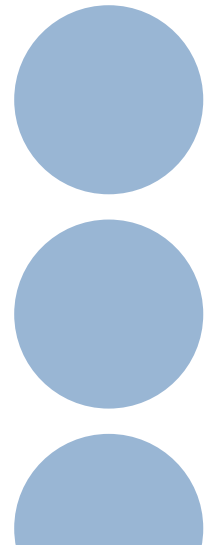


Biologische Wirkung von Laserstrahlung

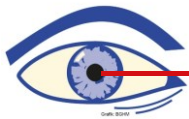
Gefährdung von Augen und Haut

ID 090109



1

Gefährdungen durch die Einwirkung von Laserstrahlung



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



Quelle: BGR 02

ID 032138

2

Biologische Wirkungen von Laserstrahlung

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

ID 032153a

3

Photochemische Wirkungen

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

ID 032153b

4

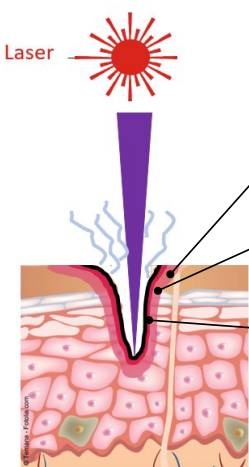
Thermische Wechselwirkungen

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	

ID 032148

5

Verdampfung



Schädigung der Haut

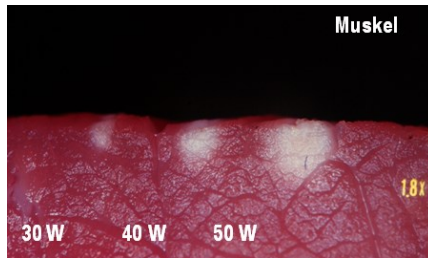
< 37 °C	Erwärmung	reversibel
< 45 °C	Membranauflockerung	irreversibel Gewebetod
< 60 °C	Proteindenaturierung, Koagulation	Gewebetod
< 80 °C	Kollagendenaturierung, Membrandefekte	Gewebetod
< 100 °C	Austrocknung	
< 150 °C	Karbonisierung	
< 300 °C	Verdampfung und Vergasung	

