleichzeitig verwendet werden
- **Vielseitige Systeme**
  - Wechselnde Wellenlängen
  - Justagen/Umbau
  - Reparaturen

**Sicherheitsbewusstsein ist entscheidend!**



## 2. Was ist ein LASER?

# LASER: Funktionsprinzip

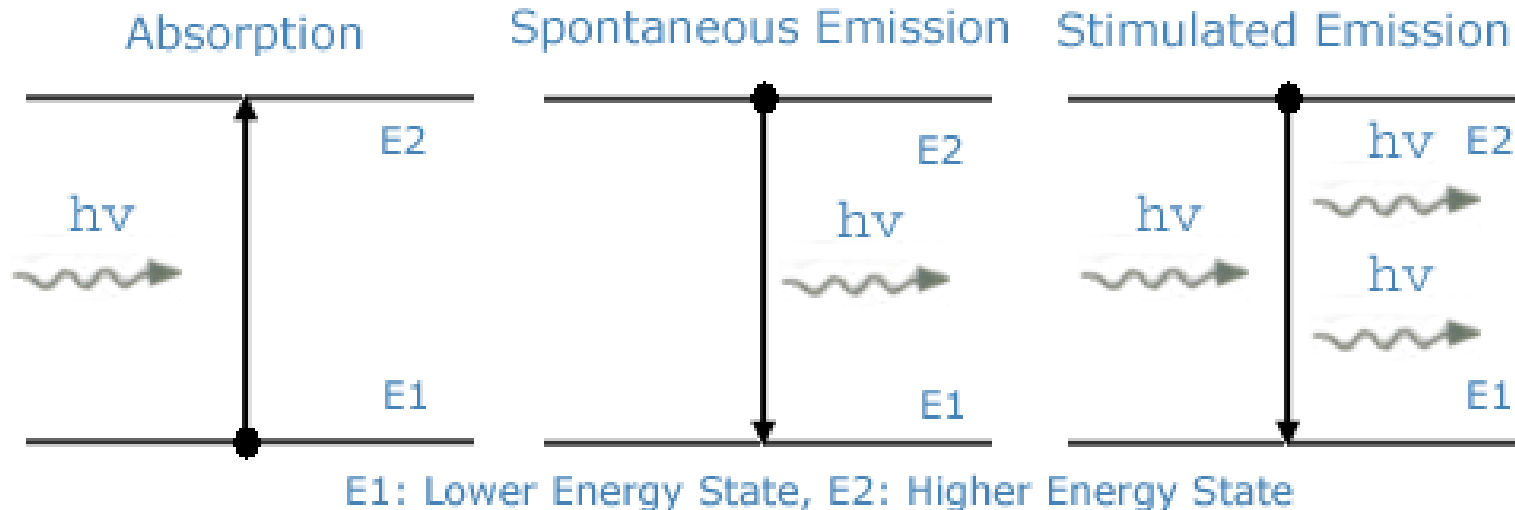
**L**ight  
**A**mplification by  
**S**timulated  
**E**mission of  
**R**adiation

**LASER Medien:**

**Festkörper** wie Nd:YAG, Ti:Sapphire, Diodes

**Flüssigkeiten:** Z.B. Organische Farbstoffe

**Gase** wie He-Ne, Ar-Kr, Excimer



# LASER: Funktionsprinzip

## Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

### LASER Medien:

**Festkörper** wie Nd:YAG, Ti:Sapphire, Diodes

**Flüssigkeiten:** Z.B. Organische Farbstoffe

**Gase** wie He-Ne, Ar-Kr, Excimer

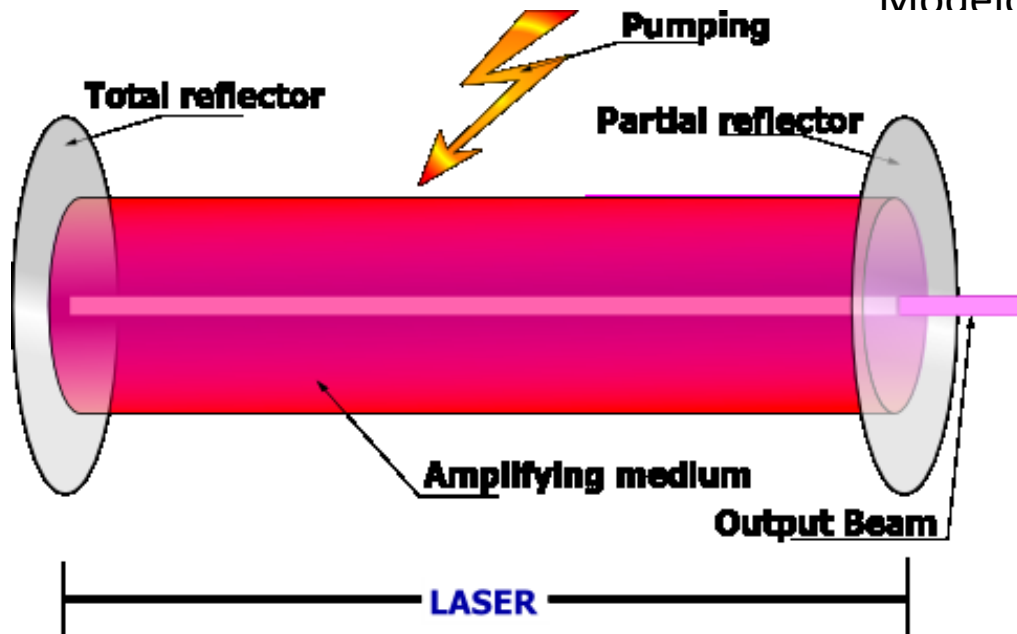
### LASER Modi:

Dauerstrahl ( $> 0.25$  s)

Gepulst ( $> 1 \mu\text{s}$  to 0,25 s)

Giant pulsed ( $1 \mu\text{s}$  to 1 ns)

ModeLocked ( $< 1$  ns)



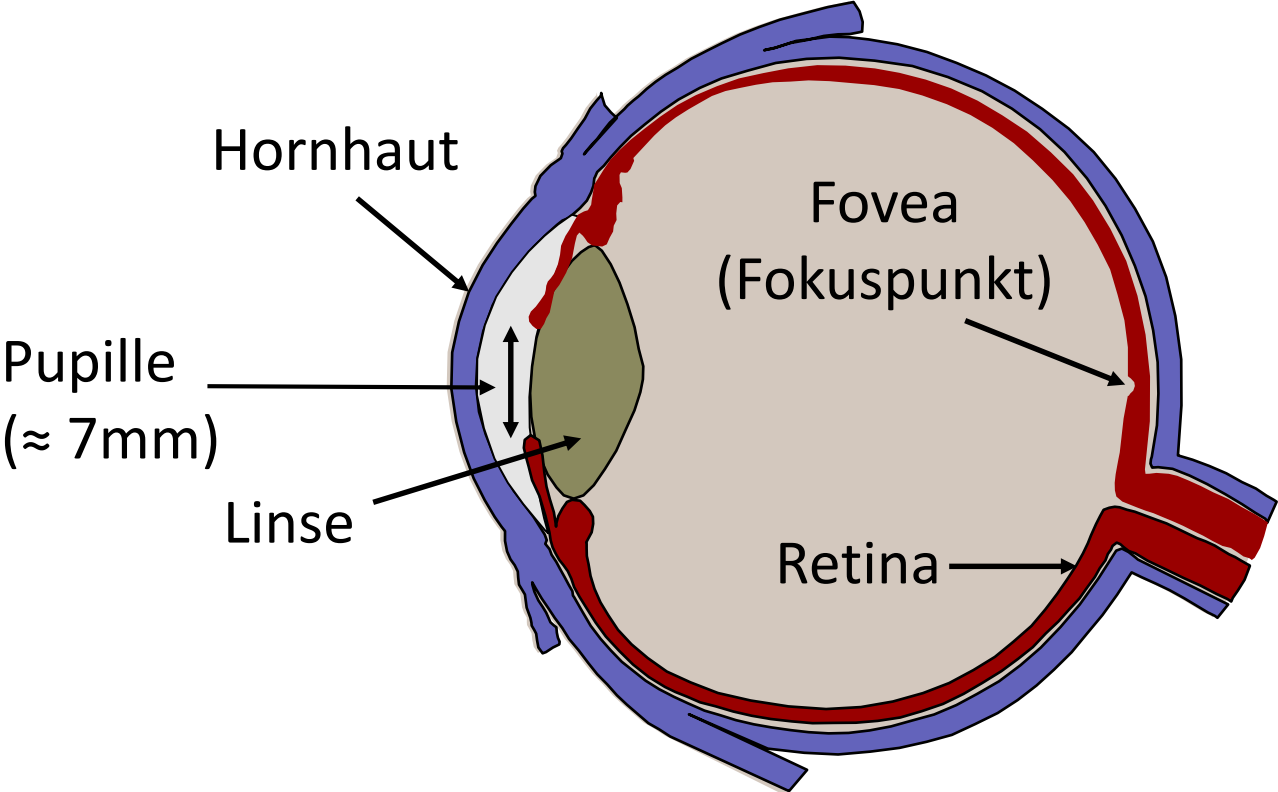
### LASER-Licht

- ist nahezu **monochromatisch**
- ist hochgradig **kollimiert**
- kann extreme **Intensitäten** aufweisen

