

Light

Amplification by

Stimulated

Emission of

Radiation



Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



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

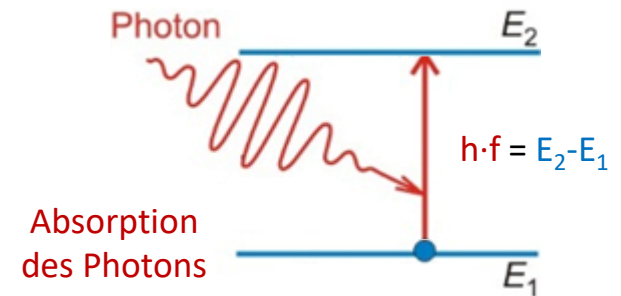
16. Oktober 2024.

Entstehung des Laserlichtes

Schlüsselwörter:

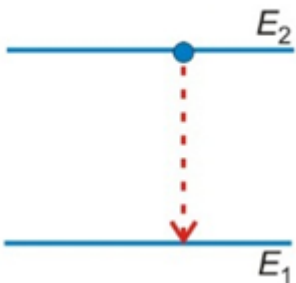
- **Induzierte Emission**
- **Besetzungsinversion (Populationsumkehr)**
- **Laserniveau**
- **Pumpen**

Anregung eines **Elektrons** im laseraktiven Material

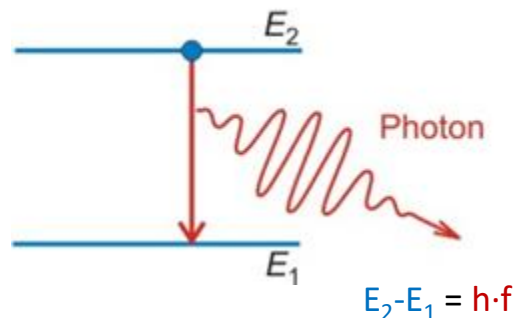


Was kann nach der Anregung passieren?

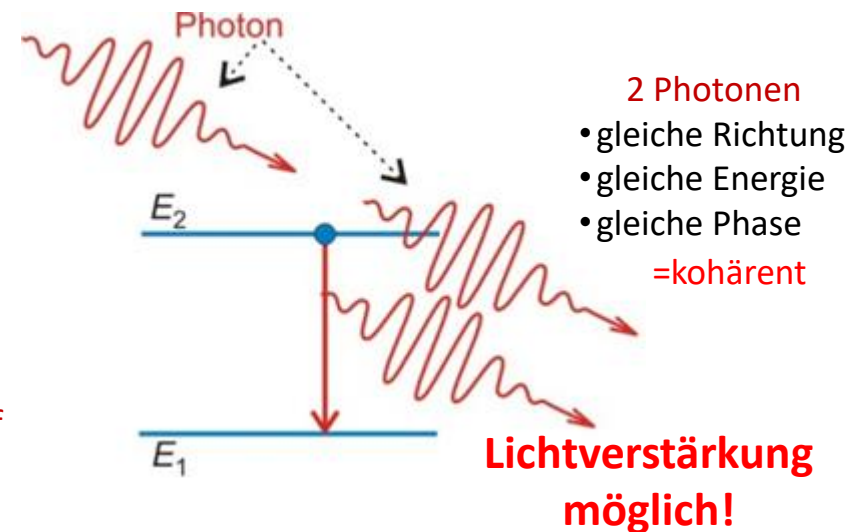
a)
strahlungsloser
Übergang



b)
spontane
Emission



c)
induzierte Emission



Besetzung der Teilchen-Energieniveaus

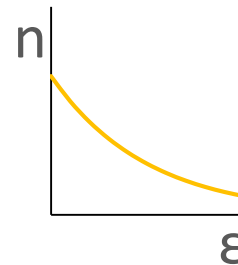
Boltzmann-Verteilung:

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

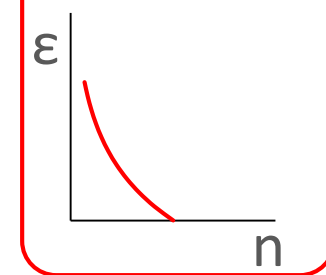
$$n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_0}{k \cdot T}} = n_0 \cdot e^{-\frac{\Delta \varepsilon}{k \cdot T}}$$