Grafik: BGHM

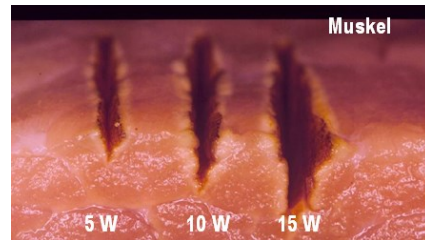
ID 032148a

6

Thermische Wechselwirkungen



Koagulation mit den Nd:YAG-Laser



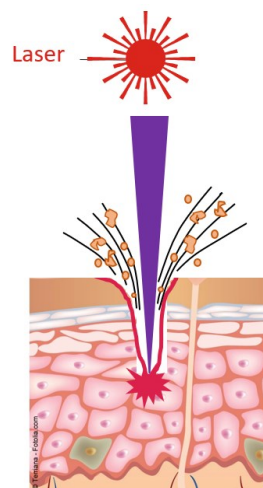
Schnitt mit dem CO₂-Laser

ID 032149

7

Photoablation

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



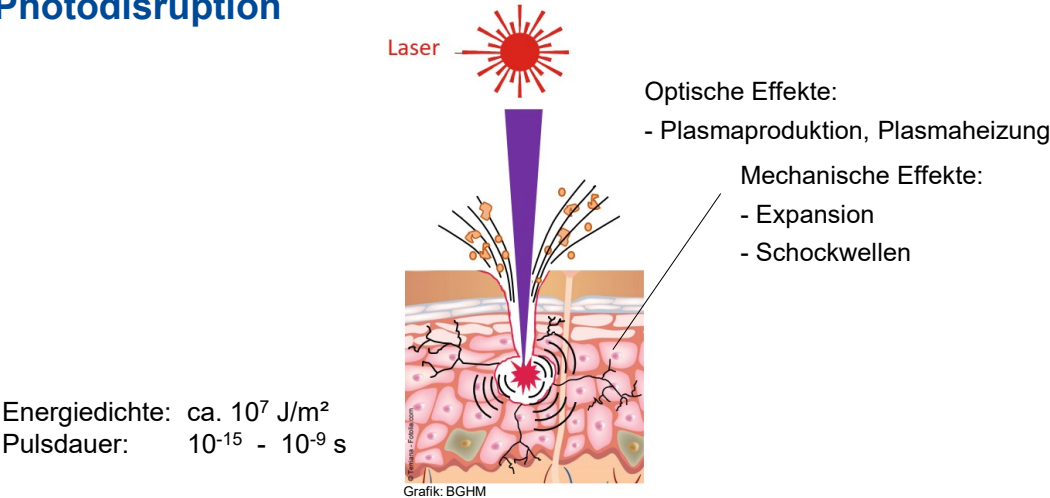
Grafik: BGHM

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

ID 032155

8

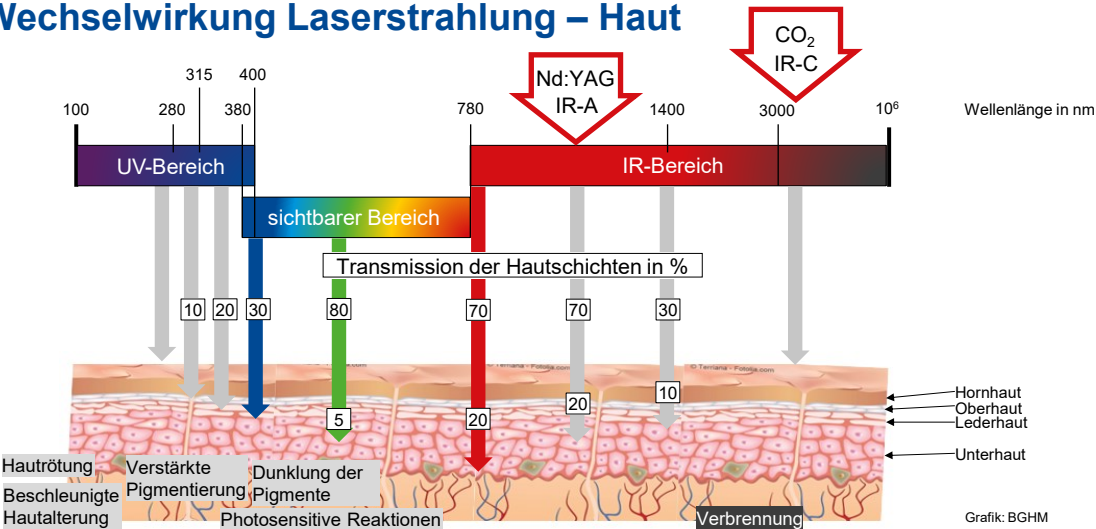
Photodisruption



ID 032157

9

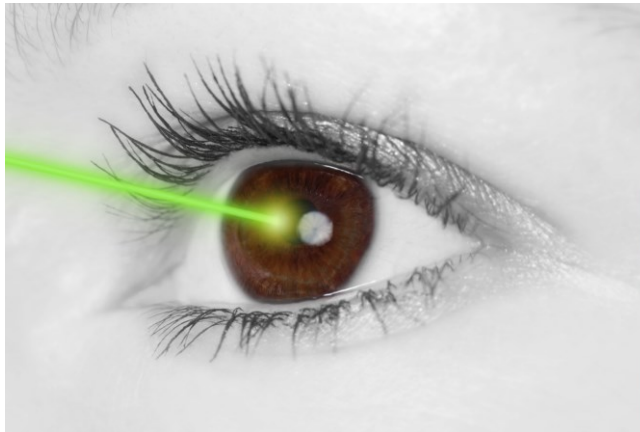
Wechselwirkung Laserstrahlung – Haut



ID 032141

11

Schädigung des Auges durch Laserstrahlung

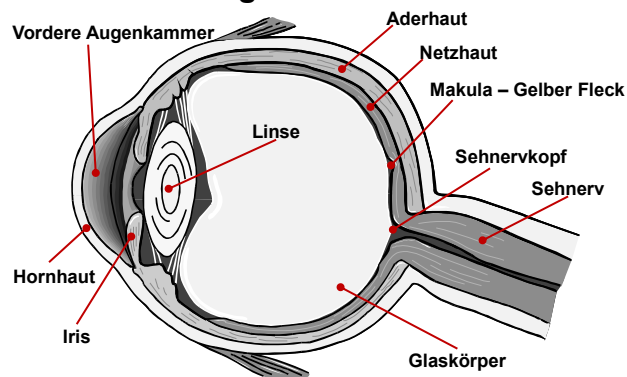


ID 032153a

12

Wechselwirkung Laserstrahlung – Auge (1)