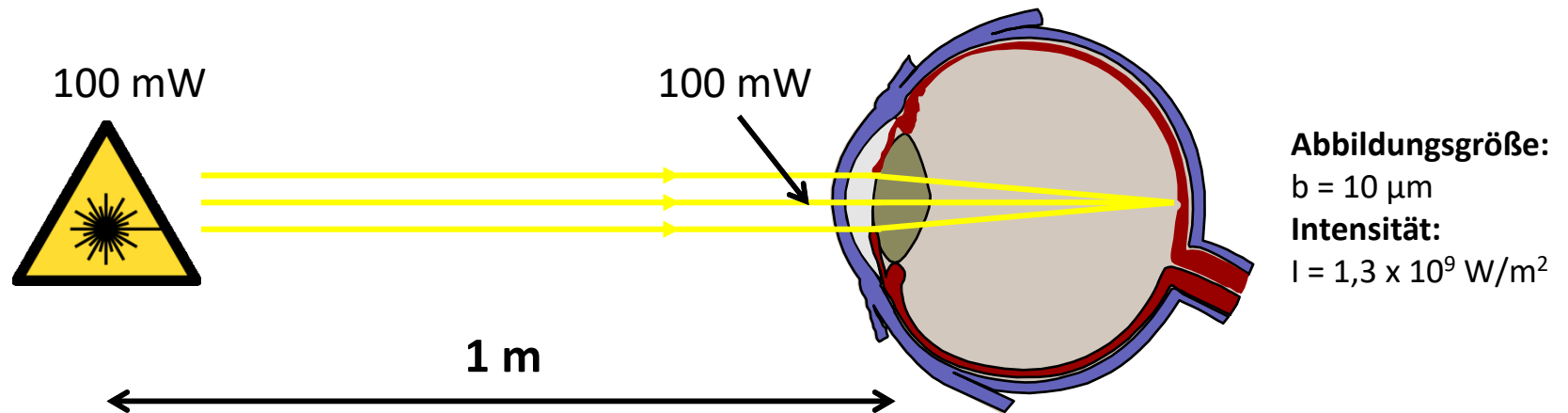
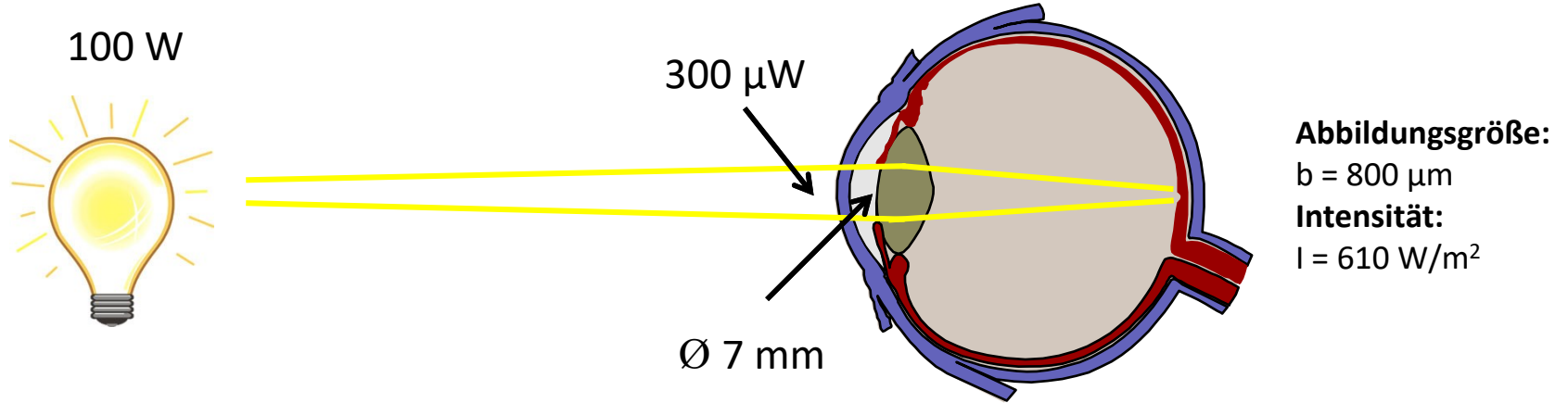
3. Warum ist LASER-Licht gefährlich?

# Anatomie des Auges

---



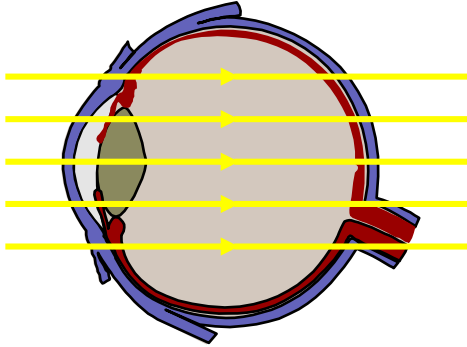
# Gefährdung: Glühbirne vs. LASER



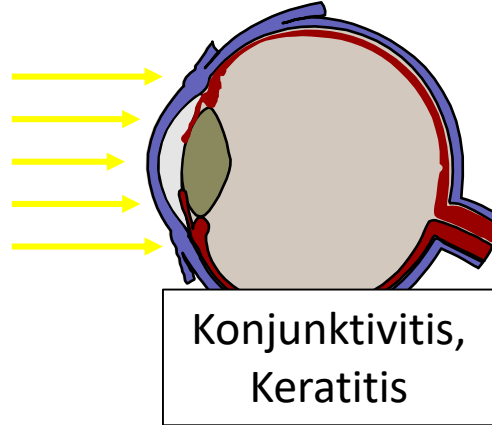
Verhältnis auf der Retina:  $\frac{I_{\text{Laser}}}{I_{\text{Bulb}}} = 2,1 \cdot 10^6$