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

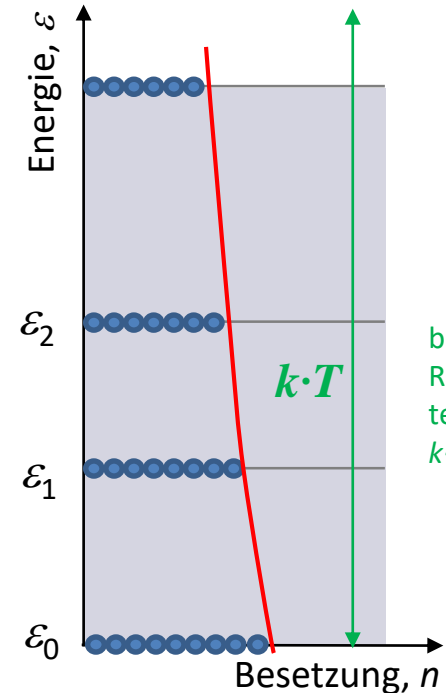
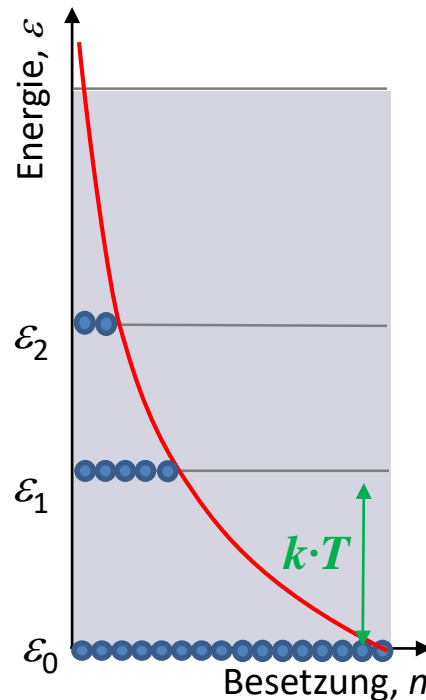
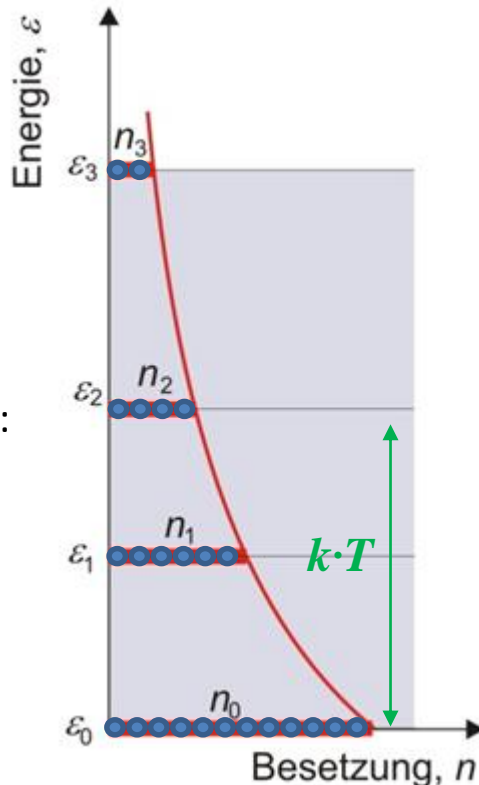
$n(\varepsilon)$ Darstellung



$\varepsilon(n)$ Darstellung



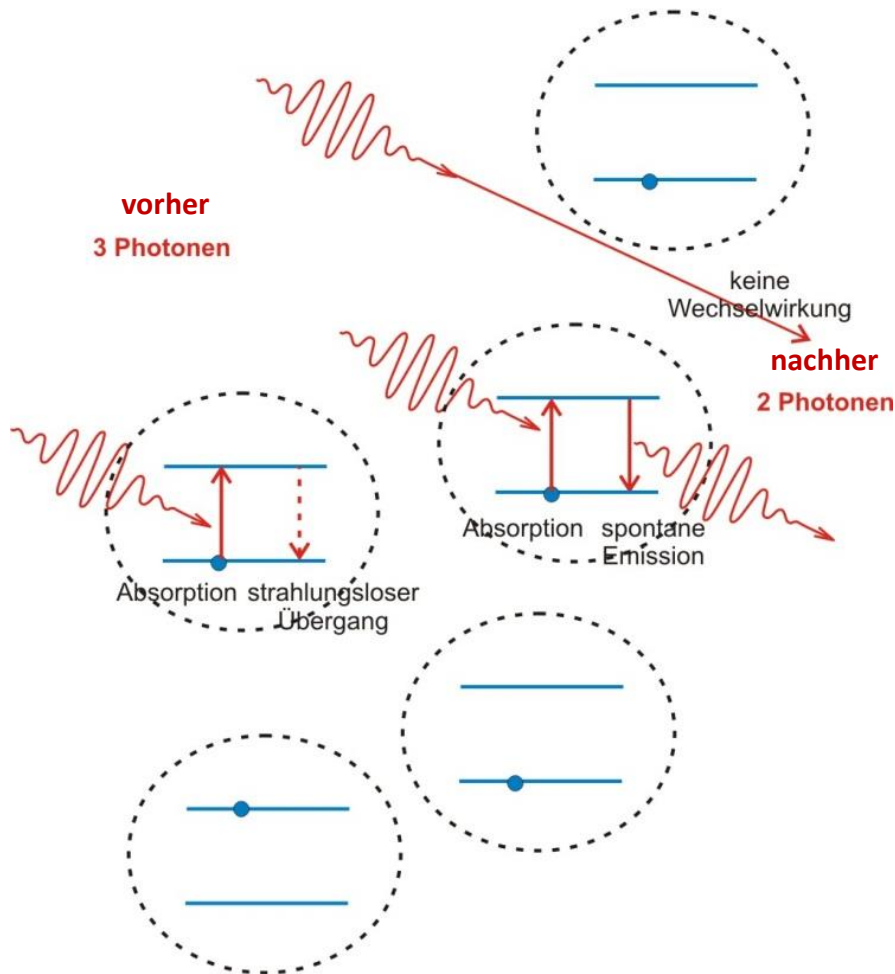
$\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$:
Energie-
zustände



