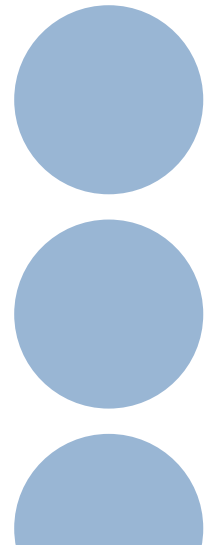


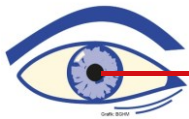
## Biologische Wirkung von Laserstrahlung

Gefährdung von Augen und Haut

ID 090109



### Gefährdungen durch die Einwirkung von Laserstrahlung



- Einleitung
- Begriffsdefinition
- Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Haut und Auge
- Strahlungsgrenzwerte



Quelle: BGR 02



ID 032138

## Biologische Wirkungen von Laserstrahlung

- Photochemische Wirkungen
- Thermische Wirkungen
  - Verdampfung
  - Photoablation
  - Photodisruption

ID 032153a

## Photochemische Wirkungen

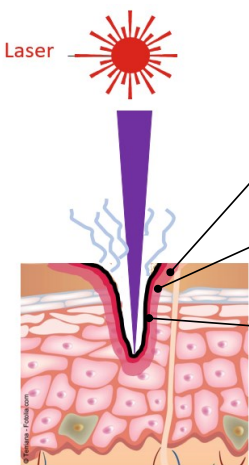
- Bindehautentzündung
- Hornhautentzündung
- Hautrötung
- sofortige Pigmentierung
- verzögerte Pigmentierung
- Hautkrebs
- ...

ID 032153b

Thermische Wechselwirkungen

Schädigung der Haut	< 37 °C	Erwärmung	reversibel
	< 45 °C	Membranauflockerung	irreversibel Gewebetod
	< 60 °C	Proteindenaturierung, Koagulation	Gewebetod
	< 80 °C	Kollagendenaturierung, Membrandefekte	Gewebetod
	< 100 °C	Austrocknung	
	< 150 °C	Karbonisierung	
	< 300 °C	Verdampfung und Vergasung	

Verdampfung

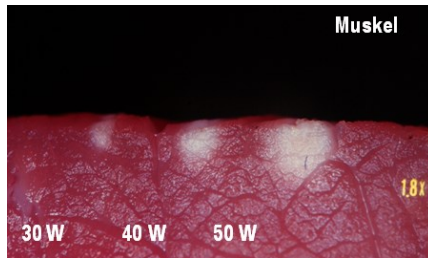


Grafik: BGHM

Schädigung der Haut

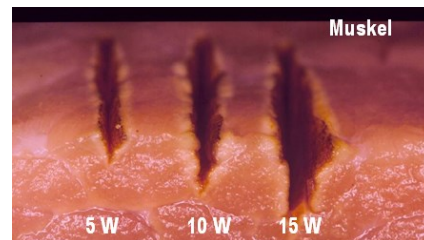
< 37 °C	Erwärmung	reversibel
< 45 °C	Membranauflockerung	irreversibel Gewebetod
< 60 °C	Proteindenaturierung, Koagulation	Gewebetod
< 80 °C	Kollagendenaturierung, Membrandefekte	Gewebetod
< 100 °C	Austrocknung	
< 150 °C	Karbonisierung	
< 300 °C	Verdampfung und Vergasung	

## Thermische Wechselwirkungen



Koagulation mit den Nd:YAG-Laser

Schnitt mit dem CO<sub>2</sub>-Laser

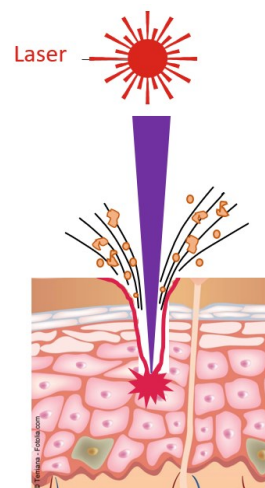


ID 032149

## Photoablation

- Laserinduzierter explosiver Gewebeabtrag
- Abtrag mit geringer Wärmeeinflusszone
- "kalter Abtrag"

Typische Energiedichten und Einwirkzeiten  
 $1 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$  - ns ...  $\mu\text{s}$