# Gefährdungen des Auges durch LASER-Licht

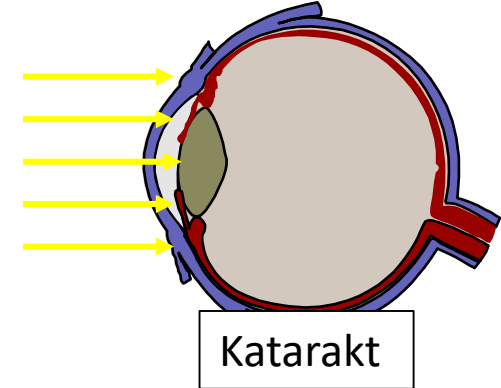
x-rays and  $\gamma$ -rays < 100 nm



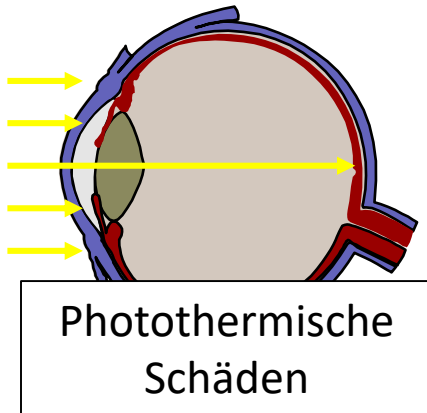
UV-B / UB-C: 100 - 315 nm



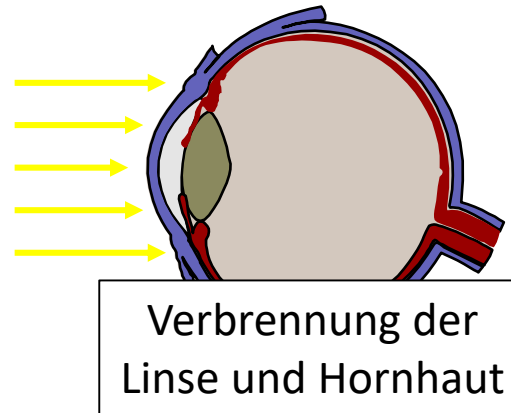
UV-A: 315 - 400 nm



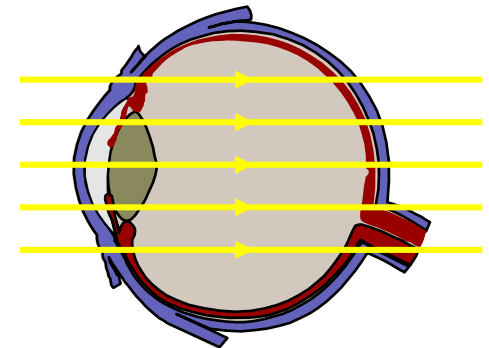
Vis / IR-A: 400 - 1400 nm



IR-B / IR-C: 1400 - 3 mm



Micro / Radio: > 3 mm



# Gefährdungen des Auges durch LASER-Licht

## Alle Hochleistungslaser können Hautverbrennungen verursachen

Ultraviolette Strahlung (UV): Ist eine besondere Gefahrenquelle auch bei geringer Leistung.

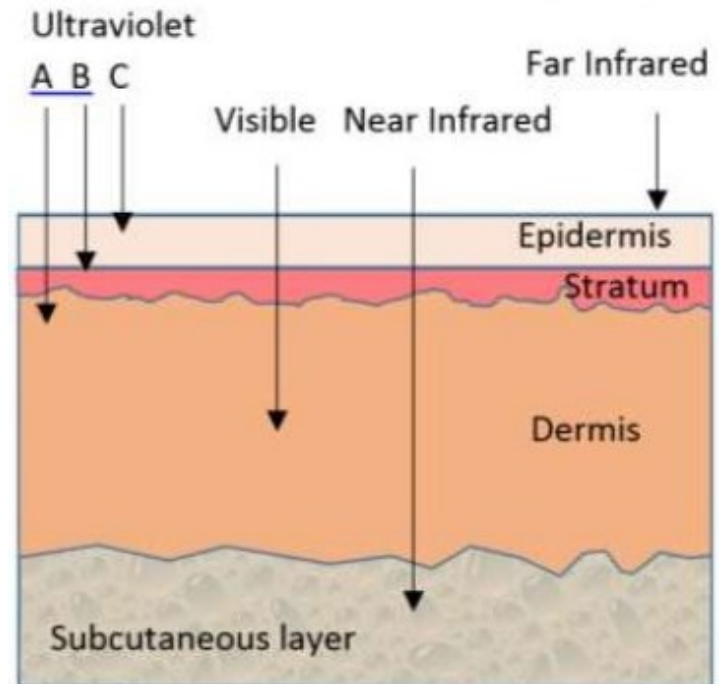
Ultraviolett-Quellen im Labor: Dazu gehören Laser, z. B. optischer parametrischer Verstärker (OPA) und UV-Lampen.

### Auswirkungen der Exposition auf die Haut

- „Leichte“ Erytheme (Sonnenbrand),
- Beschleunigte Hautalterung,
- Hautkrebs.