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

Besetzungsinversion

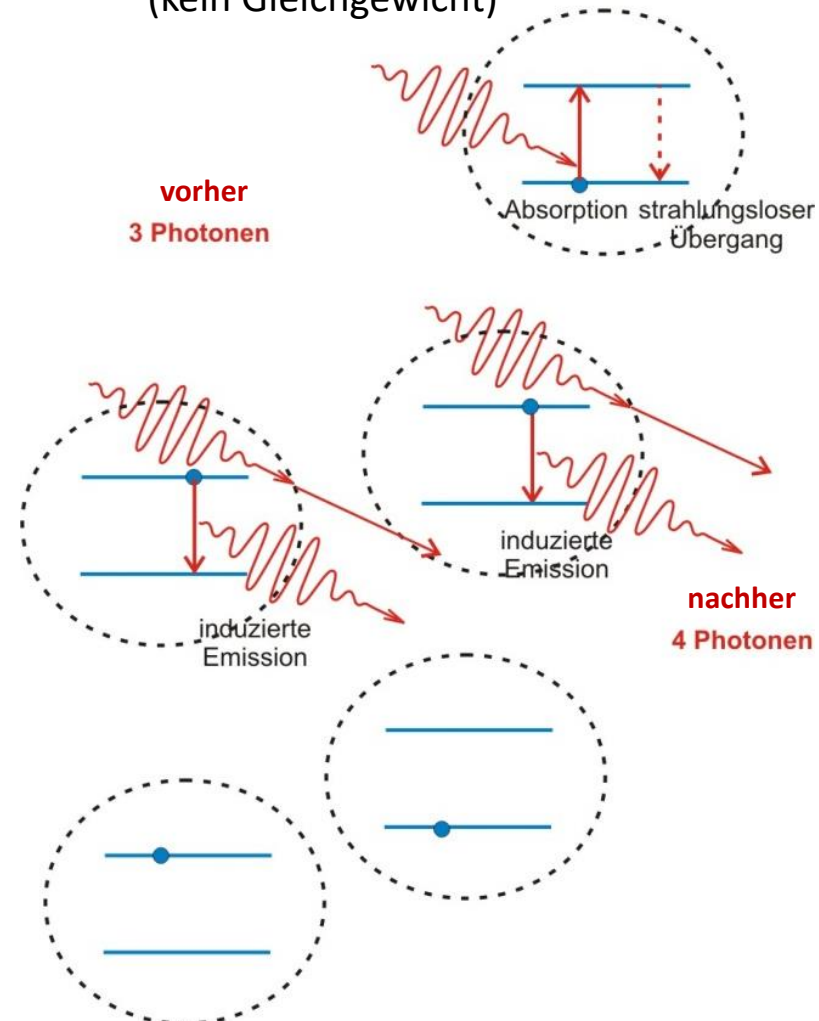
normale Besetzung
(nach der Boltzmann-Verteilung
im Gleichgewicht)



Schwächung des einfallendes Lichtes



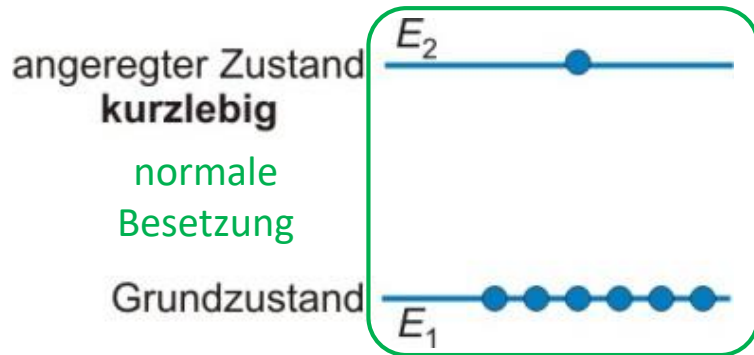
Besetzungsinversion
(kein Gleichgewicht)



