

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**

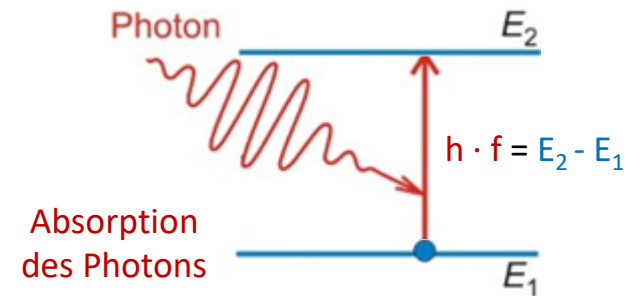
*21. Oktober 2025.*

# Entstehung des Laserlichtes

## Schlüsselwörter:

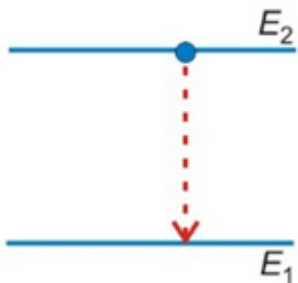
- **Induzierte Emission**
- **Besetzungsinversion (Populationsumkehr)**
- **Laserniveau**
- **Pumpen**

## Anregung eines **Elektrons** im laseraktiven Material

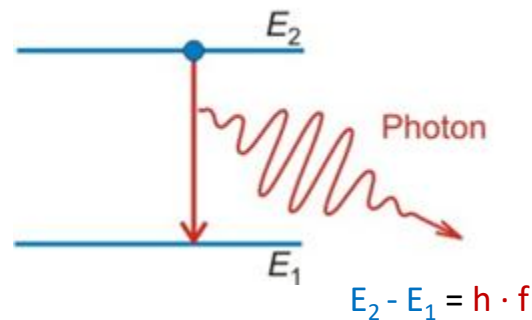


Was kann nach der Anregung passieren?

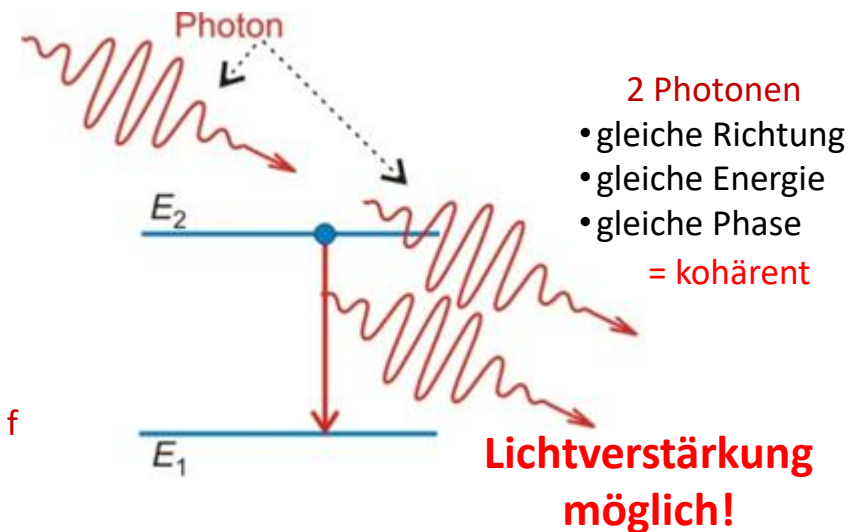
a)  
strahlungsloser  
Übergang



b)  
spontane  
Emission



c)  
**induzierte Emission**



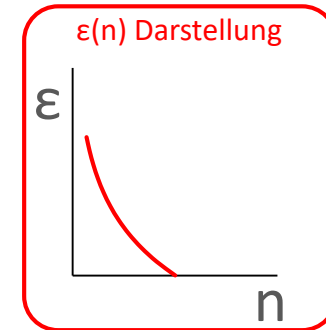
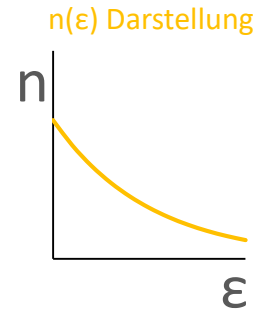
# Besetzung der Teilchen-Energieniveaus