Aufbau des Auges



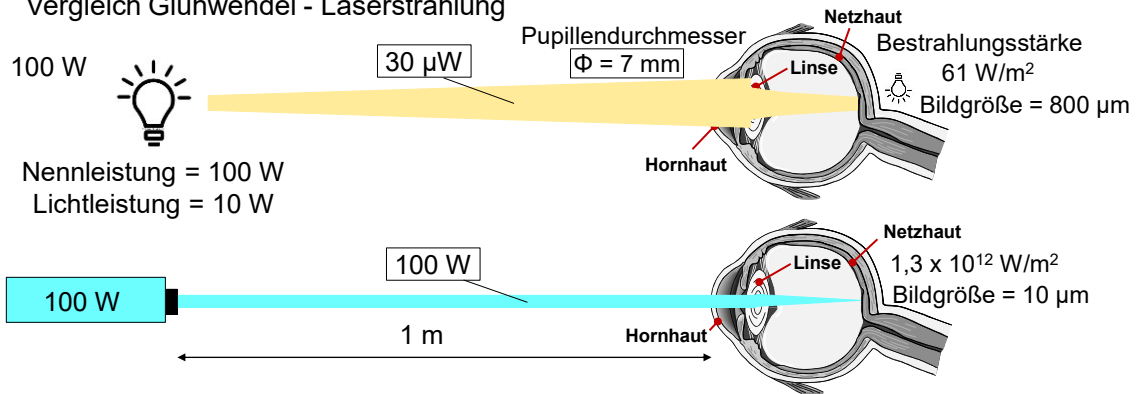
Grafik: BGHM

ID 032142

13

Abbildung von Lichtquellen auf der Netzhaut

Vergleich Glühlampe - Laserstrahlung



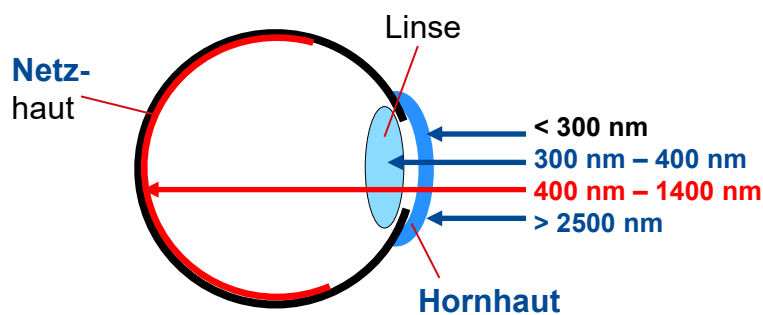
Verhältnis der Bestrahlungsstärken: $\frac{E(\text{Laser}, 100 \text{ W})}{E(\text{Glühlampe}, 100 \text{ W})} = 2,1 \times 10^{10}$

Grafik: BGHM

ID 032142a

14

Wechselwirkung Laserstrahlung - Auge



Grafik: BGHM

ID 032165a

15

Schädigung des Auges durch Laserstrahlung

elearning.bgetem.de



ID 032153b

16

Expositionsgrenzwert (1)

Expositionsgrenzwert nach OStrV

- Grenzwert der Gefährdung von Auge bzw. Haut
- Bestrahlungsstärke [W/m^2] oder Bestrahlung [J/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

17

Expositionsgrenzwert (2)

