

L

ight

A

mplification by

S

timulated

E

mission of

R

adiation



Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität**

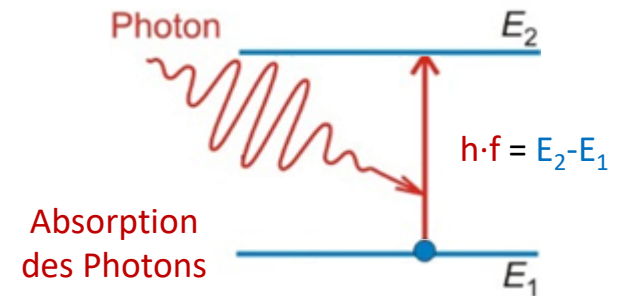
22. Oktober 2025.

Entstehung des Laserlichtes

Schlüsselwörter:

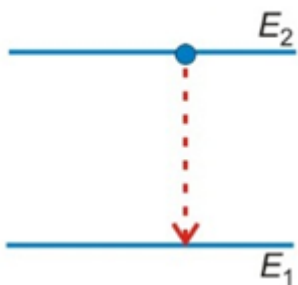
- **Induzierte Emission**
- **Besetzungsinversion (Populationsumkehr)**
- **Laserniveau**
- **Pumpen**

Anregung eines **Elektrons** im laseraktiven Material

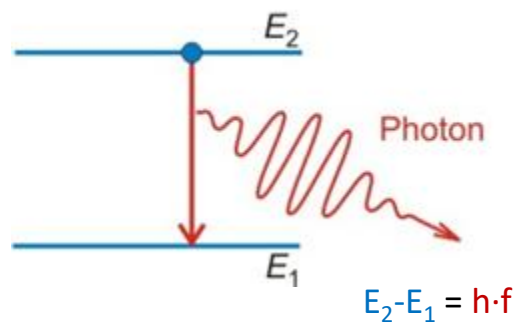


Was kann nach der Anregung passieren?

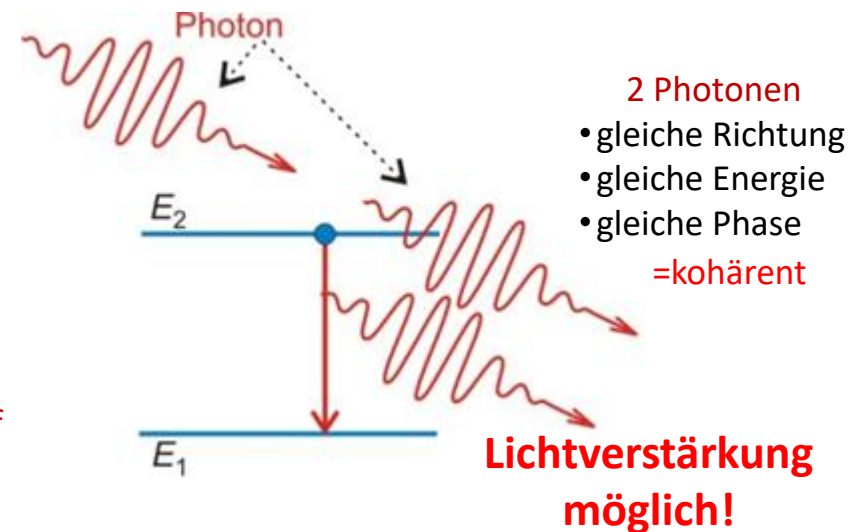
a)
strahlungsloser
Übergang



b)
spontane
Emission



c)
induzierte Emission



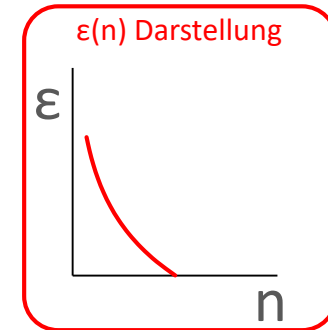
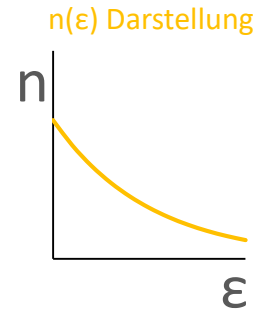
Besetzung der Teilchen-Energieniveaus

Boltzmann-Verteilung:

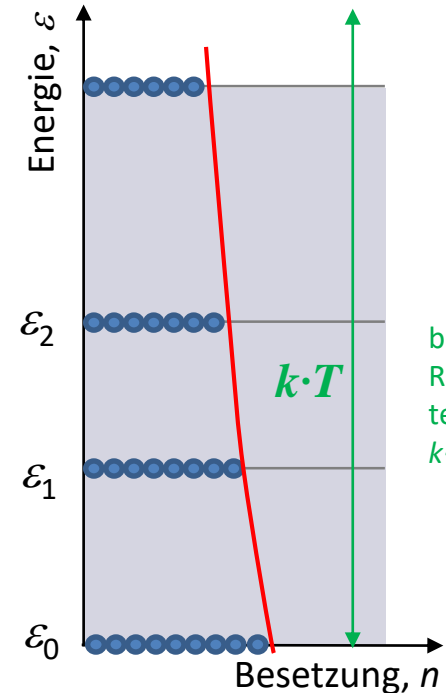
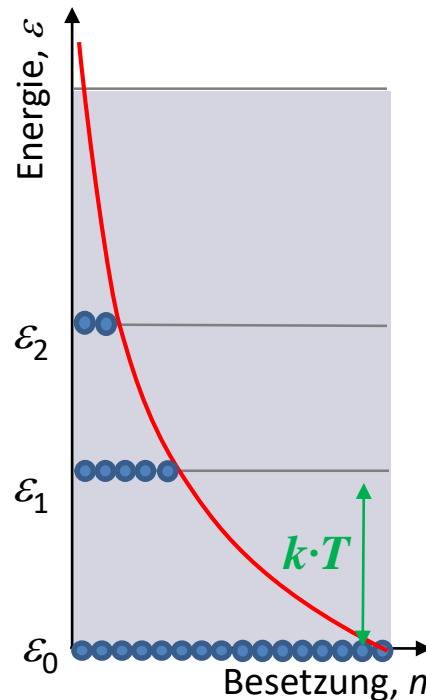
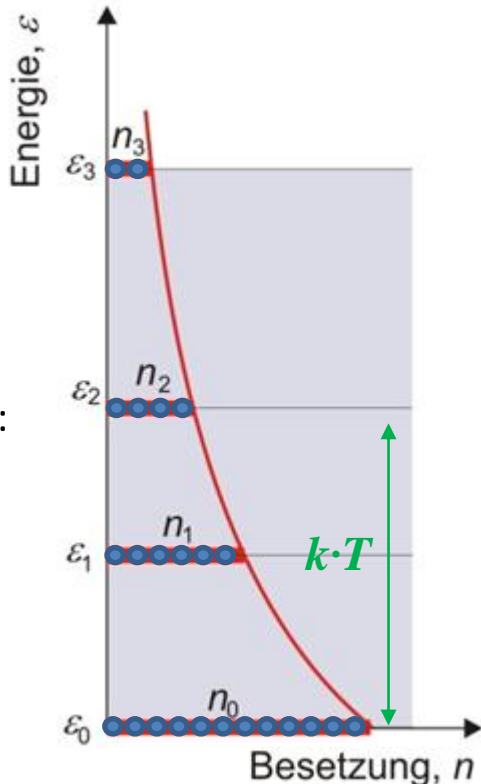
Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ($T = \text{konstant}$)

$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{k \cdot T}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{k \cdot T}}$$

n : Anzahl der Teilchen in dem gegebenen (0, i) Energiezustand
 k : Boltzmann-Konstante, $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K



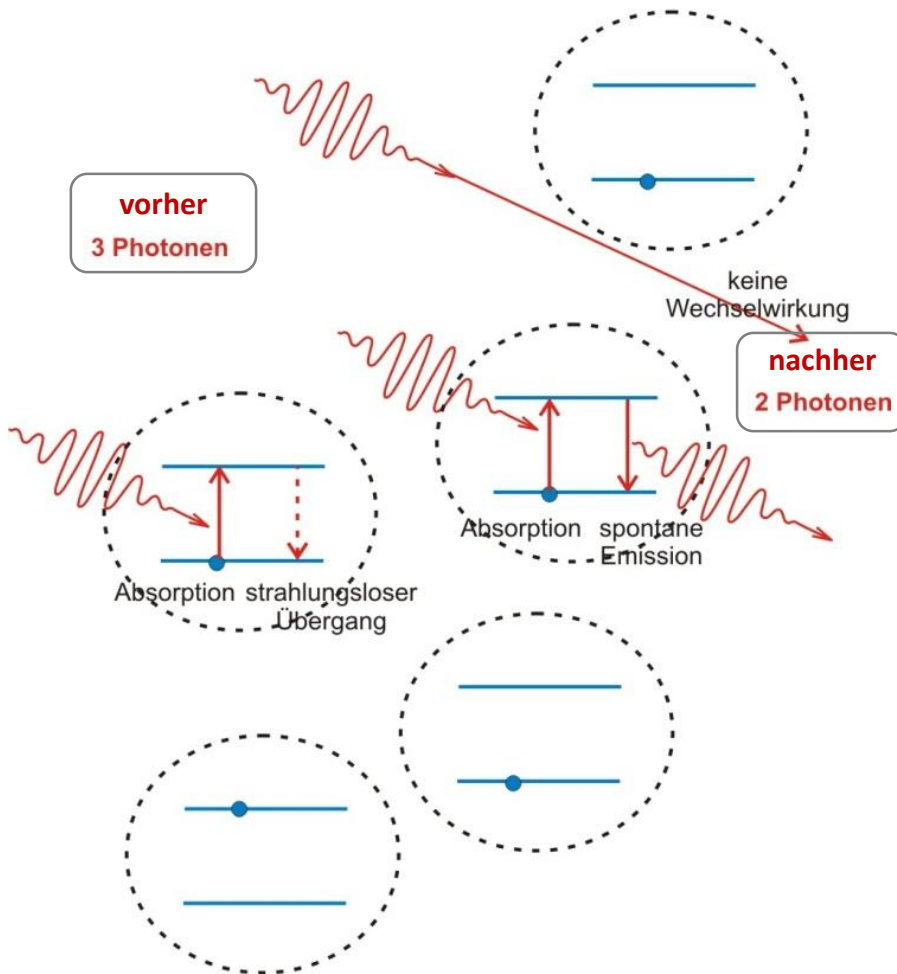
$\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$:
Energie-
zustände