## Boltzmann-Verteilung:

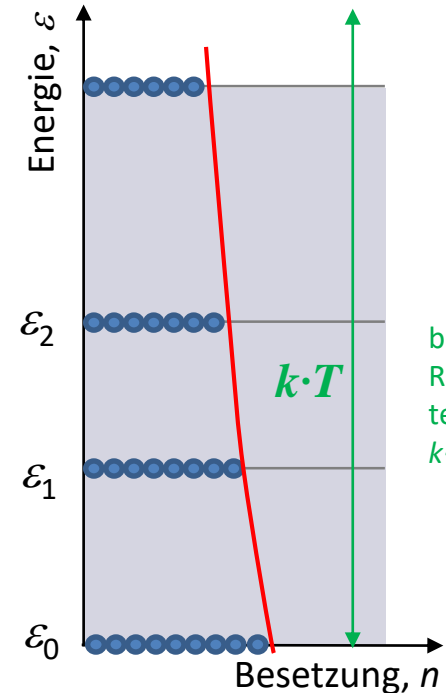
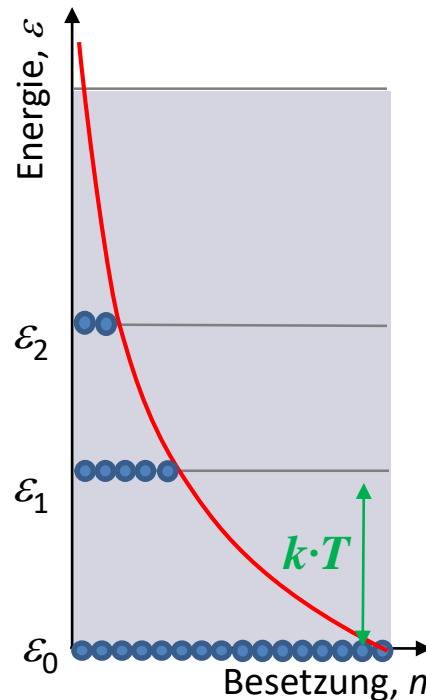
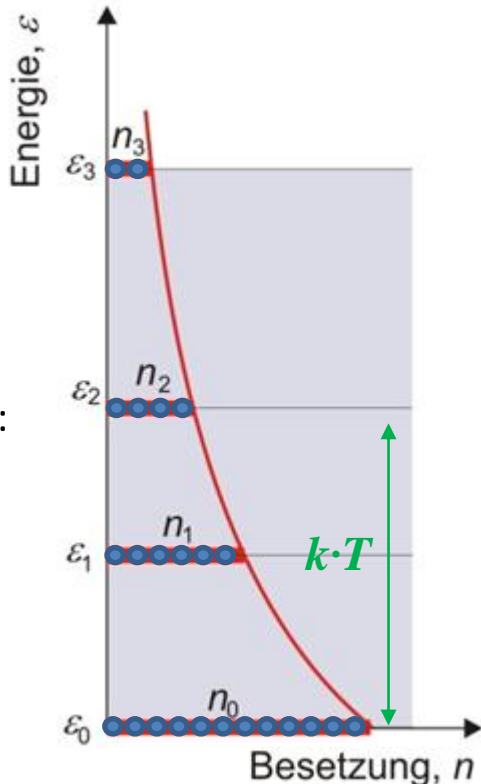
Die Verteilung der Teilchen auf die Energiezustände im thermischen Gleichgewicht ( $T = \text{konstant}$ )

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

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



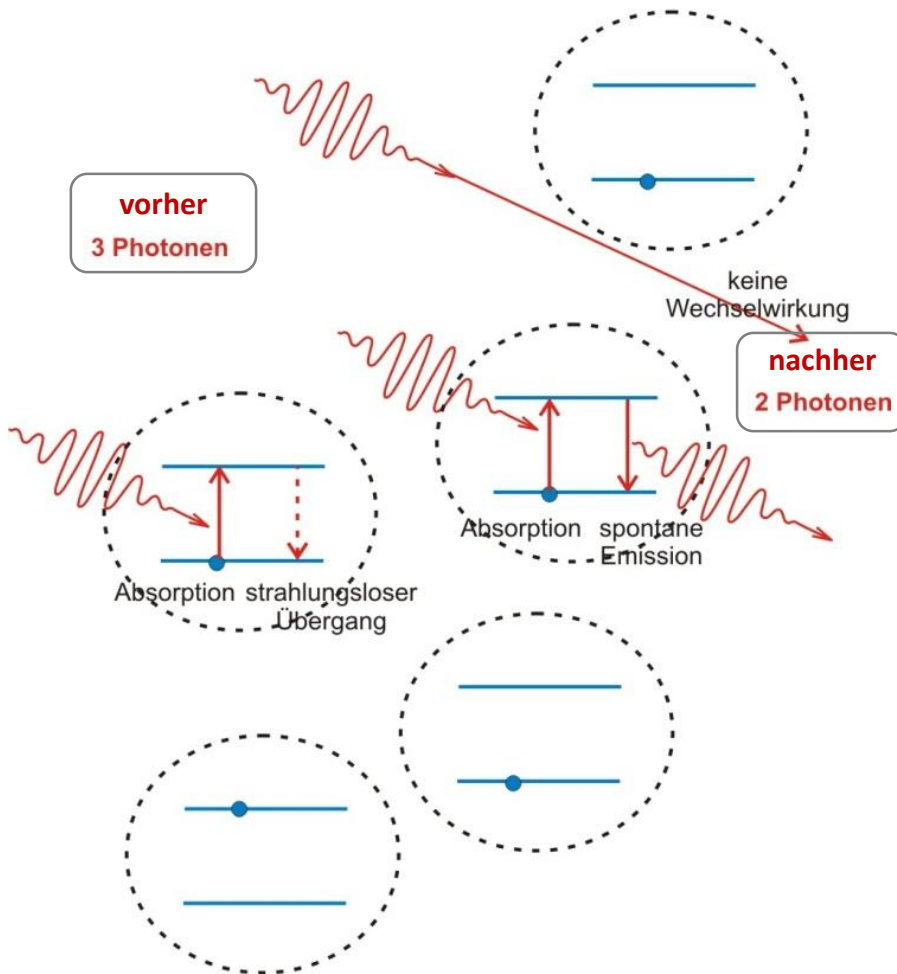
$\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ :  
Energie-  
zustände