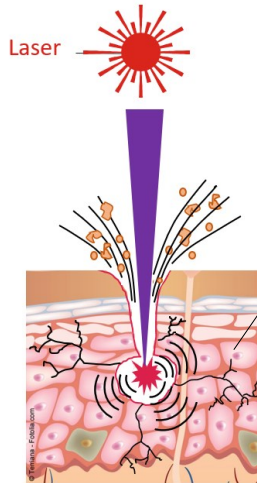


Grafik: BGHM

ID 032155

## Photodisruption

Energiedichte: ca.  $10^7 \text{ J/m}^2$   
Pulsdauer:  $10^{-15} - 10^{-9} \text{ s}$



Optische Effekte:

- Plasmaproduktion, Plasmaheizung

Mechanische Effekte:

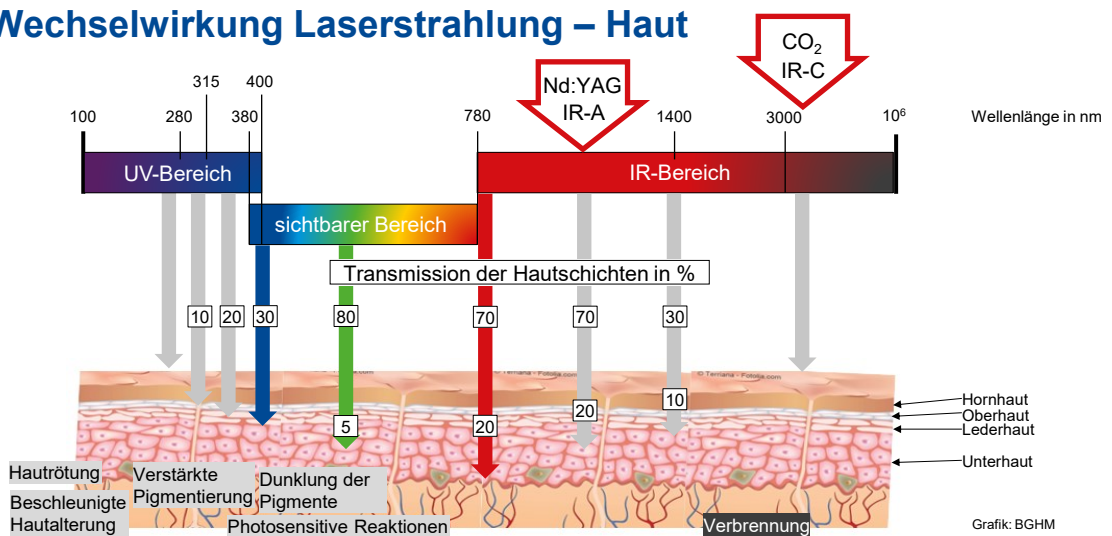
- Expansion

- Schockwellen

Grafik: BGHM

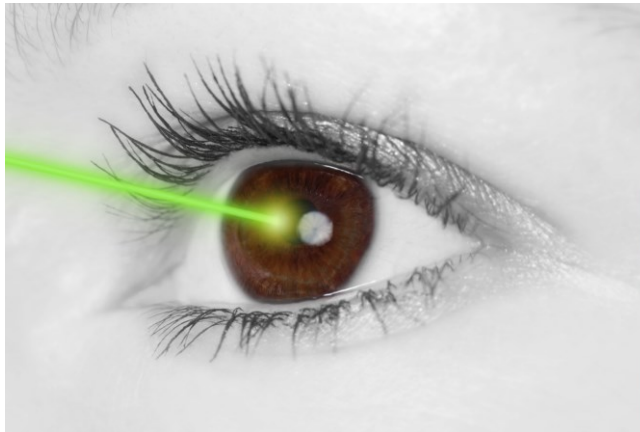
ID 032157

## Wechselwirkung Laserstrahlung – Haut



ID 032141

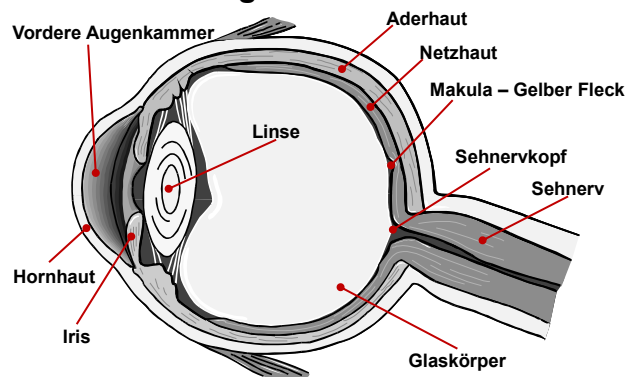
## Schädigung des Auges durch Laserstrahlung