beim
Raum-
temperatur:
 $k \cdot T \approx 0,025$ eV

Besetzungsinversion

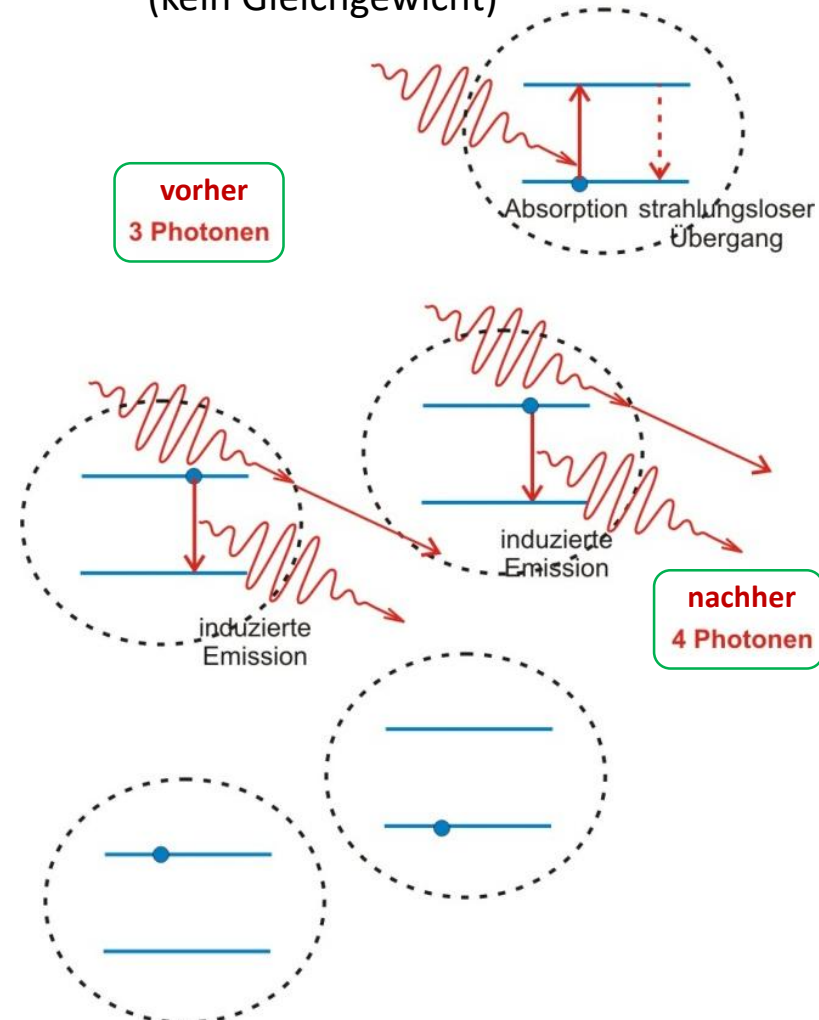
normale Besetzung
(nach der Boltzmann-Verteilung
im Gleichgewicht)



Schwächung des einfallendes Lichtes



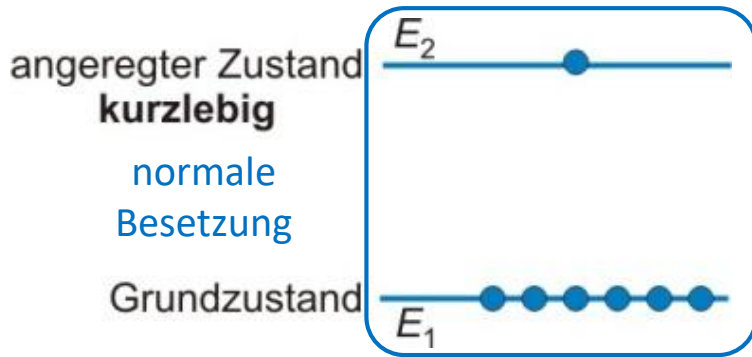
Besetzungsinversion
(kein Gleichgewicht)