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

# Besetzungsinversion

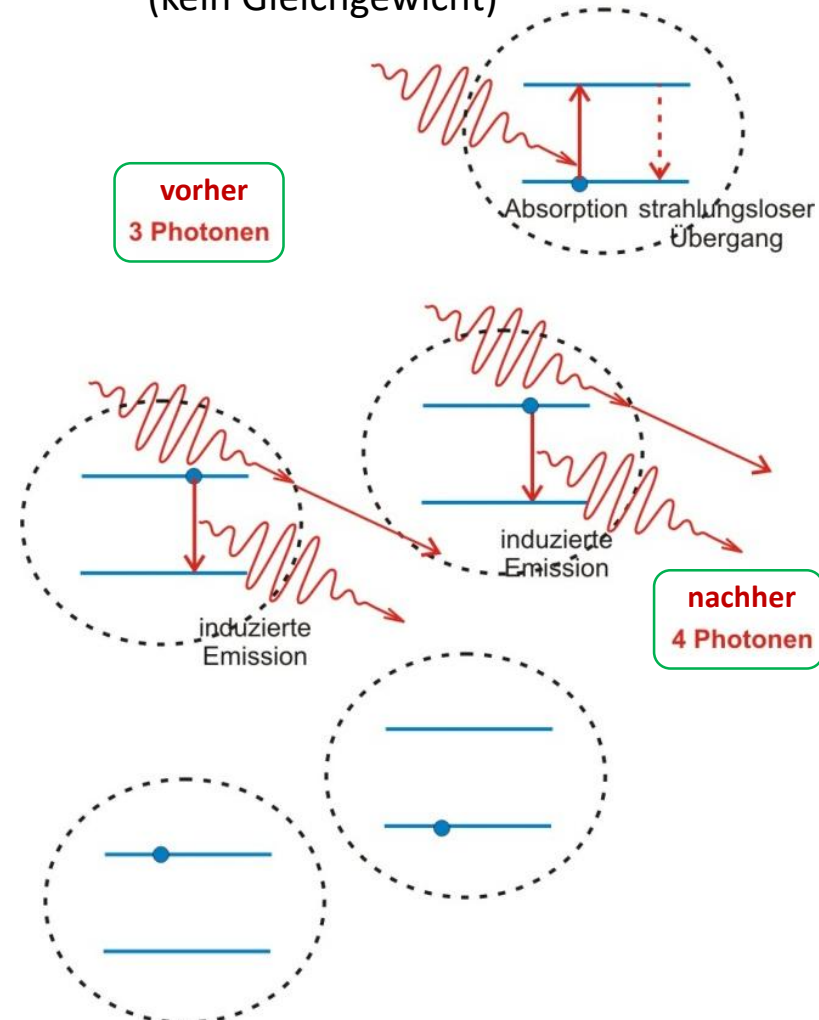
**normale Besetzung**  
(nach der Boltzmann-Verteilung  
im Gleichgewicht)



Schwächung des einfallendes Lichtes



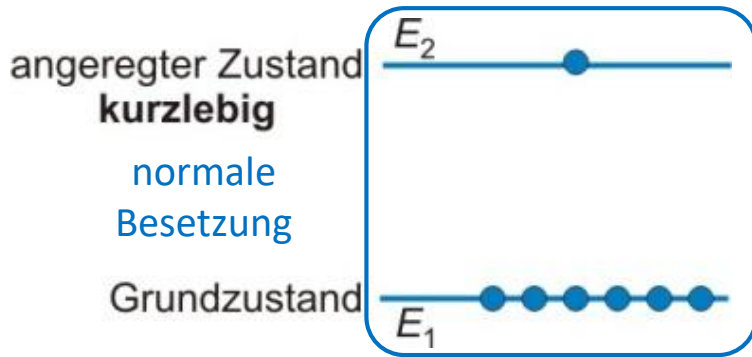
**Besetzungsinversion**  
(kein Gleichgewicht)