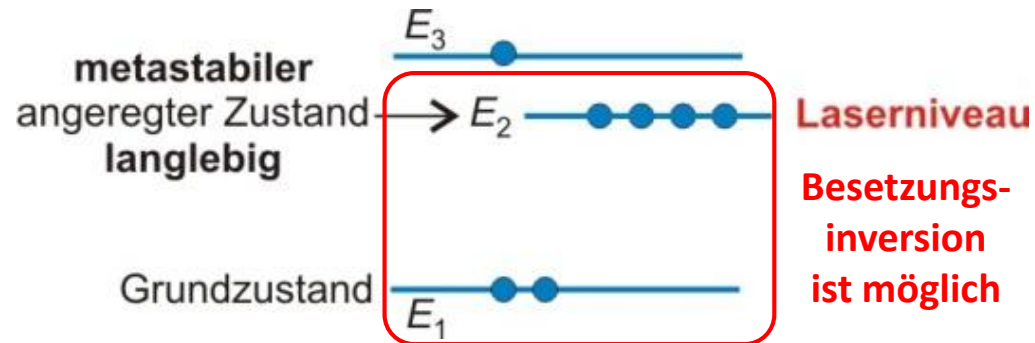
Lichtverstärkung



Laserniveau

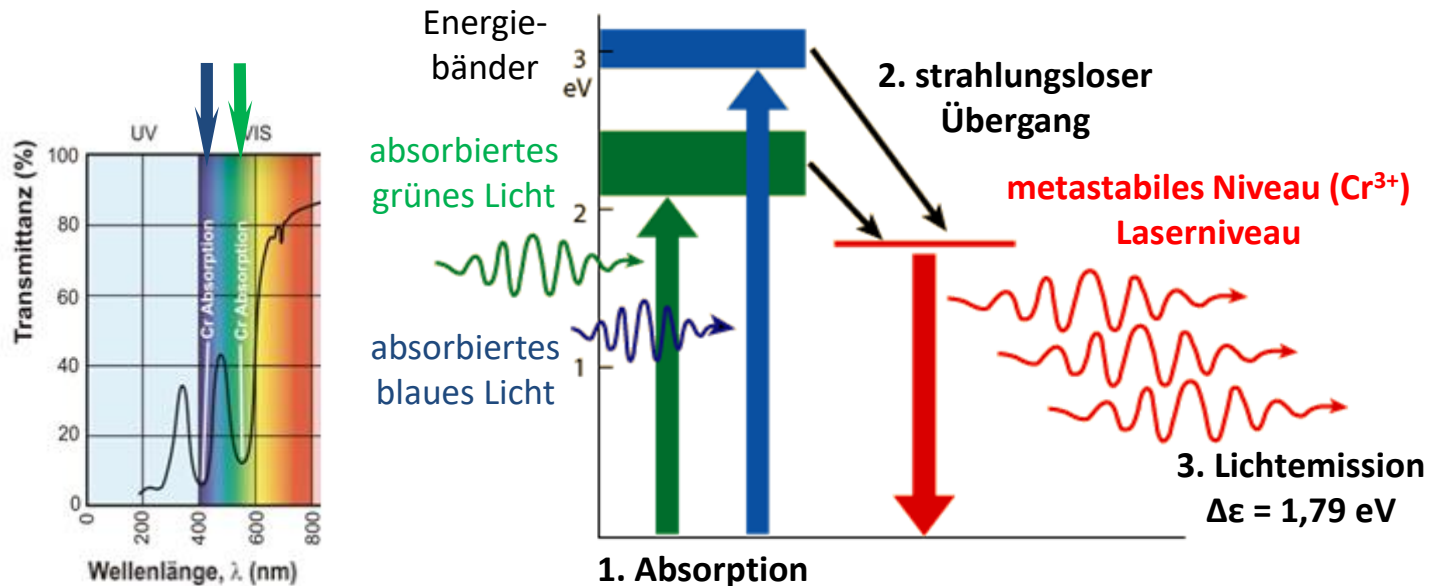


Die zwei Zustände sind im Gleichgewicht



Der metastabile Zustand und der Grundzustand sind nicht im Gleichgewicht

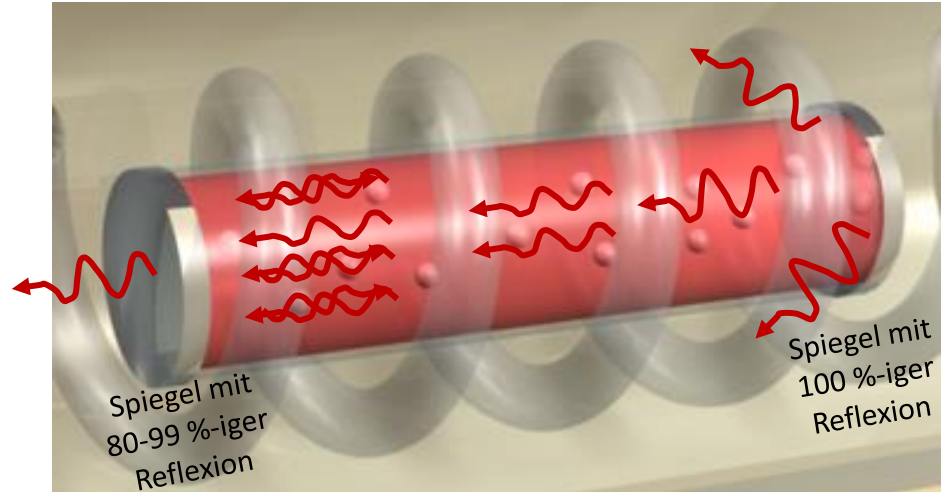
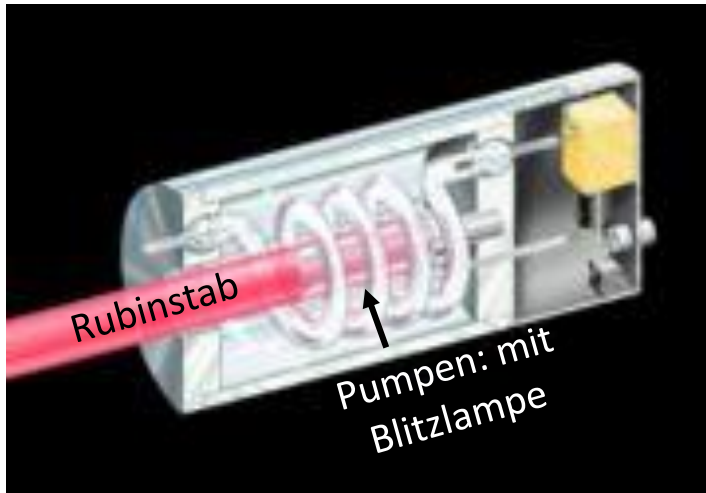
Rubinlaser:



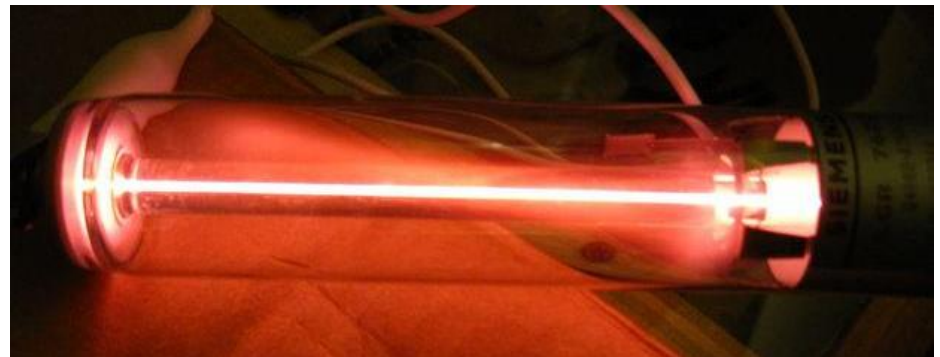
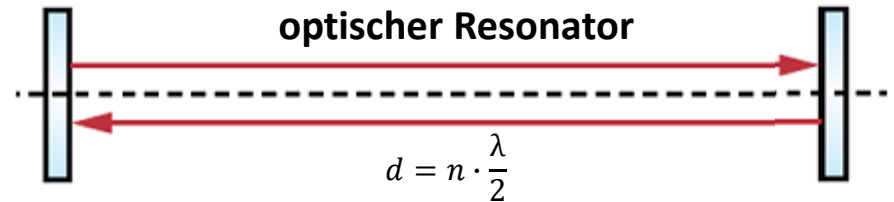
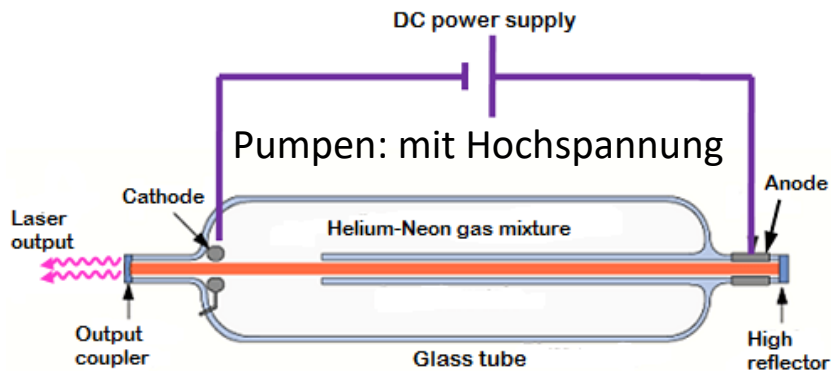
Pumpen

(Anregung)