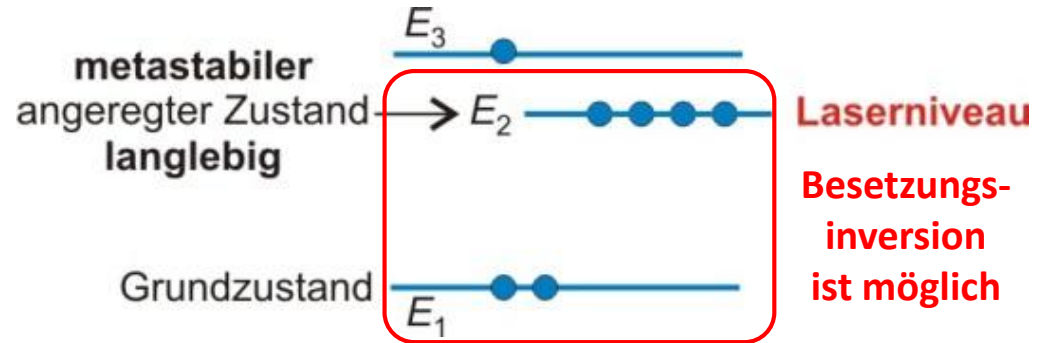
Lichtverstärkung



Laserniveau

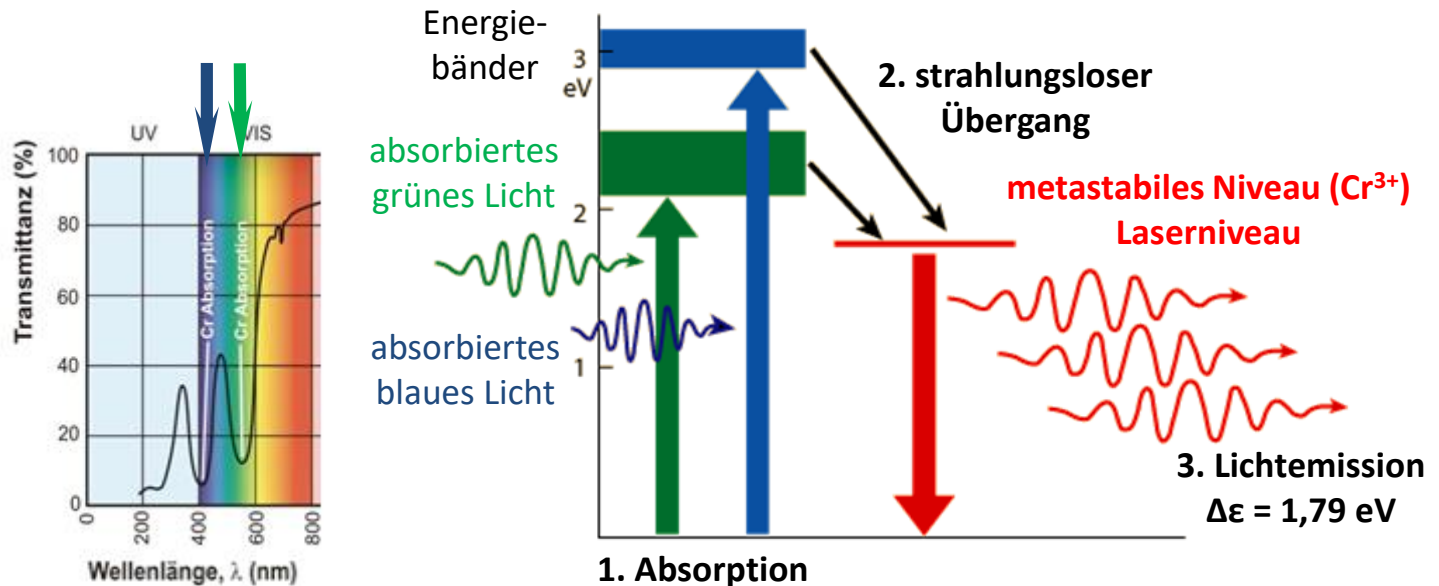


Die zwei Zustände sind im Gleichgewicht



Der metastabile Zustand und der Grundzustand sind **nicht** im Gleichgewicht

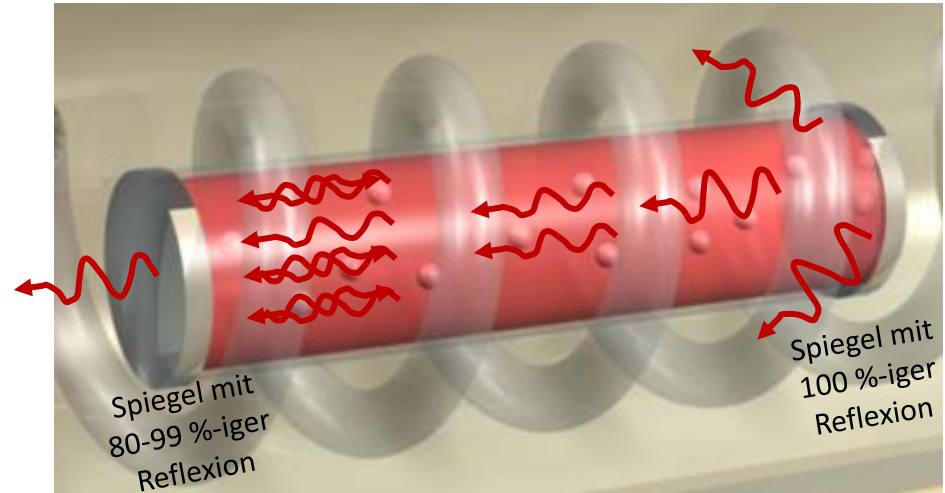
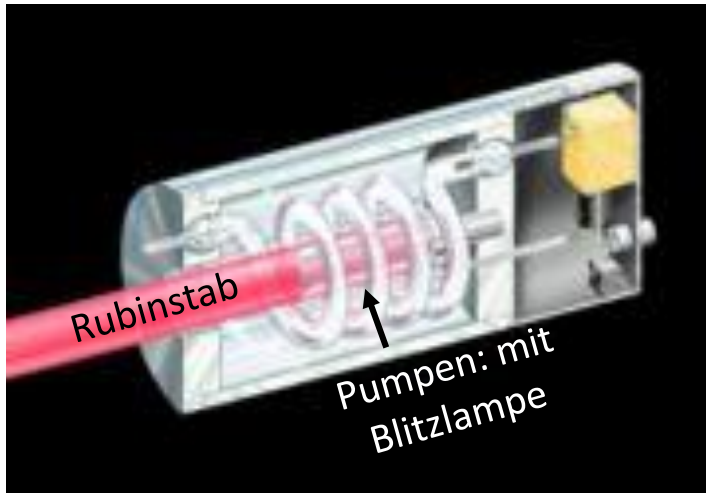
Rubinlaser:



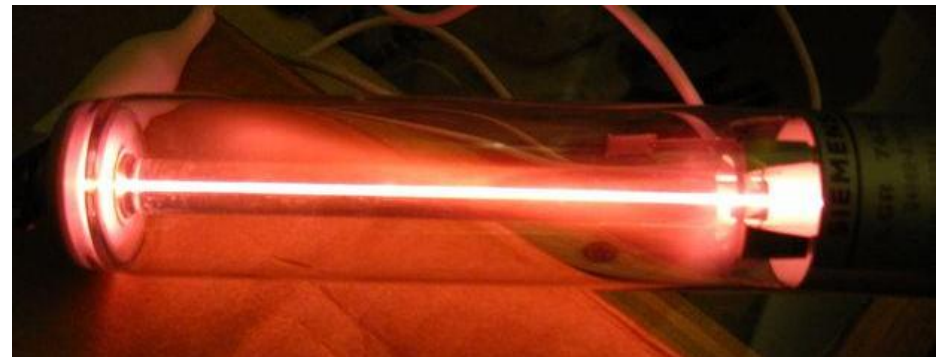
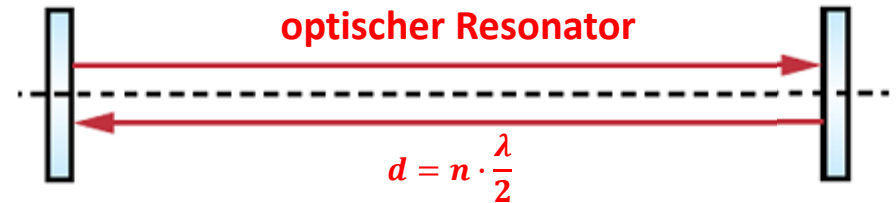
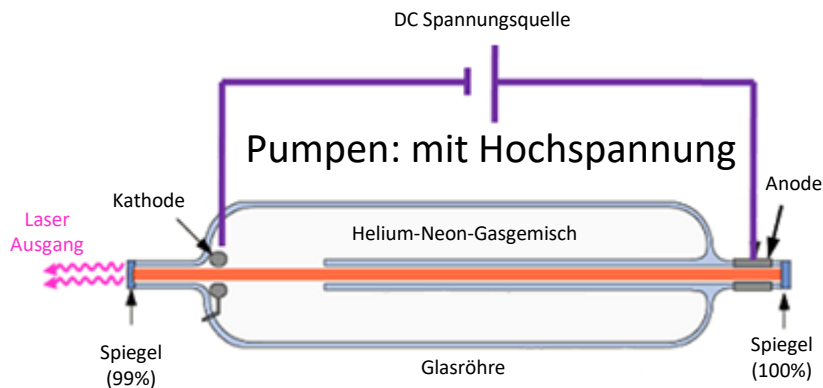
Pumpen

(Anregung)

Rubinlaser



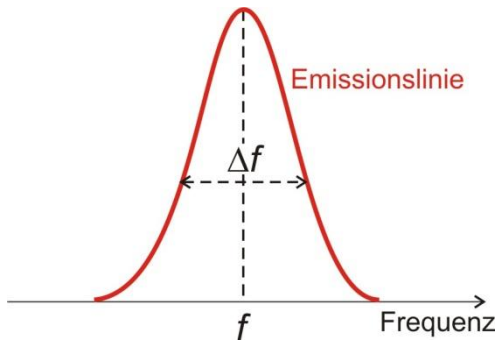
Helium-Neon Laser



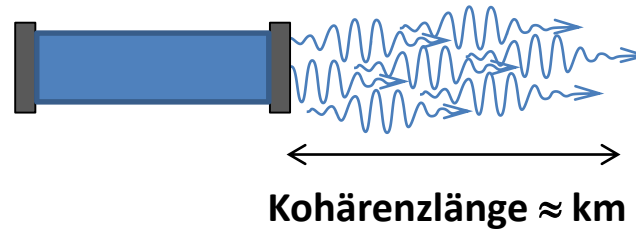
Eigenschaften der Laserstrahlung

- **monochromatisch**

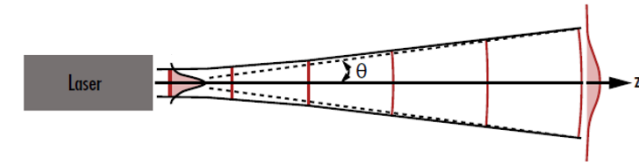
$$\Delta f / f \approx 10^{-10}$$



- **kohärent**



- **geringe Divergenz**



$$\Theta \approx 0,1-1 \text{ millirad}$$

gut fokussierbar

- **hohe Intensität**

$$J \approx 10^3 - 10^{14} \text{ W/m}^2$$

$$J \uparrow = \frac{P}{A \downarrow}$$

Flächenstrahler!