Wellenlänge λ [nm]		Öffnung	Dauer [s]		
UV-C	180 - 280 280 - 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314		10 ¹ - 10 ²	10 ³ - 10 ⁴	10 ⁵ - 10 ⁶
UV-B		3,5 mm	H = 30 [J m ⁻²]		
			H = 40 [J m ⁻²]		
			H = 60 [J m ⁻²]		
			H = 100 [J m ⁻²]		
			H = 140 [J m ⁻²]		
			H = 230 [J m ⁻²]		
			H = 400 [J m ⁻²]		
			H = 830 [J m ⁻²]		
			H = 1,0 · 10 ³ [J m ⁻²]		
			H = 1,6 · 10 ³ [J m ⁻²]		
			H = 2,5 · 10 ³ [J m ⁻²]		
			H = 4,0 · 10 ³ [J m ⁻²]		
			H = 6,3 · 10 ³ [J m ⁻²]		
			H = 10 ⁴ [J m ⁻²]		
UV-A	315 - 400				
Sichtbar 400 - 700	400 - 4000 Photochemisch ^b Netzhautschädigung	7 mm	H = 100 C _u [J m ⁻²] (γ = 11 mrad) ^d		E = 1 C _u [W m ⁻²] (γ = 1,1 t ^{0,5} mrad) ^d
	400 - 700 Thermisch ^b Netzhautschädigung		E = 1 C _u [W m ⁻²] (γ = 1,1 t ^{0,5} mrad) ^d		
IR-A 700 - 1400	700 - 1400	7 mm	dann E = 10 C _u [W m ⁻²] dann H = 18 C _u C ₂ ^{1,5} [J m ⁻²] dann E = 18 C _u C ₂ C ₃ C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ C ₈ C ₉ C ₁₀ C ₁₁ C ₁₂ C ₁₃ C ₁₄ C ₁₅ C ₁₆ C ₁₇ C ₁₈ C ₁₉ C ₂₀ C ₂₁ C ₂₂ C ₂₃ C ₂₄ C ₂₅ C ₂₆ C ₂₇ C ₂₈ C ₂₉ C ₃₀ C ₃₁ C ₃₂ C ₃₃ C ₃₄ C ₃₅ C ₃₆ C ₃₇ C ₃₈ C ₃₉ C ₄₀ C ₄₁ C ₄₂ C ₄₃ C ₄₄ C ₄₅ C ₄₆ C ₄₇ C ₄₈ C ₄₉ C ₅₀ C ₅₁ C ₅₂ C ₅₃ C ₅₄ C ₅₅ C ₅₆ C ₅₇ C ₅₈ C ₅₉ C ₆₀ C ₆₁ C ₆₂ C ₆₃ C ₆₄ C ₆₅ C ₆₆ C ₆₇ C ₆₈ C ₆₉ C ₇₀ C ₇₁ C ₇₂ C ₇₃ C ₇₄ C ₇₅ C ₇₆ C ₇₇ C ₇₈ C ₇₉ C ₈₀ C ₈₁ C ₈₂ C ₈₃ C ₈₄ C ₈₅ C ₈₆ C ₈₇ C ₈₈ C ₈₉ C ₉₀ C ₉₁ C ₉₂ C ₉₃ C ₉₄ C ₉₅ C ₉₆ C ₉₇ C ₉₈ C ₉₉ C ₁₀₀ C ₁₀₁ C ₁₀₂ C ₁₀₃ C ₁₀₄ C ₁₀₅ C ₁₀₆ C ₁₀₇ C ₁₀₈ C ₁₀₉ C ₁₁₀ C ₁₁₁ C ₁₁₂ C ₁₁₃ C ₁₁₄ C ₁₁₅ C ₁₁₆ C ₁₁₇ C ₁₁₈ C ₁₁₉ C ₁₂₀ C ₁₂₁ C ₁₂₂ C ₁₂₃ C ₁₂₄ C ₁₂₅ C ₁₂₆ C ₁₂₇ C ₁₂₈ C ₁₂₉ C ₁₃₀ C ₁₃₁ C ₁₃₂ C ₁₃₃ C ₁₃₄ C ₁₃₅ C ₁₃₆ C ₁₃₇ C ₁₃₈ C ₁₃₉ C ₁₄₀ C ₁₄₁ C ₁₄₂ C ₁₄₃ C ₁₄₄ C ₁₄₅ C ₁₄₆ C ₁₄₇ C ₁₄₈ C ₁₄₉ C ₁₅₀ C ₁₅₁ C ₁₅₂ C ₁₅₃ C ₁₅₄ C ₁₅₅ C ₁₅₆ C ₁₅₇ C ₁₅₈ C ₁₅₉ C ₁₆₀ C ₁₆₁ C ₁₆₂ C ₁₆₃ C ₁₆₄ C ₁₆₅ C ₁₆₆ C ₁₆₇ C ₁₆₈ C ₁₆₉ C ₁₇₀ C ₁₇₁ C ₁₇₂ C ₁₇₃ C ₁₇₄ C ₁₇₅ C ₁₇₆ C ₁₇₇ C ₁₇₈ C ₁₇₉ C ₁₈₀ C ₁₈₁ C ₁₈₂ C ₁₈₃ C ₁₈₄ C ₁₈₅ C ₁₈₆ C ₁₈₇ C ₁₈₈ C ₁₈₉ C ₁₉₀ C ₁₉₁ C ₁₉₂ C ₁₉₃ C ₁₉₄ C ₁₉₅ C ₁₉₆ C ₁₉₇ C ₁₉₈ C ₁₉₉ C ₂₀₀ C ₂₀₁ C ₂₀₂ C ₂₀₃ C ₂₀₄ C ₂₀₅ C ₂₀₆ C ₂₀₇ C ₂₀₈ C ₂₀₉ C ₂₁₀ C ₂₁₁ C ₂₁₂ C ₂₁₃ C ₂₁₄ C ₂₁₅ C ₂₁₆ C ₂₁₇ C ₂₁₈ C ₂₁₉ C ₂₂₀ C ₂₂₁ C ₂₂₂ C ₂₂₃ C ₂₂₄ C ₂₂₅ C ₂₂₆ C ₂₂₇ C ₂₂₈ C ₂₂₉ C ₂₃₀ C ₂₃₁ C ₂₃₂ C ₂₃₃ C ₂₃₄ C ₂₃₅ C ₂₃₆ C ₂₃₇ C ₂₃₈ C ₂₃₉ C ₂₄₀ C ₂₄₁ C ₂₄₂ C ₂₄₃ C ₂₄₄ C ₂₄₅ C ₂₄₆ C ₂₄₇ C ₂₄₈ C ₂₄₉ C ₂₅₀ C ₂₅₁ C ₂₅₂ C ₂₅₃ C ₂₅₄ C ₂₅₅ C ₂₅₆ C ₂₅₇ C ₂₅₈ C ₂₅₉ C ₂₆₀ C ₂₆₁ C ₂₆₂ C ₂₆₃ C ₂₆₄ C ₂₆₅ C ₂₆₆ C ₂₆₇ C ₂₆₈ C ₂₆₉ C ₂₇₀ C ₂₇₁ C ₂₇₂ C ₂₇₃ C ₂₇₄ C ₂₇₅ C ₂₇₆ C ₂₇₇ C ₂₇₈ C ₂₇₉ C ₂₈₀ C ₂₈₁ C ₂₈₂ C ₂₈₃ C ₂₈₄ C ₂₈₅ C ₂₈₆ C ₂₈₇ C ₂₈₈ C ₂₈₉ C ₂₉₀ C ₂₉₁ C ₂₉₂ C ₂₉₃ C ₂₉₄ C ₂₉₅ C ₂₉₆ C ₂₉₇ C ₂₉₈ C ₂₉₉ C ₃₀₀ C ₃₀₁ C ₃₀₂ C ₃₀₃ C ₃₀₄ C ₃₀₅ C ₃₀₆ C ₃₀₇ C ₃₀₈ C ₃₀₉ C ₃₁₀ C ₃₁₁ C ₃₁₂ C ₃₁₃ C ₃₁₄ C ₃₁₅ C ₃₁₆ C ₃₁₇ C ₃₁₈ C ₃₁₉ C ₃₂₀ C ₃₂₁ C ₃₂₂ C ₃₂₃ C ₃₂₄ C ₃₂₅ C ₃₂₆ C ₃₂₇ C ₃₂₈ C ₃₂₉ C ₃₃₀ C ₃₃₁ C ₃₃₂ C ₃₃₃ C ₃₃₄ C ₃₃₅ C ₃₃₆ C ₃₃₇ C ₃₃₈ C ₃₃₉ C ₃₄₀ C ₃₄₁ C ₃₄₂ C ₃₄₃ C ₃₄₄ C ₃₄₅ C ₃₄₆ C ₃₄₇ C ₃₄₈ C ₃₄₉ C ₃₅₀ C ₃₅₁ C ₃₅₂ C ₃₅₃ C ₃₅₄ C ₃₅₅ C ₃₅₆ C ₃₅₇ C ₃₅₈ C ₃₅₉ C ₃₆₀ C ₃₆₁ C ₃₆₂ C ₃₆₃ C ₃₆₄ C ₃₆₅ C ₃₆₆ C ₃₆₇ C ₃₆₈ C ₃₆₉ C ₃₇₀ C ₃₇₁ C ₃₇₂ C ₃₇₃ C ₃₇₄ C ₃₇₅ C ₃₇₆ C ₃₇₇ C ₃₇₈ C ₃₇₉ C ₃₈₀ C ₃₈₁ C ₃₈₂ C ₃₈₃ C ₃₈₄ C ₃₈₅ C ₃₈₆ C ₃₈₇ C ₃₈₈ C ₃₈₉ C ₃₉₀ C ₃₉₁ C ₃₉₂ C ₃₉₃ C ₃₉₄ C ₃₉₅ C ₃₉₆ C ₃₉₇ C ₃₉₈ C ₃₉₉ C ₄₀₀ C ₄₀₁ C ₄₀₂ C ₄₀₃ C ₄₀₄ C ₄₀₅ C ₄₀₆ C ₄₀₇ C ₄₀₈ C ₄₀₉ C ₄₁₀ C ₄₁₁ C ₄₁₂ C ₄₁₃ C ₄₁₄ C ₄₁₅ C ₄₁₆ C ₄₁₇ C ₄₁₈ C ₄₁₉ C ₄₂₀ C ₄₂₁ C ₄₂₂ C ₄₂₃ C ₄₂₄ C ₄₂₅ C ₄₂₆ C ₄₂₇ C ₄₂₈ C ₄₂₉ C ₄₃₀ C ₄₃₁ C ₄₃₂ C ₄₃₃ C ₄₃₄ C ₄₃₅ C ₄₃₆ C ₄₃₇ C ₄₃₈ C ₄₃₉ C ₄₄₀ C ₄₄₁ C ₄₄₂ C ₄₄₃ C ₄₄₄ C ₄₄₅ C ₄₄₆ C ₄₄₇ C ₄₄₈ C ₄₄₉ C ₄₅₀ C ₄₅₁ C ₄₅₂ C ₄₅₃ C ₄₅₄ C ₄₅₅ C ₄₅₆ C ₄₅₇ C ₄₅₈ C ₄₅₉ C ₄₆₀ C ₄₆₁ C ₄₆₂ C ₄₆₃ C ₄₆₄ C ₄₆₅ C ₄₆₆ C ₄₆₇ C ₄₆₈ C ₄₆₉ C ₄₇₀ C ₄₇₁ C ₄₇₂ C ₄₇₃ C ₄₇₄ C ₄₇₅ C ₄₇₆ C ₄₇₇ C ₄₇₈ C ₄₇₉ C ₄₈₀ C ₄₈₁ C ₄₈₂ C ₄₈₃ C ₄₈₄ C ₄₈₅ C ₄₈₆ C ₄₈₇ C ₄₈₈ C ₄₈₉ C ₄₉₀ C ₄₉₁ C ₄₉₂ C ₄₉₃ C ₄₉₄ C ₄₉₅ C ₄₉₆ C ₄₉₇ C ₄₉₈ C ₄₉₉ C ₅₀₀ C ₅₀₁ C ₅₀₂ C ₅₀₃ C ₅₀₄ C ₅₀₅ C ₅₀₆ C ₅₀₇ C ₅₀₈ C ₅₀₉ C ₅₁₀ C ₅₁₁ C ₅₁₂ C ₅₁₃ C ₅₁₄ C ₅₁₅ C ₅₁₆ C ₅₁₇ C ₅₁₈ C ₅₁₉ C ₅₂₀ C ₅₂₁ C ₅₂₂ C ₅₂₃ C ₅₂₄ C ₅₂₅ C ₅₂₆ C ₅₂₇ C ₅₂₈ C ₅₂₉ C ₅₃₀ C ₅₃₁ C ₅₃₂ C ₅₃₃ C ₅₃₄ C ₅₃₅ C ₅₃₆ C ₅₃₇ C ₅₃₈ C ₅₃₉ C ₅₄₀ C ₅₄₁ C ₅₄₂ C ₅₄₃ C ₅₄₄ C ₅₄₅ C ₅₄₆ C ₅₄₇ C ₅₄₈ C ₅₄₉ C ₅₅₀ C ₅₅₁ C ₅₅₂ C ₅₅₃ C ₅₅₄ C ₅₅₅ C ₅₅₆ C ₅₅₇ C ₅₅₈ C ₅₅₉ C ₅₆₀ C ₅₆₁ C ₅₆₂ C ₅₆₃ C ₅₆₄ C ₅₆₅ C ₅₆₆ C ₅₆₇ C ₅₆₈ C ₅₆₉ C ₅₇₀ C ₅₇₁ C ₅₇₂ C ₅₇₃ C ₅₇₄ C ₅₇₅ C ₅₇₆ C ₅₇₇ C ₅₇₈ C ₅₇₉ C ₅₈₀ C ₅₈₁ C ₅₈₂ C ₅₈₃ C ₅₈₄ C ₅₈₅ C ₅₈₆ C ₅₈₇ C ₅₈₈ C ₅₈₉ C ₅₉₀ C ₅₉₁ C ₅₉₂ C ₅₉₃ C ₅₉₄ C ₅₉₅ C ₅₉₆ C ₅₉₇ C ₅₉₈ C ₅₉₉ C ₆₀₀ C ₆₀₁ C ₆₀₂ C ₆₀₃ C ₆₀₄ C ₆₀₅ C ₆₀₆ C ₆₀₇ C ₆₀₈ C ₆₀₉ C ₆₁₀ C ₆₁₁ C ₆₁₂ C ₆₁₃ C ₆₁₄ C ₆₁₅ C ₆₁₆ C ₆₁₇ C ₆₁₈ C ₆₁₉ C ₆₂₀ C ₆₂₁ C ₆₂₂ C ₆₂₃ C ₆₂₄ C ₆₂₅ C ₆₂₆ C ₆₂₇ C ₆₂₈ C ₆₂₉ C ₆₃₀ C ₆₃₁ C ₆₃₂ C ₆₃₃ C ₆₃₄ C ₆₃₅ C ₆₃₆ C ₆₃₇ C ₆₃₈ C ₆₃₉ C ₆₄₀ C ₆₄₁ C ₆₄₂ C ₆₄₃ C ₆₄₄ C ₆₄₅ C ₆₄₆ C ₆₄₇ C ₆₄₈ C ₆₄₉ C ₆₅₀ C ₆₅₁ C ₆₅₂ C ₆₅₃ C ₆₅₄ C ₆₅₅ C ₆₅₆ C ₆₅₇ C ₆₅₈ C ₆₅₉ C ₆₆₀ C ₆₆₁ C ₆₆₂ C ₆₆₃ C ₆₆₄ C ₆₆₅ C ₆₆₆ C ₆₆₇ C ₆₆₈ C ₆₆₉ C ₆₇₀ C ₆₇₁ C ₆₇₂ C ₆₇₃ C ₆₇₄ C ₆₇₅ C ₆₇₆ C ₆₇₇ C ₆₇₈ C ₆₇₉ C ₆₈₀ C ₆₈₁ C ₆₈₂ C ₆₈₃ C ₆₈₄ C ₆₈₅ C ₆₈₆ C ₆₈₇ C ₆₈₈ C ₆₈₉ C ₆₉₀ C ₆₉₁ C ₆₉₂ C ₆₉₃ C ₆₉₄ C ₆₉₅ C ₆₉₆ C ₆₉₇ C ₆₉₈ C ₆₉₉ C ₇₀₀ C ₇₀₁ C ₇₀₂ C ₇₀₃ C ₇₀₄ C ₇₀₅ C ₇₀₆ C ₇₀₇ C ₇₀₈ C ₇₀₉ C ₇₁₀ C ₇₁₁ C ₇₁₂ C ₇₁₃ C ₇₁₄ C ₇₁₅ C ₇₁₆ C ₇₁₇ C ₇₁₈ C ₇₁₉ C ₇₂₀ C ₇₂₁ C ₇₂₂ C ₇₂₃ C ₇₂₄ C ₇₂₅ C ₇₂₆ C ₇₂₇ C ₇₂₈ C ₇₂₉ C ₇₃₀ C ₇₃₁ C ₇₃₂ C ₇₃₃ C ₇₃₄ C ₇₃₅ C ₇₃₆ C ₇₃₇ C ₇₃₈ C ₇₃₉ C ₇₄₀ C ₇₄₁ C ₇₄₂ C ₇₄₃ C ₇₄₄ C ₇₄₅ C ₇₄₆ C ₇₄₇ C ₇₄₈ C ₇₄₉ C ₇₅₀ C ₇₅₁ C ₇₅₂ C ₇₅₃ C ₇₅₄ C ₇₅₅ C ₇₅₆ C ₇₅₇ C ₇₅₈ C ₇₅₉ C ₇₆₀ C ₇₆₁ C ₇₆₂ C ₇₆₃ C ₇₆₄ C ₇₆₅ C ₇₆₆ C ₇₆₇ C ₇₆₈ C ₇₆₉ C ₇₇₀ C ₇₇₁ C ₇₇₂ C ₇₇₃ C ₇₇₄ C ₇₇₅ C ₇₇₆ C ₇₇₇ C ₇₇₈ C ₇₇₉ C ₇₈₀ C ₇₈₁ C ₇₈₂ C ₇₈₃ C ₇₈₄ C ₇₈₅ C ₇₈₆ C ₇₈₇ C ₇₈₈ C ₇₈₉ C ₇₉₀ C ₇₉₁ C ₇₉₂ C ₇₉₃ C ₇₉₄ C ₇₉₅ C ₇₉₆ C ₇₉₇ C ₇₉₈ C ₇₉₉ C ₈₀₀ C ₈₀₁ C ₈₀₂ C ₈₀₃ C ₈₀₄ C ₈₀₅ C ₈₀₆ C ₈₀₇ C ₈₀₈ C ₈₀₉ C ₈₁₀ C ₈₁₁ C ₈₁₂ C ₈₁₃ C ₈₁₄ C ₈₁₅ C ₈₁₆ C ₈₁₇ C ₈₁₈ C ₈₁₉ C ₈₂₀ C ₈₂₁ C ₈₂₂ C ₈₂₃ C ₈₂₄ C ₈₂₅ C ₈₂₆ C ₈₂₇ C ₈₂₈ C ₈₂₉ C ₈₃₀ C ₈₃₁ C ₈₃₂ C ₈₃₃ C ₈₃₄ C ₈₃₅ C ₈₃₆ C ₈₃₇ C ₈₃₈ C ₈₃₉ C ₈₄₀ C ₈₄₁ C ₈₄₂ C ₈₄₃ C ₈₄₄ C ₈₄₅ C ₈₄₆ C ₈₄₇ C ₈₄₈ C ₈₄₉ C ₈₅₀ C ₈₅₁ C ₈₅₂ C ₈₅₃ C ₈₅₄ C ₈₅₅ C ₈₅₆ C ₈₅₇ C ₈₅₈ C ₈₅₉ C ₈₆₀ C ₈₆₁ C ₈₆₂ C ₈₆₃ C ₈₆₄ C ₈₆₅ C ₈₆₆ C ₈₆₇ C ₈₆₈ C ₈₆₉ C ₈₇₀ C ₈₇₁ C ₈₇₂ C ₈₇₃ C ₈₇₄ C ₈₇₅ C ₈₇₆ C ₈₇₇ C ₈₇₈ C ₈₇₉ C ₈₈₀ C ₈₈₁ C ₈₈₂ C ₈₈₃ C ₈₈₄ C ₈₈₅ C ₈₈₆ C ₈₈₇ C ₈₈₈ C ₈₈₉ C ₈₉₀ C ₈₉₁ C ₈₉₂ C ₈₉₃ C ₈₉₄ C ₈₉₅ C ₈₉₆ C ₈₉₇ C ₈₉₈ C ₈₉₉ C ₉₀₀ C ₉₀₁ C ₉₀₂ C ₉₀₃ C ₉₀₄ C ₉₀₅ C ₉₀₆ C ₉₀₇ C ₉₀₈ C ₉₀₉ C ₉₁₀ C ₉₁₁ C ₉₁₂ C ₉₁₃ C ₉₁₄ C ₉₁₅ C ₉₁₆ C ₉₁₇ C ₉₁₈ C ₉₁₉ C ₉₂₀ C ₉₂₁ C ₉₂₂ C ₉₂₃ C ₉₂₄ C ₉₂₅ C ₉₂₆ C ₉₂₇ C ₉₂₈ C ₉₂₉ C ₉₃₀ C ₉₃₁ C ₉₃₂ C ₉₃₃ C ₉₃₄ C ₉₃₅ C ₉₃₆ C ₉₃₇ C ₉₃₈ C ₉₃₉ C ₉₄₀ C ₉₄₁ C ₉₄₂ C ₉₄₃ C ₉₄₄ C ₉₄₅ C ₉₄₆ C ₉₄₇ C ₉₄₈ C ₉₄₉ C ₉₅₀ C ₉₅₁ C ₉₅₂ C ₉₅₃ C ₉₅₄ C ₉₅₅ C ₉₅₆ C ₉₅₇ C ₉₅₈ C ₉₅₉ C ₉₆₀ C ₉₆₁ C ₉₆₂ C ₉₆₃ C ₉₆₄ C ₉₆₅ C ₉₆₆ C ₉₆₇ C ₉₆₈ C ₉₆₉ C ₉₇₀ C ₉₇₁ C ₉₇₂ C ₉₇₃ C ₉₇₄ C ₉₇₅ C ₉₇₆ C ₉₇₇ C ₉₇₈ C ₉₇₉ C ₉₈₀ C ₉₈₁ C ₉₈₂ C ₉₈₃ C ₉₈₄ C ₉₈₅ C ₉₈₆ C ₉₈₇ C ₉₈₈ C ₉₈₉ C ₉₉₀ C ₉₉₁ C ₉₉₂ C ₉₉₃ C ₉₉₄ C ₉₉₅ C ₉₉₆ C ₉₉₇ C ₉₉₈ C ₉₉₉ C ₁₀₀₀ C ₁₀₀₁ C ₁₀₀₂ C ₁₀₀₃ C ₁₀₀₄ C ₁₀₀₅ C ₁₀₀₆ C ₁₀₀₇ C ₁₀₀₈ C ₁₀₀₉ C ₁₀₁₀ C ₁₀₁₁ C ₁₀₁₂ C ₁₀₁₃ C ₁₀₁₄ C ₁₀₁₅ C ₁₀₁₆ C ₁₀₁₇ C ₁₀₁₈ C ₁₀₁₉ C ₁₀₂₀ C ₁₀₂₁ C ₁₀₂₂ C ₁₀₂₃ C ₁₀₂₄ C ₁₀₂₅ C ₁₀₂₆ C ₁₀₂₇ C ₁₀₂₈ C ₁₀₂₉ C ₁₀₃₀ C ₁₀₃₁ C ₁₀₃₂ C ₁₀₃₃ C ₁₀₃₄ C ₁₀₃₅ C ₁₀₃₆ C ₁₀₃₇ C ₁₀₃₈ C ₁₀₃₉ C ₁₀₄₀ C ₁₀₄₁ C ₁₀₄₂ C ₁₀₄₃ C ₁₀₄₄ C ₁₀₄₅ C ₁₀₄₆ C ₁₀₄₇ C ₁₀₄₈ C ₁₀₄₉ C ₁₀₅₀ C ₁₀₅₁ C ₁₀₅₂ C ₁₀₅₃ C ₁₀₅₄ C ₁₀₅₅ C ₁₀₅₆ C ₁₀₅₇ C ₁₀₅₈ C ₁₀₅₉ C ₁₀₆₀ C ₁₀₆₁ C ₁₀₆₂ C ₁₀₆₃ C ₁₀₆₄ C ₁₀₆₅ C ₁₀₆₆ C ₁₀₆₇ C ₁₀₆₈ C ₁₀₆₉ C ₁₀₇₀ C ₁₀₇₁ C ₁₀₇₂ C ₁₀₇₃ C ₁₀₇₄ C ₁₀₇₅ C ₁₀₇₆ C ₁₀₇₇ C ₁₀₇₈ C ₁₀₇₉ C ₁₀₈₀ C ₁₀₈₁ C ₁₀₈₂ C ₁₀₈₃ C ₁₀₈₄ C ₁₀₈₅ C ₁₀₈₆ C ₁₀₈₇ C ₁₀₈₈ C ₁₀₈₉ C ₁₀₉₀ C ₁₀₉₁ C ₁₀₉₂ C ₁₀₉₃ C ₁₀₉₄ C ₁₀₉₅ C ₁₀₉₆ C ₁₀₉₇ C ₁₀₉₈ C ₁₀₉₉ C ₁₁₀₀ C ₁₁₀₁ C ₁₁₀₂ C ₁₁₀₃ C ₁₁₀₄ C ₁₁₀₅ C ₁₁₀₆ C ₁₁₀₇ C ₁₁₀₈ C ₁₁₀₉ C ₁₁₁₀ C ₁₁₁₁ C ₁₁₁₂ C ₁₁₁₃ C ₁₁₁₄ C ₁₁₁₅ C ₁₁₁₆ C ₁₁₁₇ C ₁₁₁₈ C ₁₁₁₉ C ₁₁₂₀ C _{1121</}		

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

20

Grenzwerte im Laserschutz (2)

MZB-Wert

„Maximal zulässige Bestrahlung“

DIN EN 60825-1:

Expositionsgrenzwerte identisch¹ 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 werden².

in Laserklasse 3B darf MZB-Wert für die Haut nie überschritten werden².

¹ mit nicht relevanten Abweichungen ² vereinfacht!

ID 032163a

21

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 zugrundegelegt².
in Laserklasse 3B wird der MZB-Wert für die Haut dem GZS-Wert zugrundegelegt².

² vereinfacht!

ID 032163b

22

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 ≥ 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

23