Rubinlaser



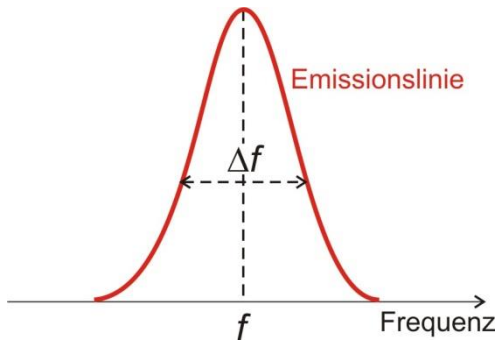
Helium-Neon Laser



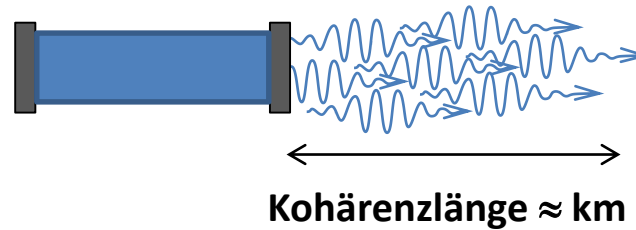
Eigenschaften der Laserstrahlung

- monochromatisch

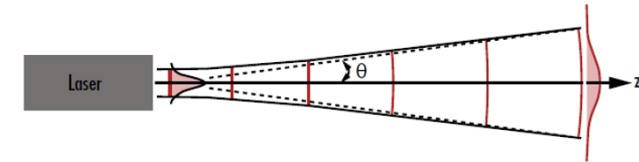
$$\Delta f / f \approx 10^{-10}$$



- kohärent



- geringe Divergenz



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

gut fokussierbar

- hohe Intensität

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

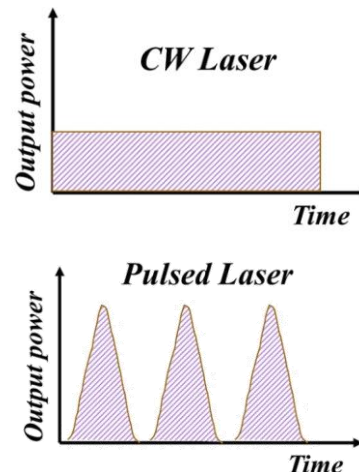
$$J \uparrow = \frac{P}{A} \downarrow$$

Flächenstrahler!

- polarisiert

Lasertypen:

- Betriebsart
 - Dauerstrichlaser
 - Impulslaser

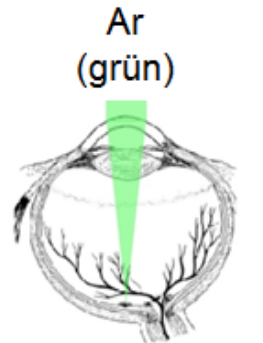
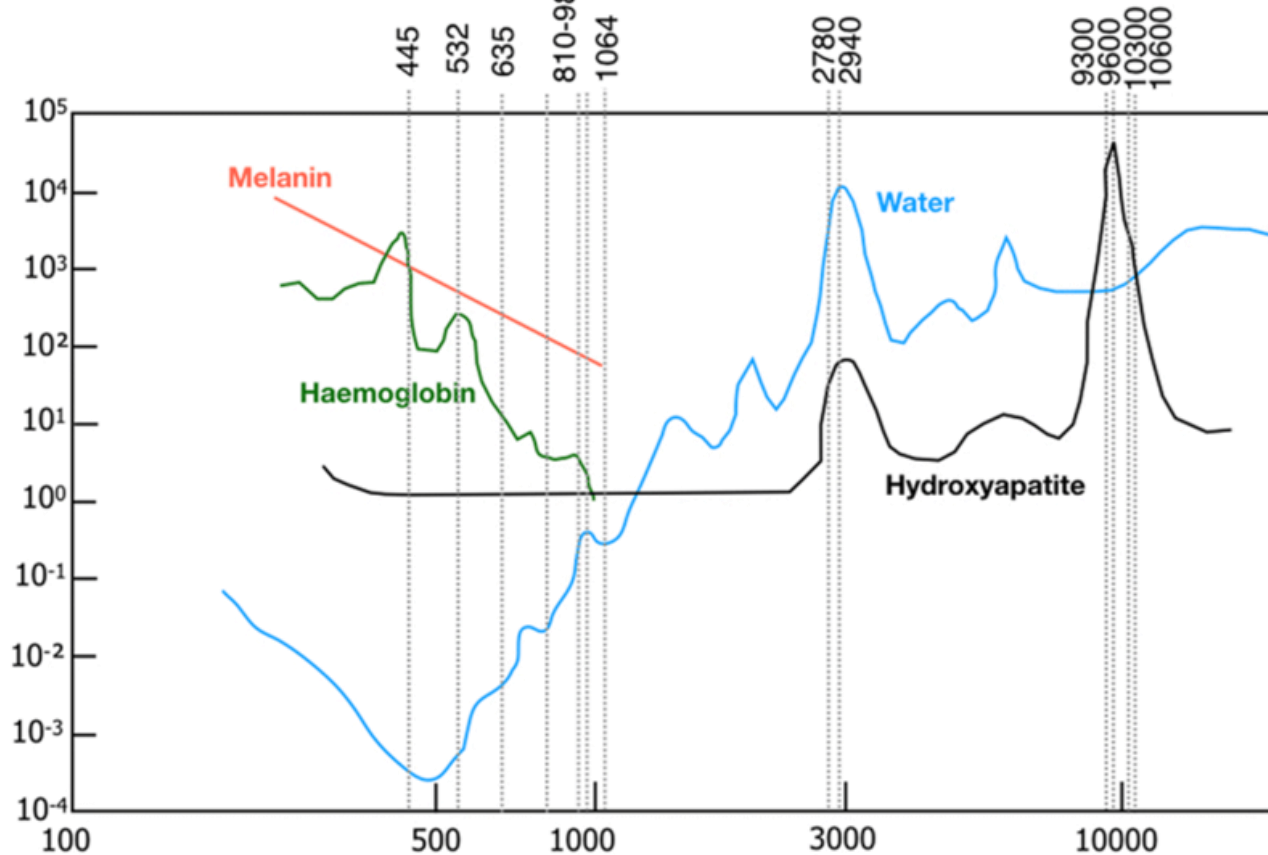