### Epidermis

- UV C (180-280 nm): Absorbiert in der Ozonschicht,
- UV B (280-315 nm) Tiefe Schichten der Haut,
- UV A (315-400 nm) Bräunung / Gefährdung.





## 4. Wichtige Begriffe

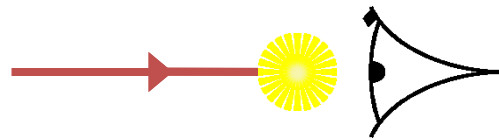
Laserklassen

Maximal zulässige Exposition

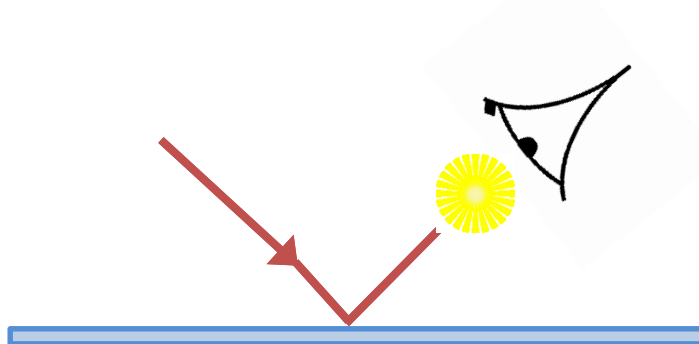
Nominale Gefährdungszonen

1 → 1M → 2 → 2M → 3R → 3B → 4

**Steigende Gefährdung**



Direkte Exposition gefährlich (2, 2M, 3R, 3B, 4)



spiegelnde Betrachtung  
gefährlich (2, 2M, 3R, 3B, 4)



Gefährliche diffuse Reflexionen  
(3R, 3B, 4)

# Laser-Klasse 1 & 1M („sicher“)

CLASS 1  
LASER PRODUCT

$P < 0,4 \text{ mW}$   
 $\emptyset < 7,0 \text{ mm}$

LASER RADIATION  
DO NOT VIEW  
WITH OPTICAL INSTRUMENTS  
CLASS 1M LASER PRODUCT

$P < 0,4 \text{ mW}$   
 $\emptyset > 7,0 \text{ mm}$

$302,5 \text{ nm} \leq \lambda \leq 4000 \text{ nm}$

- Nicht in der Lage, schädliche Strahlung zu erzeugen
- Keine Vorsichtsmaßnahmen erforderlich
- Keine Kennzeichnungspflicht
- Laser jeder Klasse, die vollständig geschlossen sind, so dass keine gefährliche Strahlung austreten und Verletzungen verursachen kann
- Die Pupille des Auges reduziert die mögliche Intensität
- Bei Verwendung von optischen Sehhilfen besteht die Möglichkeit einer gefährlichen Exposition

# Laser-Klasse 2 & 2M



$$P < 1,0 \text{ mW}$$
$$\varnothing < 7,0 \text{ mm}$$



$$P < 1,0 \text{ mW}$$
$$\varnothing > 7,0 \text{ mm}$$

$$400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$$

- Nur gefährlich, wenn man direkt in den Strahl starrt ( $> 0,25 \text{ s}$ )
- Keine Vorsichtsmaßnahmen erforderlich (Aversionsreaktion / Augenlidschlussreflex)
- Sicherheitsbelehrung erforderlich
- Die Pupille des Auges reduziert die mögliche Intensität
- Bei Verwendung von optischen Sehhilfen besteht die Möglichkeit einer gefährlichen Exposition

# Laser-Klasse 3R & 3B

---

LASER RADIATION  
AVOID DIRECT  
EYE EXPOSURE  
CLASS 3R LASER PRODUCT

$$P_{\text{Vis}} < 5,0 \text{ mW}$$

CAUTION - CLASS 3B  
LASER RADIATION  
WHEN OPEN. AVOID  
EXPOSURE TO BEAM

$$P < 500,0 \text{ mW}$$

$$302,5 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1 \text{ mm}$$

- Direkter Blick in den Strahl ist gefährlich
- Direkte Strahlenexposition sollte sehr unwahrscheinlich sein
- Vorsichtsmaßnahmen:  
Angemessener Augenschutz
- Sicherheitsbelehrung erforderlich
- Exposition von Augen und Haut ist gefährlich
- Kann Brand verursachen
- Vorsichtsmaßnahmen:  
Laserschutzbrille und  
Schutzhandschuhe

# Laser-Klasse 4

---

CAUTION - CLASS 4 VISIBLE  
AND INVISIBLE LASER  
RADIATION WHEN OPEN  
AVOID EYE OR SKIN  
EXPOSURE TO DIRECT OR  
SCATTERED RADIATION

$P > 500,0 \text{ mW}$

- Verursacht schwere Augenschäden und Verbrennungen der Haut.
- Selbst diffuse Reflektionen können Netzhautverletzungen verursachen.
- Kann Feuer und Explosionen verursachen
- Direkte Strahlenexposition sollte sehr unwahrscheinlich sein
- Vorsichtsmaßnahmen: Laserausrichtungsbrille nur für  $P < 100 \text{ W}$ , sonst immer Schutzbrille
- Sicherheitsbelehrung erforderlich

# Maximal zulässige Exposition (MZE)

---

- Die MZE ist der höchste Strahlungswert, dem eine Person ohne gefährliche Auswirkungen ausgesetzt werden kann.
- Die MZE wird bei CW-Lasern in  $\text{W}/\text{m}^2$  und bei gepulsten Lasern in  $\text{J}/\text{m}^2$  angegeben. Der Wert hängt von der Wellenlänge, der Belichtungsdauer und der Pulswiederholfrequenz ab.
- Eine Exposition gegenüber Strahlungswerten, die über der MZE liegen, kann zu schädlichen biologischen Wirkungen führen, z. B. zu Verletzungen der Haut und/oder der Augen.