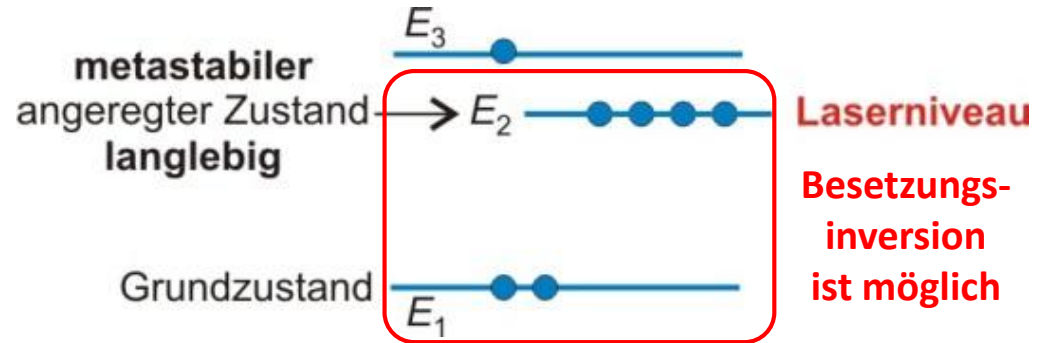
Lichtverstärkung



# Laserniveau

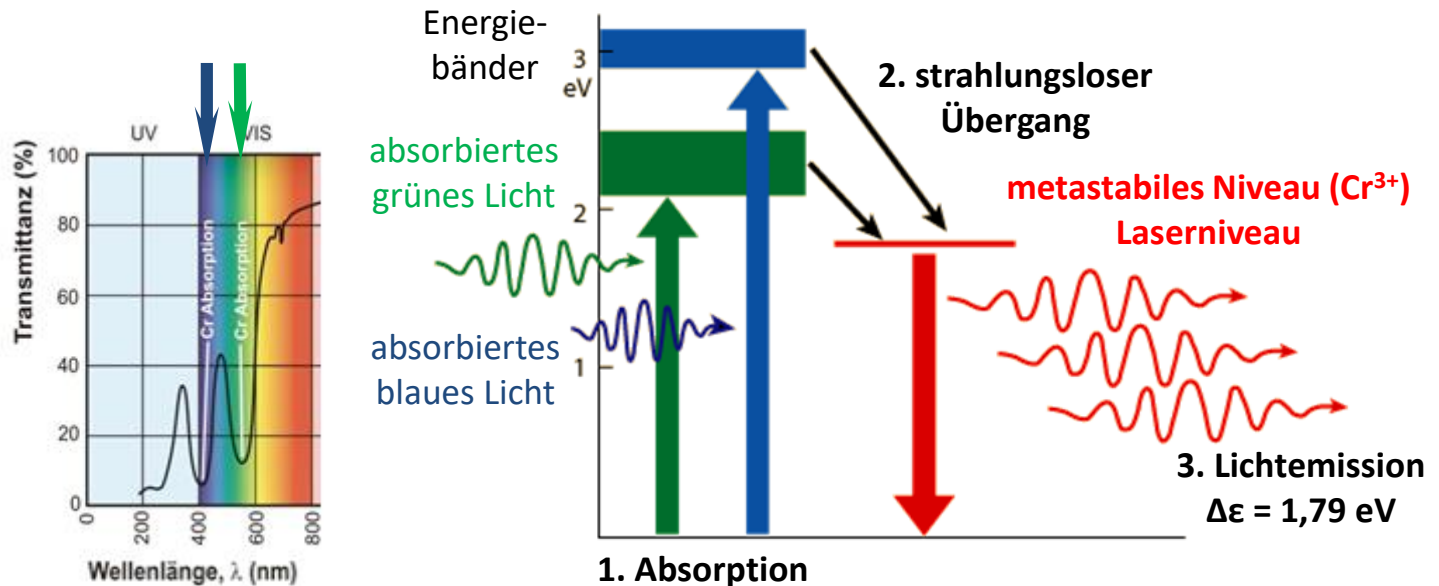


Die zwei Zustände sind im Gleichgewicht



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

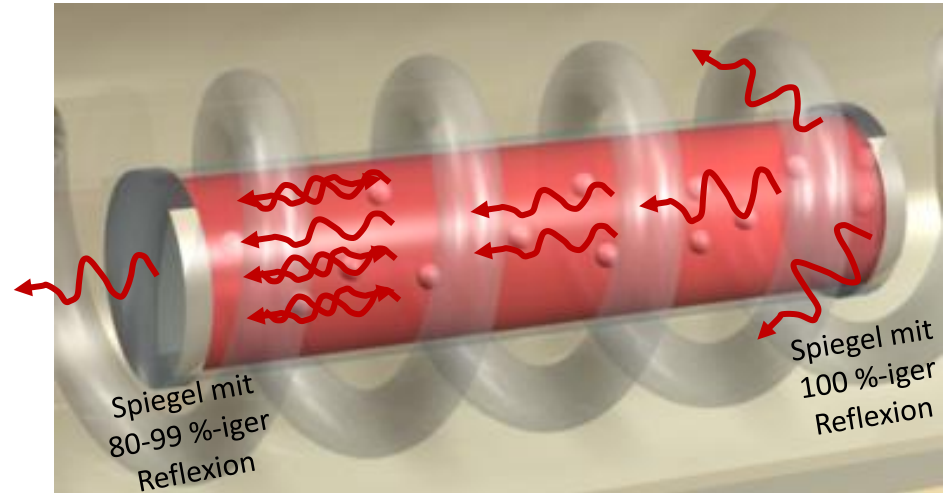
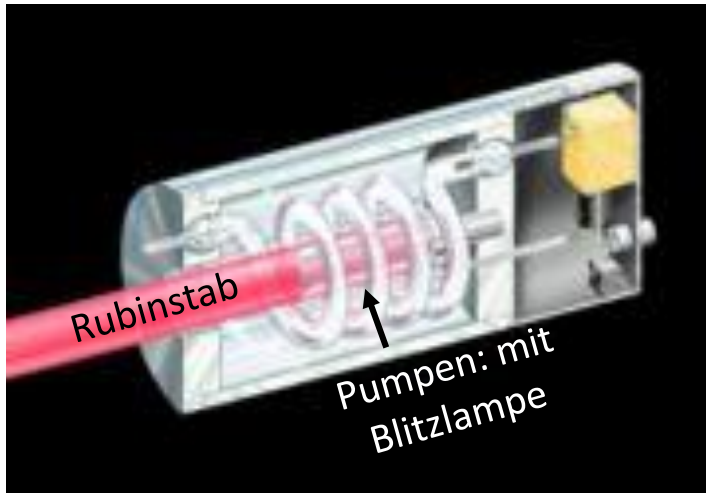
## Rubinlaser:



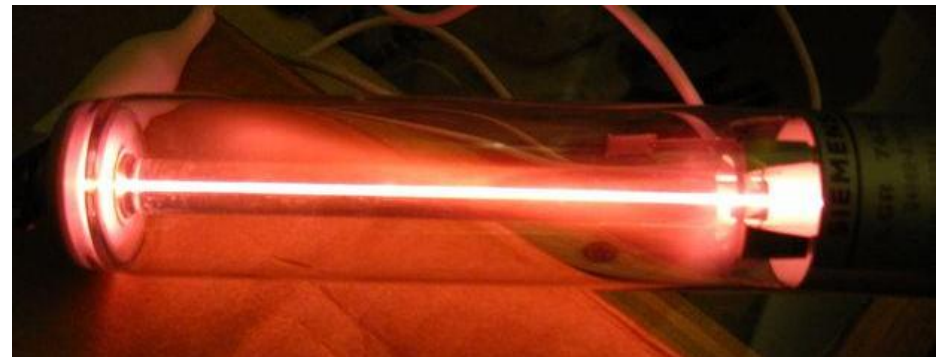
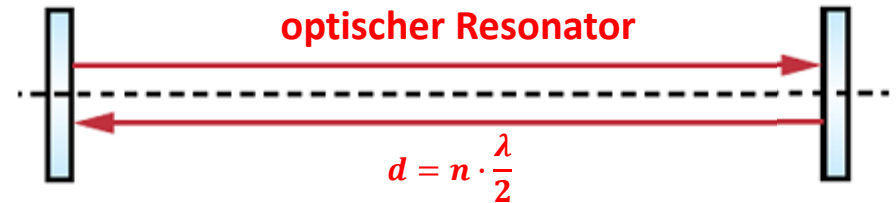
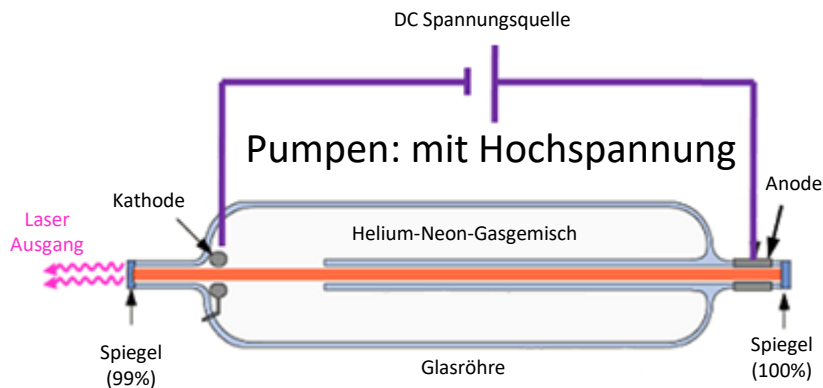
# Pumpen

(Anregung)