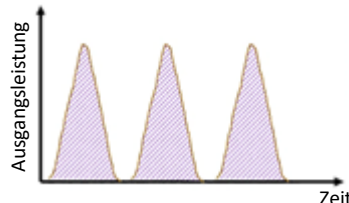
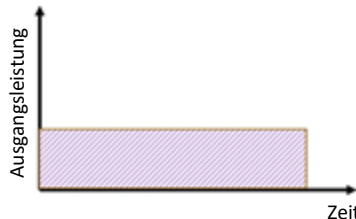
- **polarisiert**

Lasertypen:

- **Betriebsart**

Dauerstrichlaser

Impulslaser



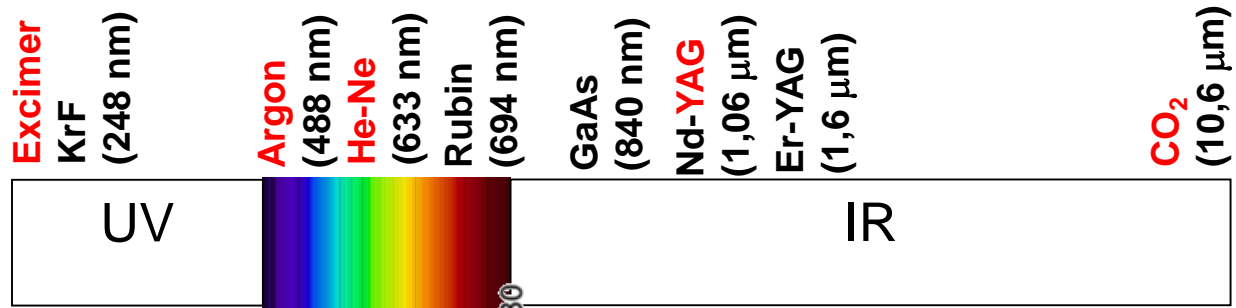
- **Lasermaterial**

gasförmig

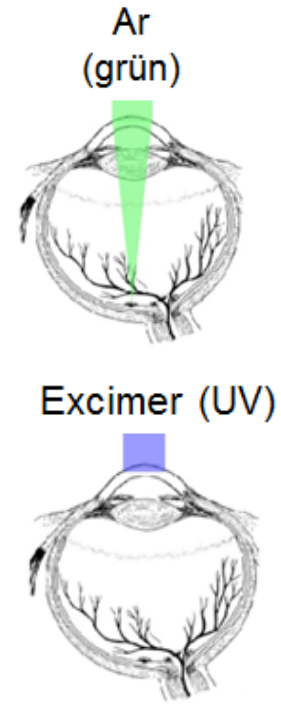
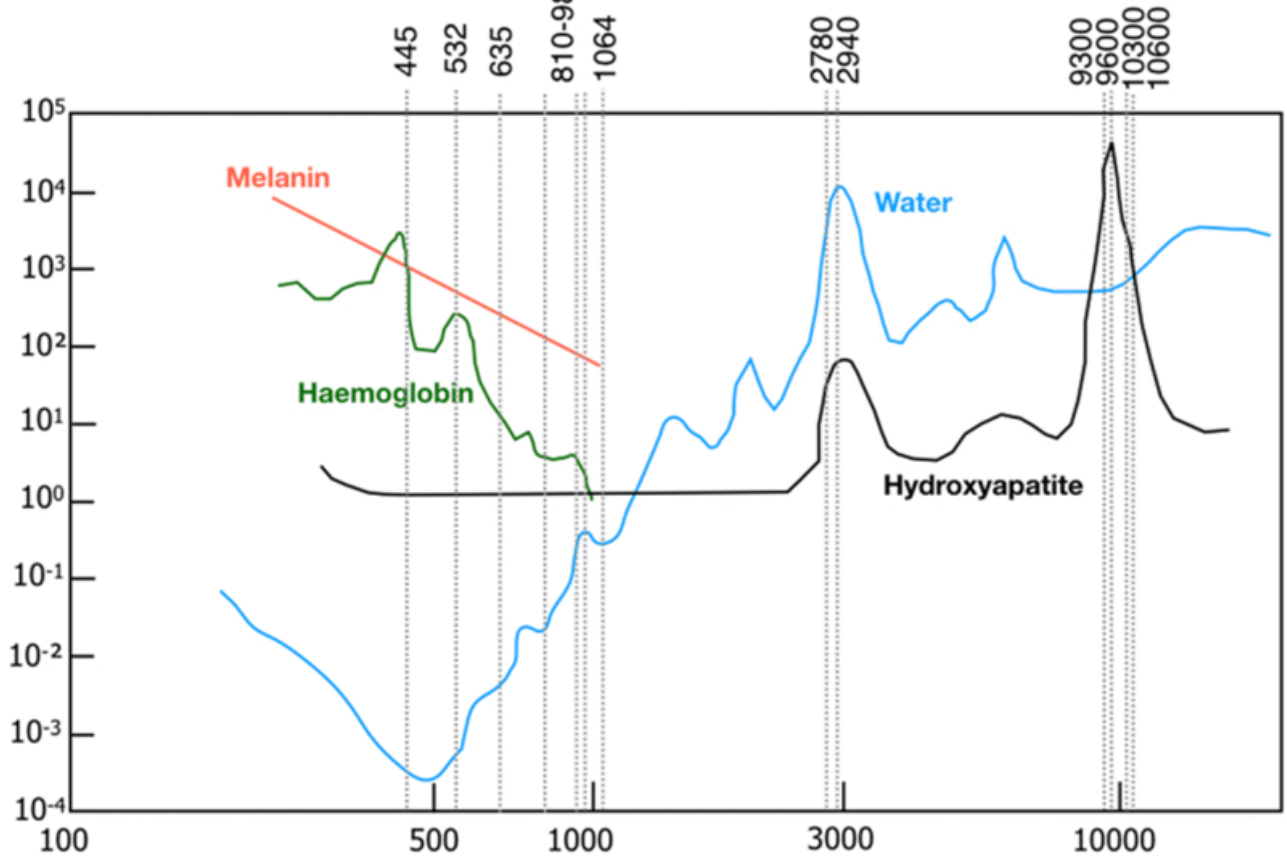
flüssig