**Beispiel:** CW LASER,  $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$ , Dauer 0,25 s:

$$\text{MZE} = 25,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 3,9 \text{ mW/Pupillenfläche}$$

# Nominelle Gefährdungszone (NGZ)

---

- Die NGZ ist der Bereich um den Laser herum, in dem eine Person einer Strahlung ausgesetzt sein kann, die über der MZE liegt.
- Bei Lasern der Klassen 3b und 4, die nicht umschlossen sind, muss der Laserschutzbeauftragte eine NGZ einrichten.
- Personen können verletzt werden, wenn sie sich während des Betriebs des Lasers innerhalb dieses Bereichs aufhalten.



## 5. Sicherheitsvorkehrungen

# Drei Sicherheitsebenen

---

## 1. Technische Ebene:

- Gestalten Sie das Experiment/Labor so, dass eine gefährliche Exposition nicht erfolgt.
- Reduzieren Sie die Leistung während der Ausrichtung.
- Verwenden Sie Strahlenkapseln und platzieren Sie Strahlenblöcke, wo dies möglich ist.
- Stellen Sie sicher, dass alle Optiken und Halterungen sicher am optischen Tisch befestigt sind.
- Viele Zwischenfälle passieren durch einen versehentlich abgelenkten Strahl
- Verwenden Sie einen ausgewiesenen Bereich mit Verriegelungen und Warnleuchten an den Eingängen

## 2. Administrative Ebene

- Laser-Sicherheitstraining
- Ausgewiesene Bereiche
- Gute Beschilderung

## 3. Persönlicher Schutz

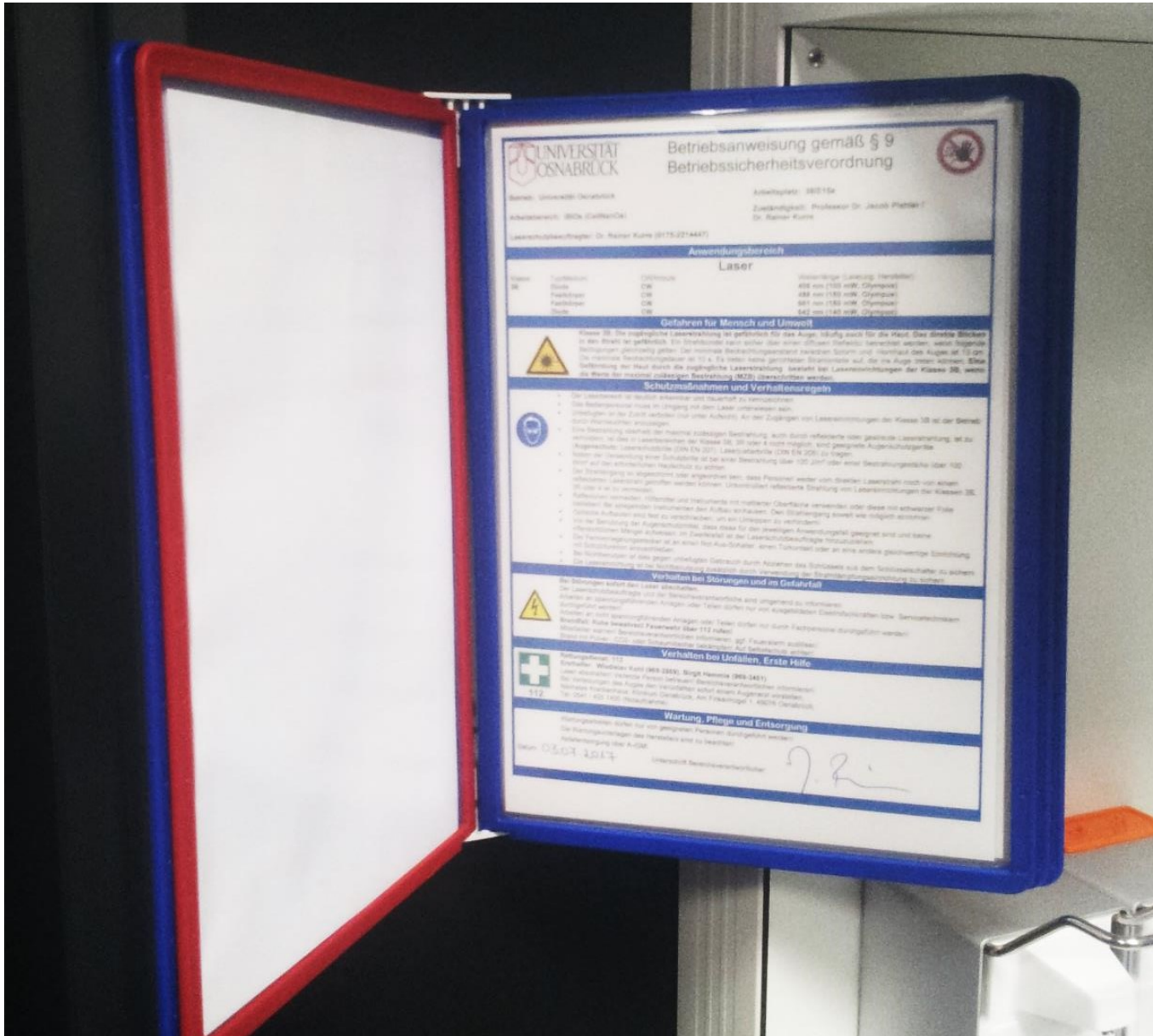
- Schutzbrille / Schutzkleidung
- Achtsamkeit und gesunder Menschenverstand
- Muss ich hier sein?
- Was machen die anderen im Labor?