- Lasermaterial
 - gasförmig
 - flüssig
 - kristallin

Laserlinien für (Zahn)Medizin



Absorptions-
koeffizient
(1/cm)



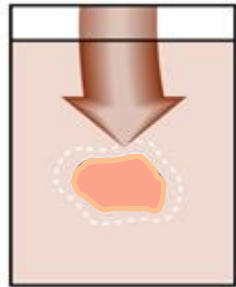
Excimer (UV)



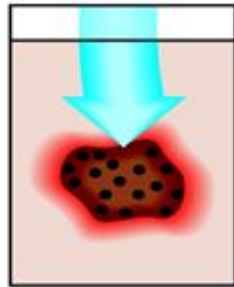
Wellenlänge
(nm)

Folgerungen der Absorption

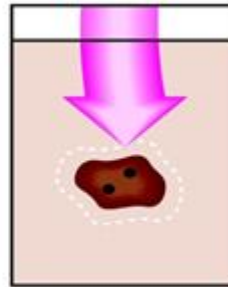
A n r e g u n g



Erwärmung



Fluoreszenz



**photochemische
Reaktionen**

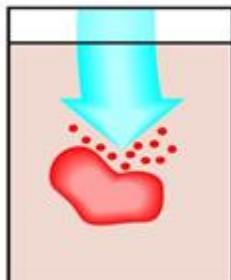
≈ 40 °C: **Laserthermie**

≈ 60-90 °C: **Koagulation**

≈ 100-150 °C: **Vaporisation**

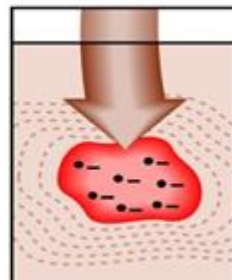
≈ 300 °C- : **Karbonisation**

Photodissoziation

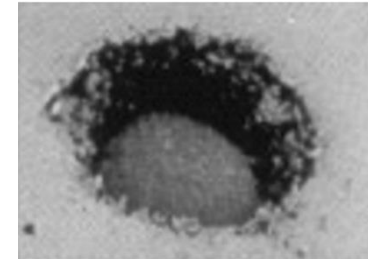


Atomisation

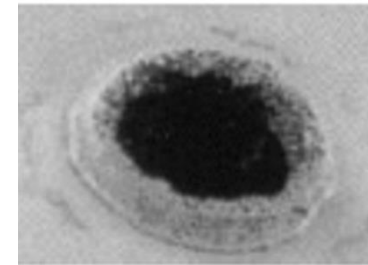
Ionisation



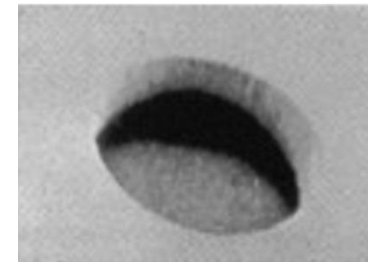
**photomechanische
Wirkung**



Vaporisation