## Rubinlaser



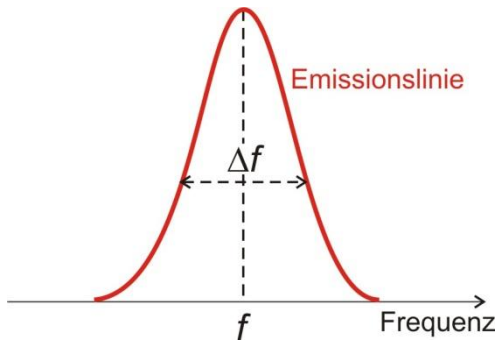
## Helium-Neon Laser



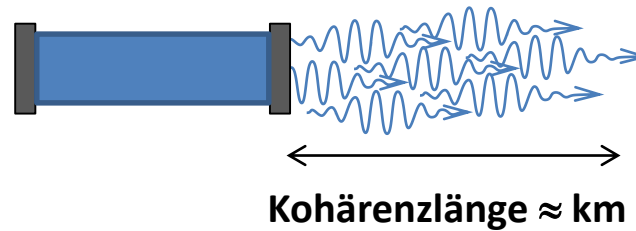
# Eigenschaften der Laserstrahlung

- **monochromatisch**

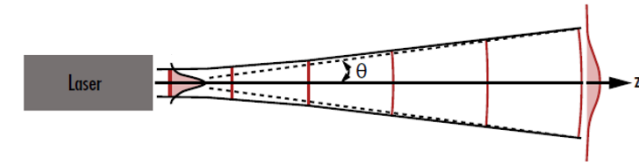
$$\Delta f / f \approx 10^{-10}$$



- **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!**

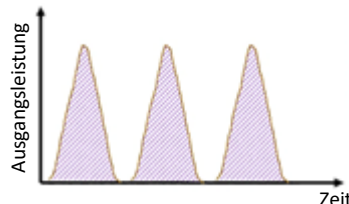
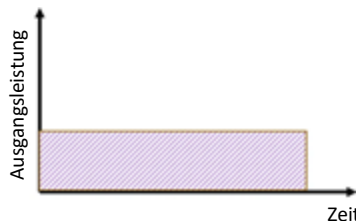
- **polarisiert**

## Lasertypen:

- **Betriebsart**

Dauerstrichlaser

Impulslaser



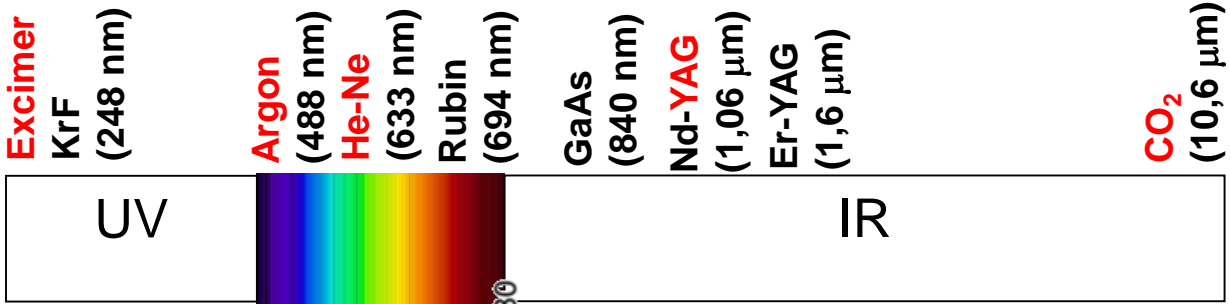
- **Lasermaterial**

gasförmig

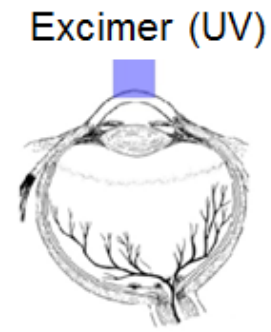
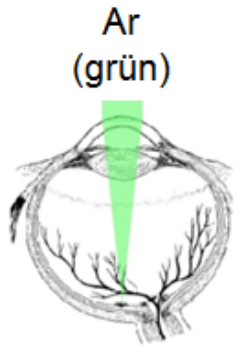
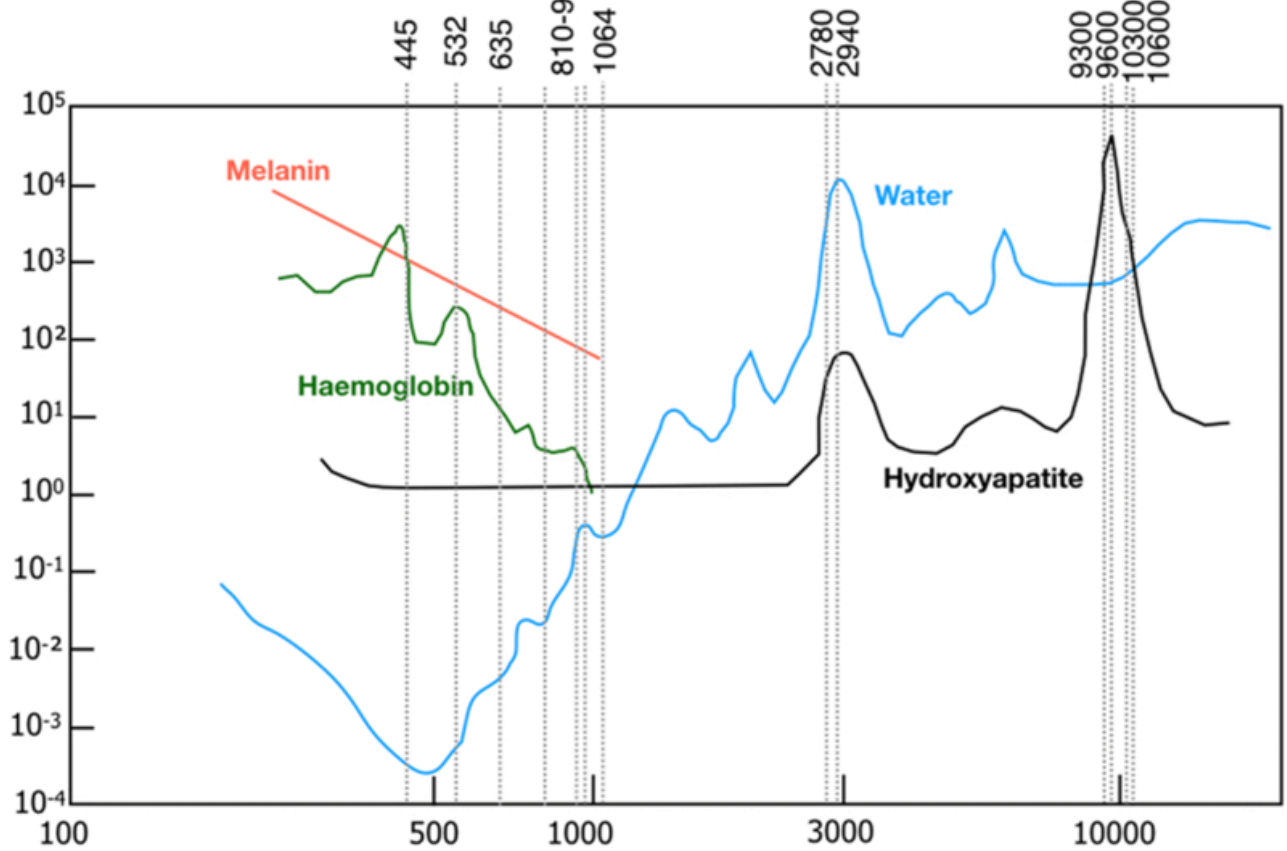
flüssig