# Laserbereiche und Betriebsanweisungen im CellNanOs/iBiOs



# Laserbereiche und Betriebsanweisungen im CellNanOs/iBiOs



# Persönliche Schutzausrüstung (PSA) für die Augen

---

- Für Laser der Klassen 2 oder 3R ist keine PSA erforderlich, es sei denn, ein absichtlicher direkter Blick über 0,25 Sekunden ist notwendig.
- PSA für Augen, die Lasern der Klassen 3B oder 4 ausgesetzt sind, ist obligatorisch.
- Am besten sind Brillen mit Seitenschutz.
- Berücksichtigen Sie bei der Auswahl der Schutzbrille die folgenden Faktoren:
  - Optische Dichte (OD) der Schutzbrille, Laserleistung und/oder Pulsenergie, Laser-Wellenlänge(n) Kriterien für die Expositionszeit, Maximal zulässige Exposition, Schutz- oder Justagebrille?



# Die Auswahl der richtigen Schutzbrille

Schutzstufe <i>Scale number</i>	Maximaler spektraler Transmissionsgrad bei den Laserwellenlängen  <i>Maximum spectral transmittance for laser wavelength</i>  $\tau(\lambda)$	Maximale Leistungs- (E) und/oder Energiedichte (H) im Wellenlängenbereich <i>Maximum power (E) and energy (H) density in the wavelength range</i>								
		180 nm → 315 nm			> 315 nm → 1400 nm			> 1400 nm → 1000 µm		
		Für Prüfbedingung <i>For test condition</i> / Impulsdauer in s								
		D > 3 · 10 <sup>4</sup>	I,R 10 <sup>-9</sup> bis 3 · 10 <sup>4</sup>	M < 10 <sup>-9</sup>	D > 5 · 10 <sup>-4</sup>	I,R 10 <sup>-9</sup> bis 5 · 10 <sup>-4</sup>	M < 10 <sup>-9</sup>	D > 0,1	I,R 10 <sup>-9</sup> bis 0,1	M < 10 <sup>-9</sup>
E <sub>D</sub> W/m <sup>2</sup>	H <sub>I,R</sub> J/m <sup>2</sup>	E <sub>M</sub> W/m <sup>2</sup>	E <sub>D</sub> W/m <sup>2</sup>	H <sub>I,R</sub> J/m <sup>2</sup>	H <sub>M</sub> J/m <sup>2</sup>	E <sub>D</sub> W/m <sup>2</sup>	H <sub>I,R</sub> J/m <sup>2</sup>	E <sub>M</sub> W/m <sup>2</sup>		
L1	10 <sup>-1</sup>	0,01	3 · 10 <sup>2</sup>	3 · 10 <sup>11</sup>	10 <sup>2</sup>	0,05	1,5 · 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>12</sup>
L2	10 <sup>-2</sup>	0,1	3 · 10 <sup>3</sup>	3 · 10 <sup>12</sup>	10 <sup>3</sup>	0,5	1,5 · 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>13</sup>
L3	10 <sup>-3</sup>	1	3 · 10 <sup>4</sup>	3 · 10 <sup>13</sup>	10 <sup>4</sup>	5	0,15	10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>14</sup>
L4	10 <sup>-4</sup>	10	3 · 10 <sup>5</sup>	3 · 10 <sup>14</sup>	10 <sup>5</sup>	50	1,5	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>15</sup>
L5	10 <sup>-5</sup>	100	3 · 10 <sup>6</sup>	3 · 10 <sup>15</sup>	10 <sup>6</sup>	5 · 10 <sup>2</sup>	15	10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>16</sup>
L6	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>3</sup>	3 · 10 <sup>7</sup>	3 · 10 <sup>16</sup>	10 <sup>7</sup>	5 · 10 <sup>3</sup>	1,5 · 10 <sup>2</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>17</sup>
L7	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>4</sup>	3 · 10 <sup>8</sup>	3 · 10 <sup>17</sup>	10 <sup>8</sup>	5 · 10 <sup>4</sup>	1,5 · 10 <sup>3</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>18</sup>
L8	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>5</sup>	3 · 10 <sup>9</sup>	3 · 10 <sup>18</sup>	10 <sup>9</sup>	5 · 10 <sup>5</sup>	1,5 · 10 <sup>4</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>19</sup>
L9	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>6</sup>	3 · 10 <sup>10</sup>	3 · 10 <sup>19</sup>	10 <sup>10</sup>	5 · 10 <sup>6</sup>	1,5 · 10 <sup>5</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>20</sup>
L10	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>7</sup>	3 · 10 <sup>11</sup>	3 · 10 <sup>20</sup>	10 <sup>11</sup>	5 · 10 <sup>7</sup>	1,5 · 10 <sup>6</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>21</sup>