ID 082920

## Wechselwirkung Laserstrahlung – Auge (1)

### Aufbau des Auges

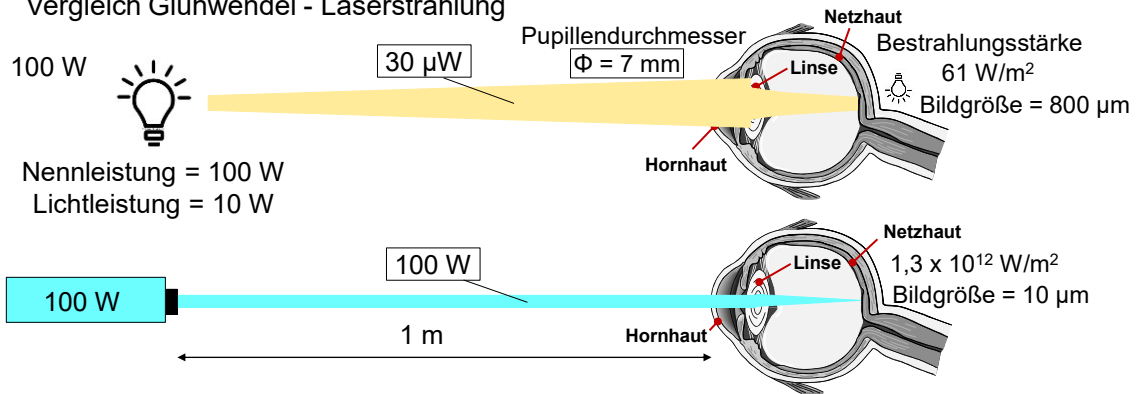


Grafik: BGHM

ID 032142

## Abbildung von Lichtquellen auf der Netzhaut

Vergleich Glühlampe - Laserstrahlung

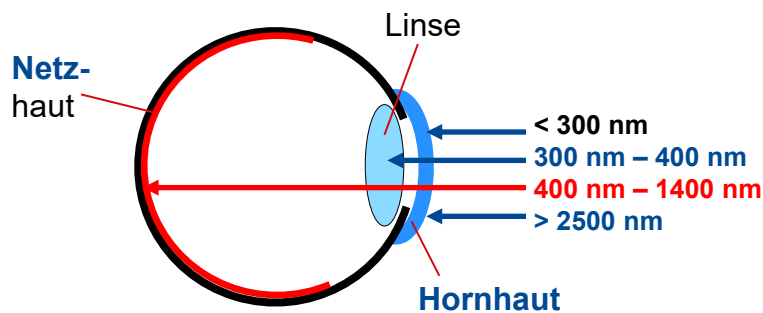


Verhältnis der Bestrahlungsstärken:  $\frac{E(\text{Laser}, 100 \text{ W})}{E(\text{Glühlampe}, 100 \text{ W})} = 2,1 \times 10^{10}$

Grafik: BGHM

ID 032142a

## Wechselwirkung Laserstrahlung - Auge



Grafik: BGHM

ID 032165a

## Schädigung des Auges durch Laserstrahlung

[elearning.bgetem.de](http://elearning.bgetem.de)



ID 032153b

## Expositionsgrenzwert (1)

### Expositionsgrenzwert nach OStrV

- Grenzwert der Gefährdung von Auge bzw. Haut
- Bestrahlungsstärke [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] oder Bestrahlung [ $\text{J}/\text{m}^2$ ]
- Zwei Werte für Auge bzw. Haut
- abhängig von
  - Wellenlänge
  - Einwirkdauer
  - ggf. Impulsdauer, Impulsfolge
  - Strahlgeometrie
  - ...
- Tabelle in EG-RL „künstliche optische Strahlung“ 2006/25/EG

ID 030948



## Expositionsgrenzwert (2)

Auge

Grenzwerte für die Exposition des Auges gegenüber — Laserstrahlen Länge Expositionsdauer  $\geq 10$  s