Karbonisation



Atomisation

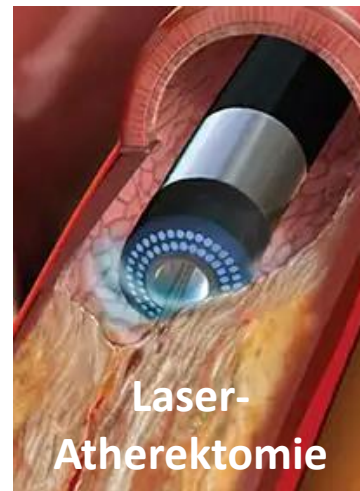
Medizinische Anwendungen



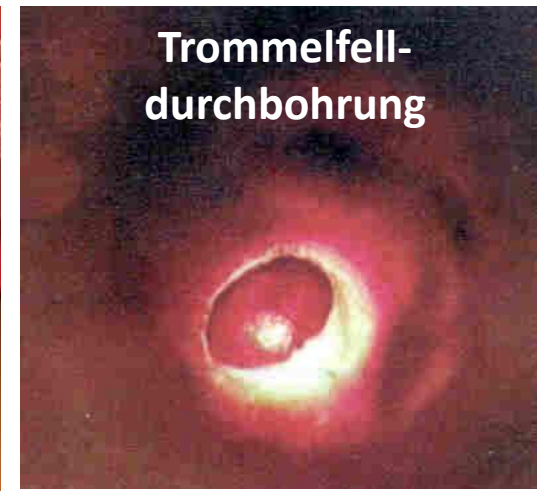
Enthaarung



Tattoo-Entfernung

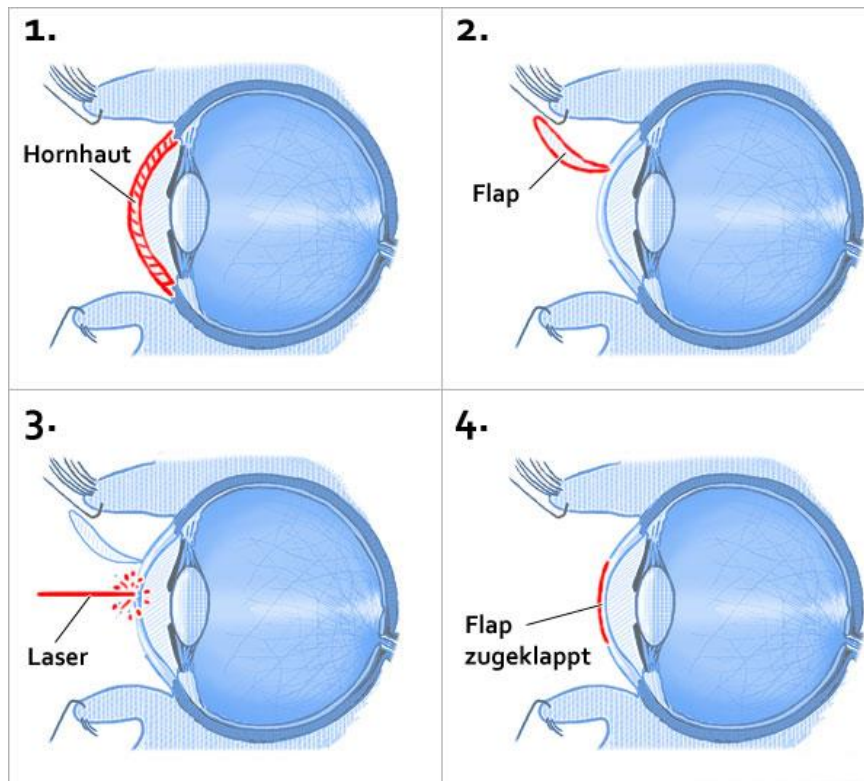


Laser-Atherektomie



Trommelfell-durchbohrung

LASIK: Laser In-situ Keratomeileusis

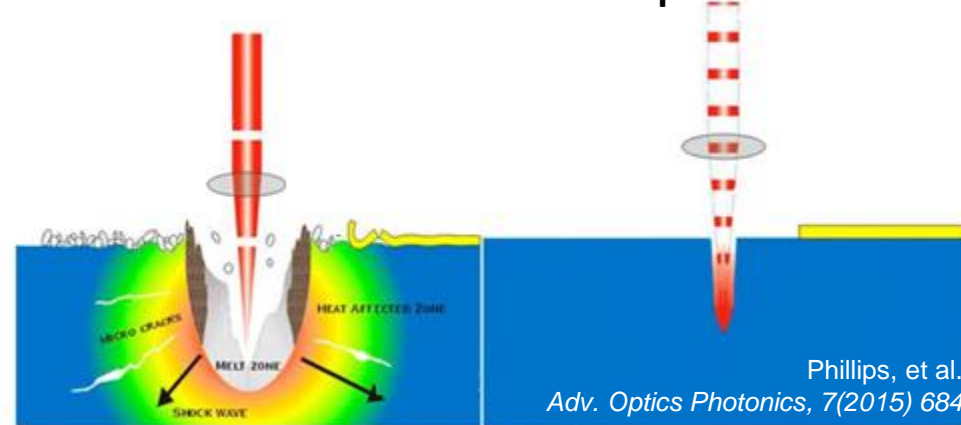


Femtolaser

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

Dauerstrich-laser

Femtosekunden-Impulslaser



Phillips, et al.
Adv. Optics Photonics, 7(2015) 684

Zahnmedizinische Anwendungen



Zahnfleisch-Entfernung

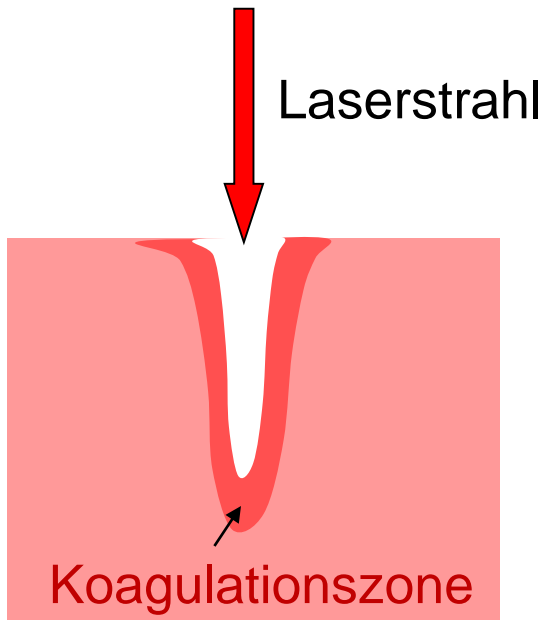


Zahnbohren



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



Lichtleitung mit
optischen Fasern

Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2.75 – 2.78 und 2.81

9.3 – 9.6

Feedback