kristallin

Laserlinien für Medizin



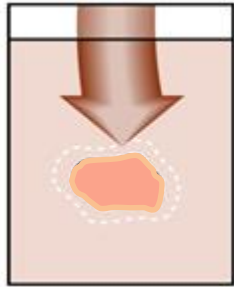
Absorptionskoeffizient (1/cm)



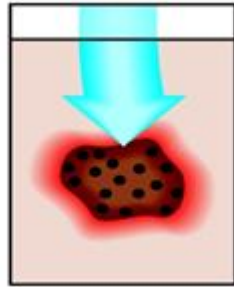
Wellenlänge (nm)

Folgerungen der Absorption

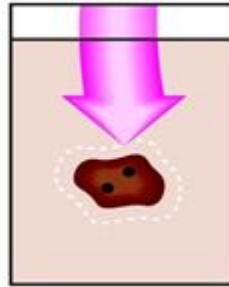
A n r e g u n g



Erwärmung



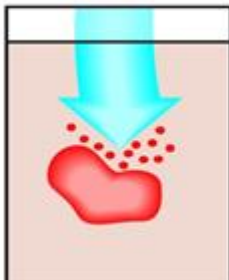
Fluoreszenz



photochemische
Reaktionen

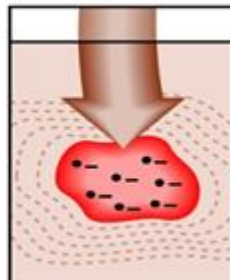
- ≈ 40 °C: Laserthermie
- ≈ 60-90 °C: Koagulation
- ≈ 100-150 °C: Vaporisation
- ≈ 300 °C- : Karbonisation

Photodissoziation

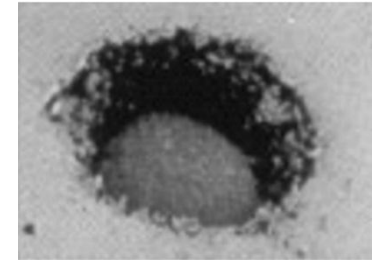


Atomisation

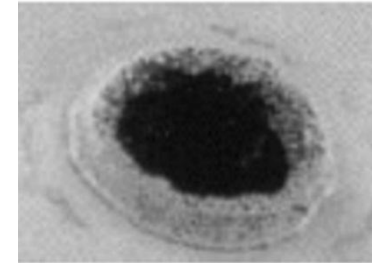
Ionisation



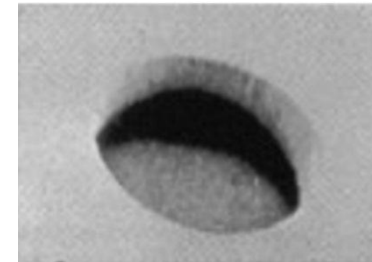
photomechanische
Wirkung



Vaporisation

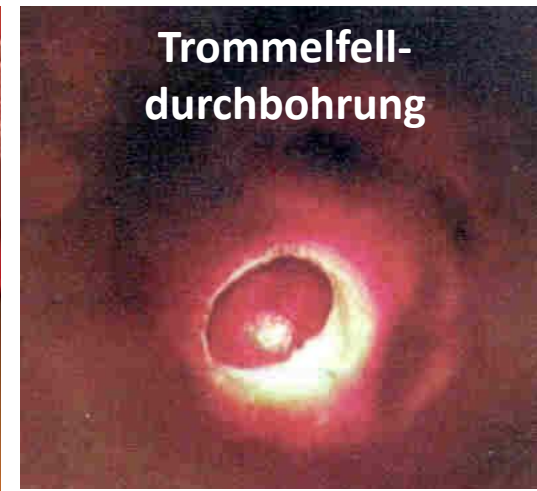
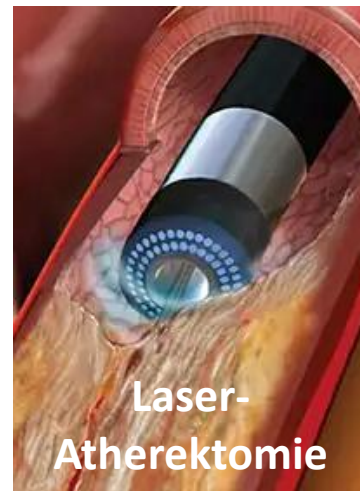