Reference: EN 207 Tab. B.1.

Quelle: „Guide to Laser Safety“, LaserVision GmbH

# Die Auswahl der richtigen Schutzbrille

---

<b>Schutzstufe nach DIN EN 208</b> <i>Scale number acc. to EN 208</i>	Dauerstrichlaser und Impulslaser mit einer Impulslänge $> 2 \cdot 10^{-4}$ s Maximale Laserleistung in W <i>CW lasers and pulsed lasers with a pulse length of <math>&gt; 2 \cdot 10^{-4}</math> s Max. laser power in W</i>	gepulste Laser mit einer Impulslänge $> 10^{-9} - 10^{-4}$ s Maximale Impulsenergie in J <i>Pulsed lasers with a pulse length <math>&gt; 10^{-9} - 10^{-4}</math> s Max. pulse energy in J</i>
R1	0,01 W	$2 \cdot 10^{-6}$
R2	0,1 W	$2 \cdot 10^{-5}$
R3	1 W	$2 \cdot 10^{-4}$
R4	10 W	$2 \cdot 10^{-3}$
R5	100 W	$2 \cdot 10^{-2}$

Quelle: EN 208

Reference: EN 208

# Dos & Don'ts für Arbeiten mit Lasers

---

## **Don'ts (oder kleine Fehler mit GROßEN Folgen)**

- Nicht direkt in den Strahl blicken,
- Setzen Sie Ihre Haut nicht dem Strahl aus (verwenden Sie z. B. Indikatorkarten),
- Öffnen Sie keine Öffnungen/Abdeckungen des Mikroskops/Systems, wenn eine Laseremission möglich ist,
- Berühren Sie keine Laseroptik und versuchen Sie nicht, einen Laser neu auszurichten, wenn Sie dazu nicht befugt sind,
- Schutzvorrichtungen (Schutzbrillen, Hinweisschilder) nicht umgehen,
- Tragen Sie keine Ringe, Armbänder oder andere reflektierende Materialien bei der Justage,
- Lassen Sie den Laser nicht eingeschaltet, wenn dies nicht erforderlich ist,
- Erlauben Sie unbefugten Personen nicht die Benutzung von Lasersystemen oder lassen Sie sie mit eingeschalteten Lasern allein.

## **Dos**

- Befestigen Sie den Laser vor der Verwendung auf einem optischen Bank,
- Labortüren und Laserschutzvorhänge schließen, um Personen zu schützen,
- Vor dem Betreten eines Labors mit blinkender Laserwarnlampe anklopfen,
- Reduzieren Sie für Justagen die Laserleistung so weit wie möglich,
- Im Falle einer Fehlfunktion sofort den Vorgesetzten und den Laserschutzbeauftragten informieren.



# Im Fall eines Unfalls

---

- Laser ausschalten, wenn möglich
- Ersthelfer kontaktieren
- Notruf wählen: 112
- Arzt aufsuchen (Augenarzt oder Dermatologe)
- Vorgesetzten und Laserschutzbeauftragten informieren

## **Betriebsärztlicher Dienst**

**Apl. Prof. Dr. Henning Allmers**

Dermatologie,  
Umweltmedizin,  
Gesundheitstheorie  
Universität Osnabrück  
Sedanstr. 115  
49090 Osnabrück  
Phone.: 0541/3329  
Room: 70/B25

## **Paracelsus Kliniken**

**Augenabteilung**

Am Natruper Holz 69  
49076 Osnabrück  
Tel.: 0541/609220 (Praxis)

## **Ihre Hautärzte**

**Dr. med. Th. Rosenbach  
und Kollegen**

Lotter Str. 58-61  
49078 Osnabrück  
Tel.: 0541/3 35 00-0  
(Praxis)

# Gleichgültigkeit ist Ihr Feind!

**Wenn Sie Zweifel haben, dass Sie nicht mit sicheren Methoden oder Geräten arbeiten:**

- **Wenden Sie sich an Ihren Vorgesetzten und den Laserschutzbeauftragten!**
- **Sie haben ein Recht darauf, sicher zu arbeiten!**

**Rainer Kurre**

**Tel.:** 0541-969-7338

**E-mail:** [rainer.kurre@uos.de](mailto:rainer.kurre@uos.de)

**Web:** [www.ibios.uos.de](http://www.ibios.uos.de)

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**