kristallin

# Laserlinien für (Zahn)Medizin



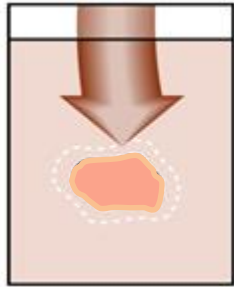
Absorptionskoeffizient (1/cm)



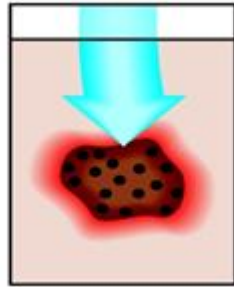
Wellenlänge (nm)

# Folgerungen der Absorption

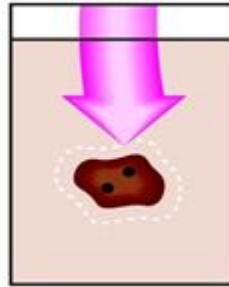
A n r e g u n g



Erwärmung



Fluoreszenz



photochemische  
Reaktionen

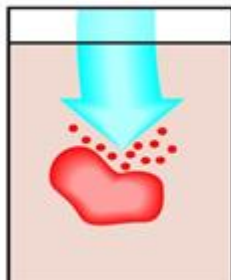
≈ 40 °C: Laserthermie

≈ 60-90 °C: Koagulation

≈ 100-150 °C: Vaporisation

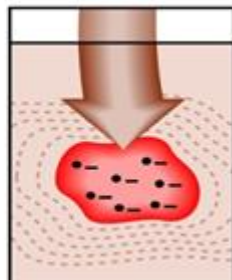
≈ 300 °C- : Karbonisation

Photodissoziation

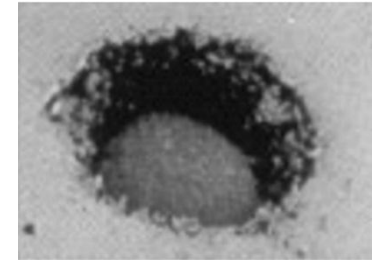


Atomisation

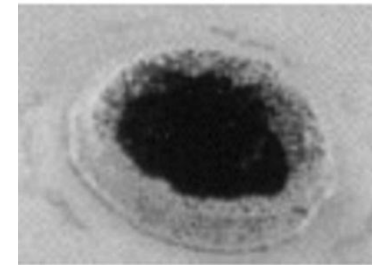
Ionisation