Karbonisation

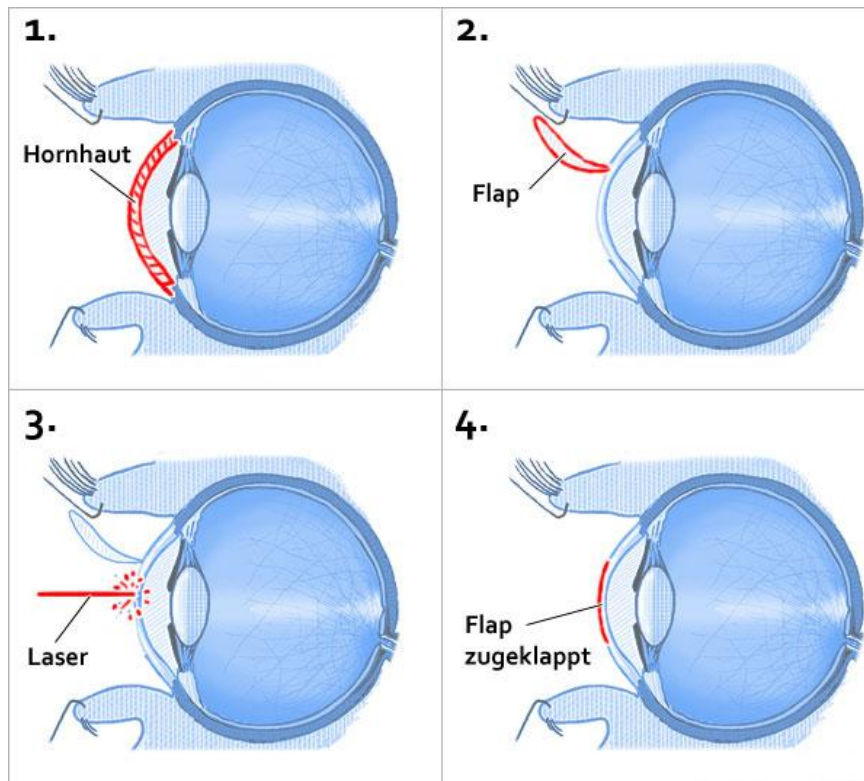


Atomisation

Medizinische Anwendungen



LASIK: Laser In-situ Keratomileusis

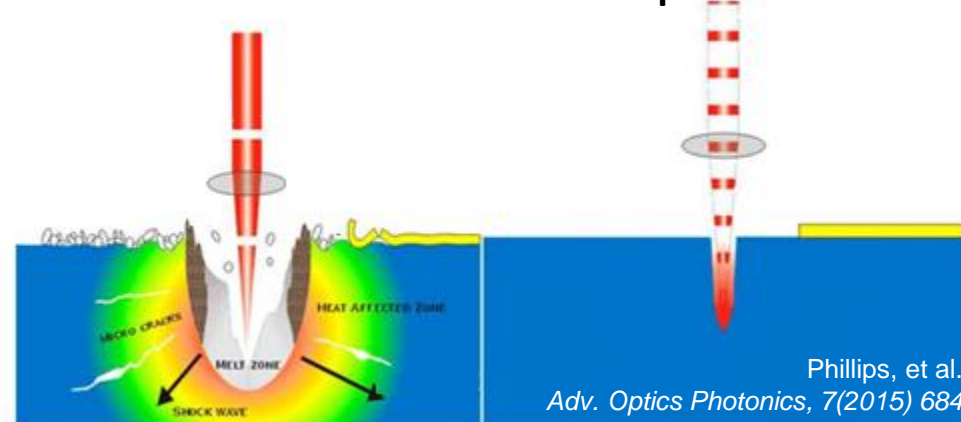


Femtolaser

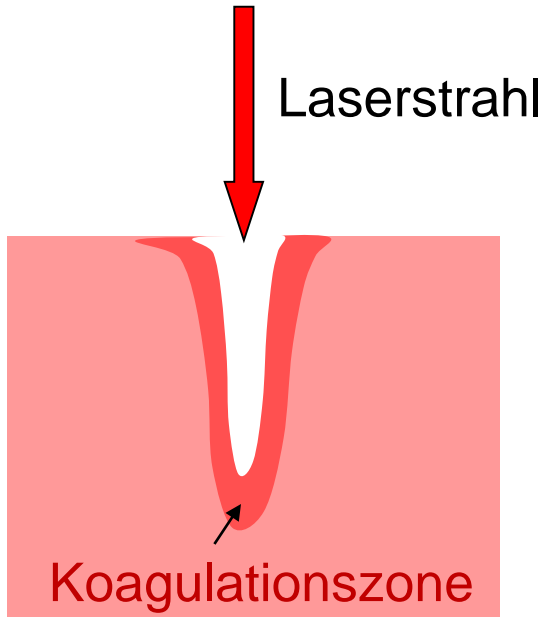
(1 fs = 10^{-15} s)

Dauerstrich-laser

Femtosekunden-Impuls-laser



Vorteile der Laserchirurgie



- feine, präzise Schnitte
- Blutung ist reduziert
- aseptisch
- möglich auch im Innere des Körpers (Lichtleiter)
- selektive Behandlung von bestimmten Geweben



Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2.75 – 2.78 und 2.81

9.3 – 9.6

Feedback