Expositionsdauer

Wellenlänge $\lambda$ [nm]	Öffnung	Dauer [s]		
		$10^1 - 10^2$	$10^3 - 10^4$	$10^5 - 3 \cdot 10^6$
UV-C 180 - 280 280 - 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314	3,5 mm	$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 140 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 230 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 830 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 1,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
UV-A 315 - 400	7 mm	$H = 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
		$H = 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
Sichtbar 400 - 700	7 mm	$H = 100 C_a \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ ( $\gamma = 11 \text{ mrad}$ ) <sup>1</sup>	$E = 1 C_a \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ ; ( $\gamma = 1,1 \text{ t}^{0,5} \text{ mrad}$ ) <sup>2</sup>	$E = 1 C_a \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ ( $\gamma = 110 \text{ mrad}$ ) <sup>3</sup>
		wenn $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ wenn $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ und $t \leq T_1$ wenn $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ und $t > T_1$	dann $E = 10 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ dann $E = 18 C_a t^{0,5} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ dann $E = 18 C_a T_1^{0,5} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	
IR-A und IR-C	7 mm	wenn $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ wenn $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ und $t \leq T_1$ wenn $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ und $t > T_1$	dann $E = 10 C_a C_2 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ dann $H = 18 C_a C_2 t^{0,5} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ dann $E = 18 C_a C_2 T_1^{0,5} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ (maximal $1000 \text{ W m}^{-2}$ )	<b>10 W/m<sup>2</sup></b>
			$E = 1000 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	<b>1000 W/m<sup>2</sup></b>

Quelle: Tabelle in EG-RL 2006/25/EG „künstliche optische Strahlung“

ID 030949

## Laserbereich

### Definition „Laserbereich“:

#### Expositionsgrenzwert „EGW“

- wird überschritten
- oder
- kann überschritten werden

**Laserbereich = Gefahrenbereich!**

ID 030950



## Grenzwerte im Laserschutz (1)

### Expositionsgrenzwert

„ab wann wird's gefährlich“

- nach EG-RL „künstl. opt. Strahlung“
- empirisch ermittelte Werte für Auge und Haut
- abhängig von Wellenlänge, Pulsdauer, Zeitdauer der Laserstrahlung
- begrenzt den Laserbereich
- Festlegung von Schutzmaßnahmen

ID 032163



## Grenzwerte im Laserschutz (2)

MZB-Wert

„Maximal zulässige Bestrahlung“

DIN EN 60825-1:

Expositionsgrenzwerte identisch<sup>1</sup> als „MZB-Werte“ weitestgehend übernommen.

- damit werden Laserklassen definiert.

z. B:

in Laserklasse 2 darf MZB-Wert für das Auge für eine Beaufschlagungszeit von 0,25 s nicht überschritten werden<sup>2</sup>.

in Laserklasse 3B darf MZB-Wert für die Haut nie überschritten werden<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> mit nicht relevanten Abweichungen    <sup>2</sup> vereinfacht!

ID 032163a

## Grenzwerte im Laserschutz (3)

GZS-Wert

„Grenzwert zugänglicher Bestrahlung“

DIN EN 60825-1:

- für jede Laserklasse wird der herangezogene MZB-Wert dem GZS-Wert zugrunde gelegt, z. B:
  - in Laserklasse 2 wird der MZB-Wert für das Auge für eine Beaufschlagungszeit von 0,25 s dem GZS-Wert für die Klasse 2 zugrundegelegt<sup>2</sup>.
  - in Laserklasse 3B wird der MZB-Wert für die Haut dem GZS-Wert zugrundegelegt<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> vereinfacht!

ID 032163b

## GZS-Wert Tabelle analog DIN EN 60825-1

Tabelle 5 – Grenzwerte zugänglicher Strahlung für Lasereinrichtungen der Klasse 2 und der Klasse 2M

Wellenlänge nm	Emissionsdauer s	GZS der Klasse 2
400 bis 700	$t < 0,25$ $t \geq 0,25$	GZS wie Klasse 1 $C_B \times 10^{-3} \text{ W}$

1 mW

Pilotlaser (400 – 700 nm (700nm = rotes Licht)) < 1 mW  
 $C_B$  aus Tabelle 2.5 der EU-RL 2006/25/EG

ID 032163c