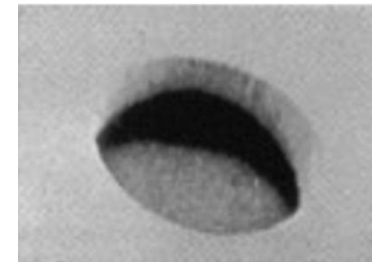
photomechanische  
Wirkung



Vaporisation

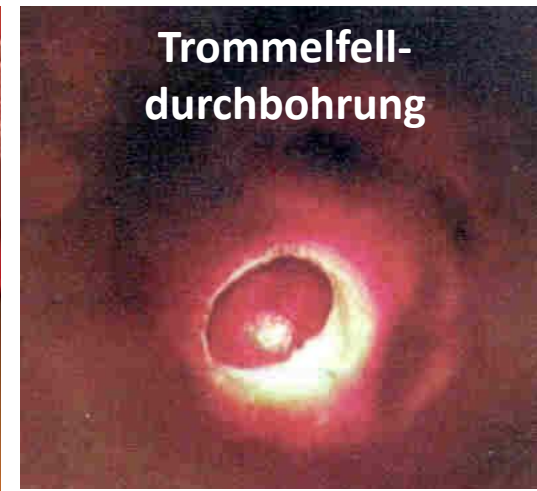


Karbonisation

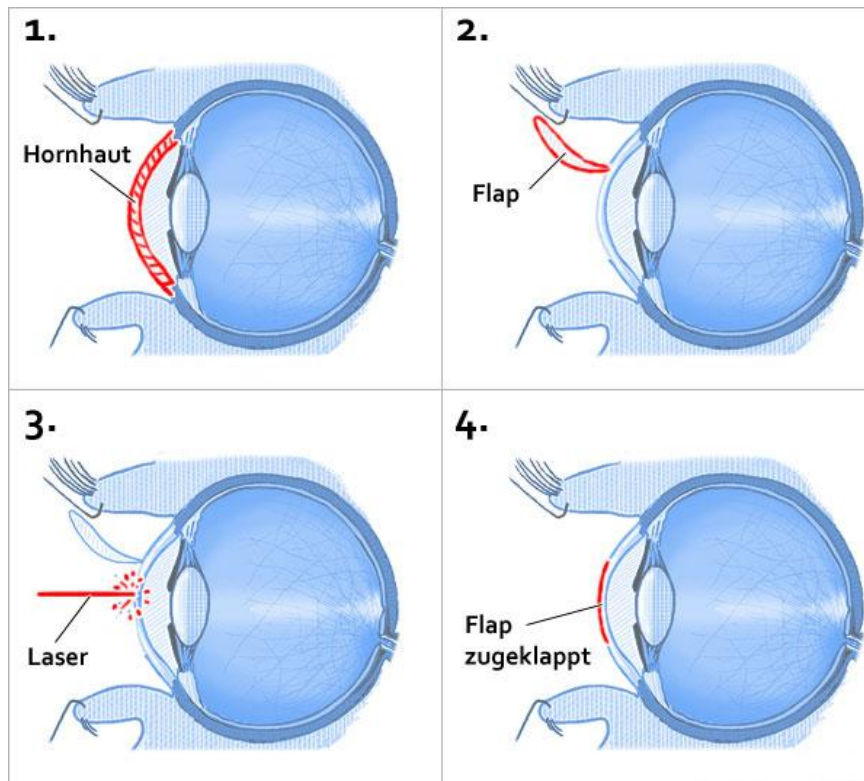


Atomisation

# Medizinische Anwendungen



## LASIK: Laser In-situ Keratomileusis

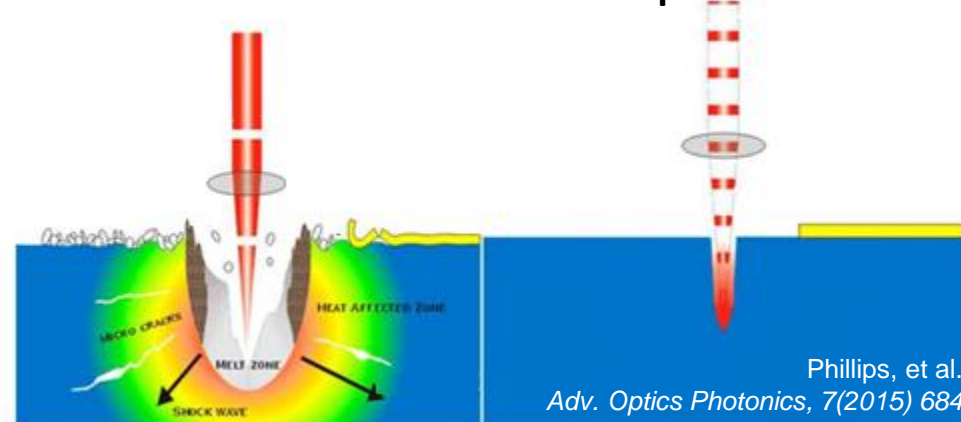


## Femtolaser

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

Dauerstrich-laser

Femtosekunden-Impuls-laser



# Zahnmedizinische Anwendungen



Zahnfleisch-Entfernung

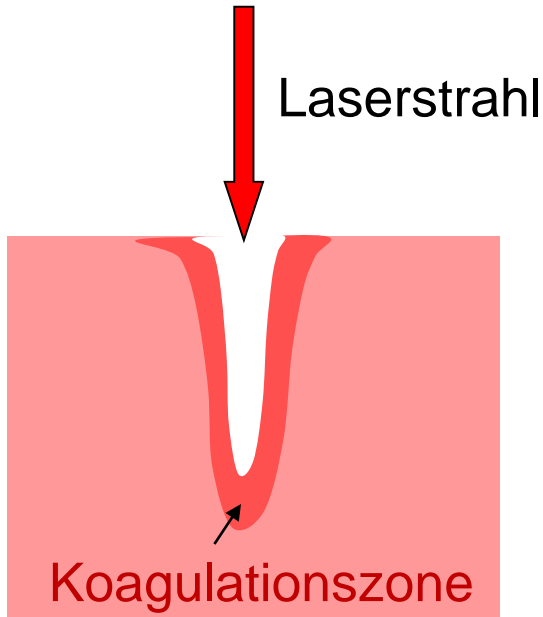


Zahnbohren



Entfernen von  
Zahnverfärbungen

# 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