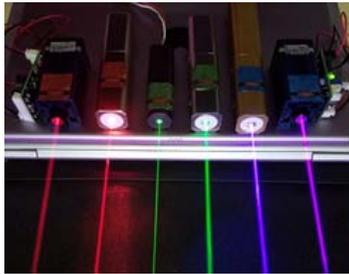


# LASER



KAD 2023.10.17

1

# LASER

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung  
eine Art der Lumineszenz

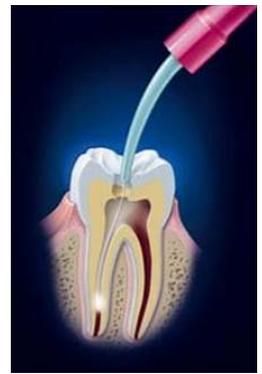
## Entstehung des Laserlichtes

- Induzierte Emission
- Besetzungsinversion
- Laserniveau
- Pumpen
- Positive Rückkopplung
- Optischer Resonator

## Eigenschaften der Laserstrahlung

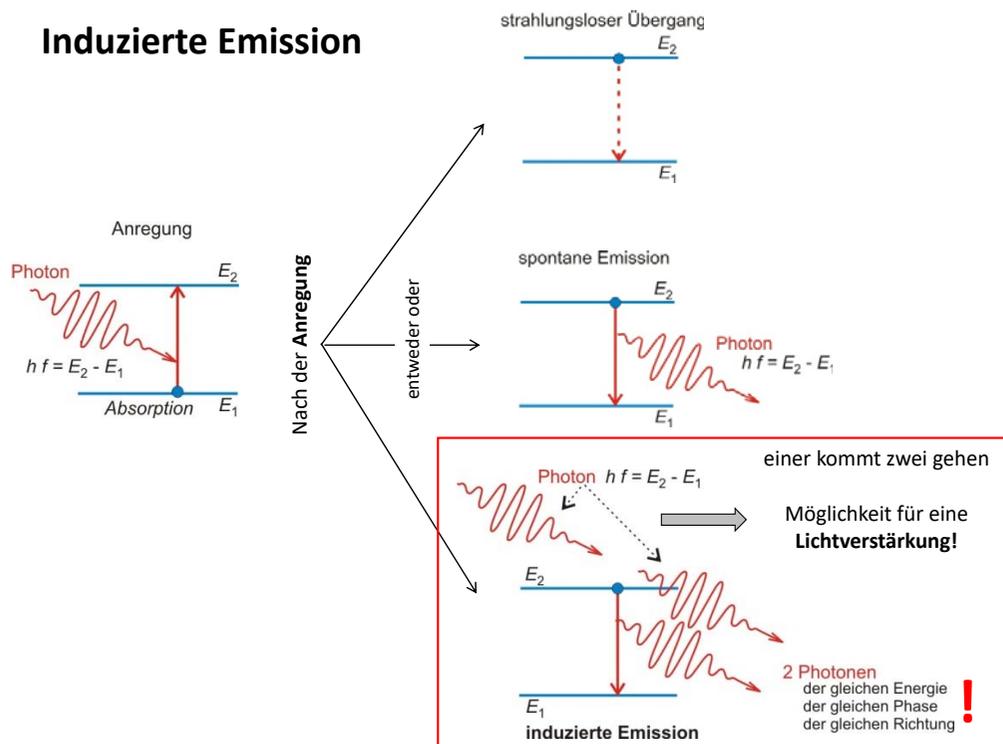
## Lasertypen

## Medizinische Anwendungen



2

## Induzierte Emission



## Besetzungsmöglichkeiten

### Normale Besetzung

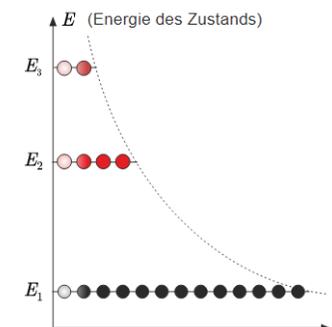
im thermischen Gleichgewicht:  
**Boltzmann**-Verteilung

$$N = N_0 e^{-\frac{(E-E_0)}{kT}}$$

- $N$  Anzahl der Atome im angeregten Zustand
- $N_0$  Anzahl der Atome im Grundzustand
- $E$  Energie der angeregten Atome
- $E_0$  Energie der Atome im Grundzustand
- $k$  Boltzmann-Konstante
- $T$  absolute Temperatur
- $kT$  mittlere kinetische Energie eines Atoms bei der Temperatur  $T$

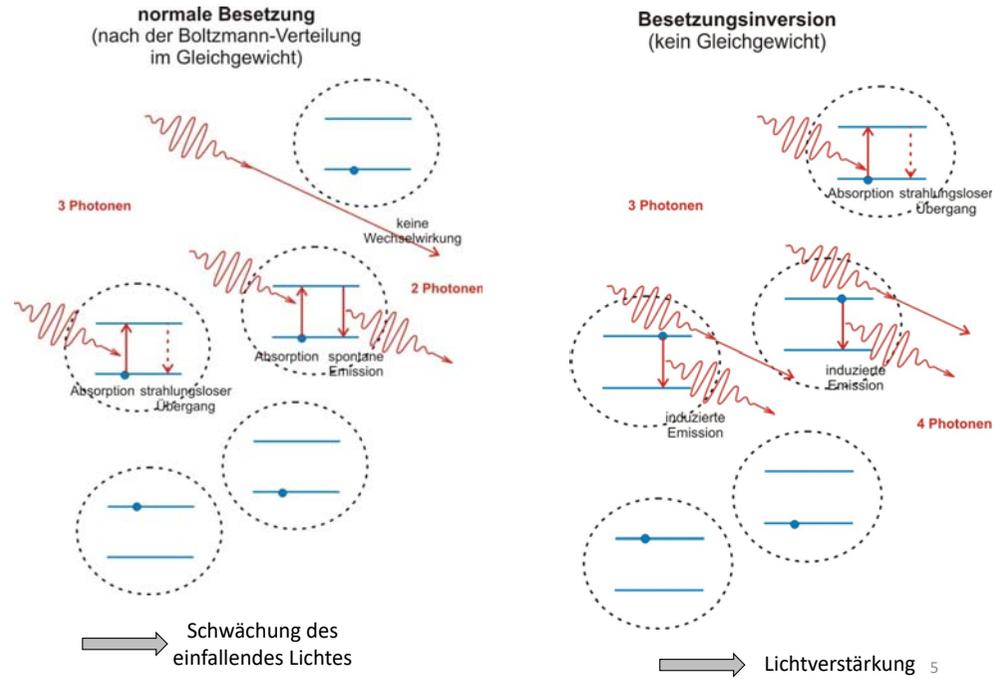
### Besetzungsinversion (Populationsumkehr)

es befinden sich mehr Moleküle im angeregten Zustand als im Grundzustand

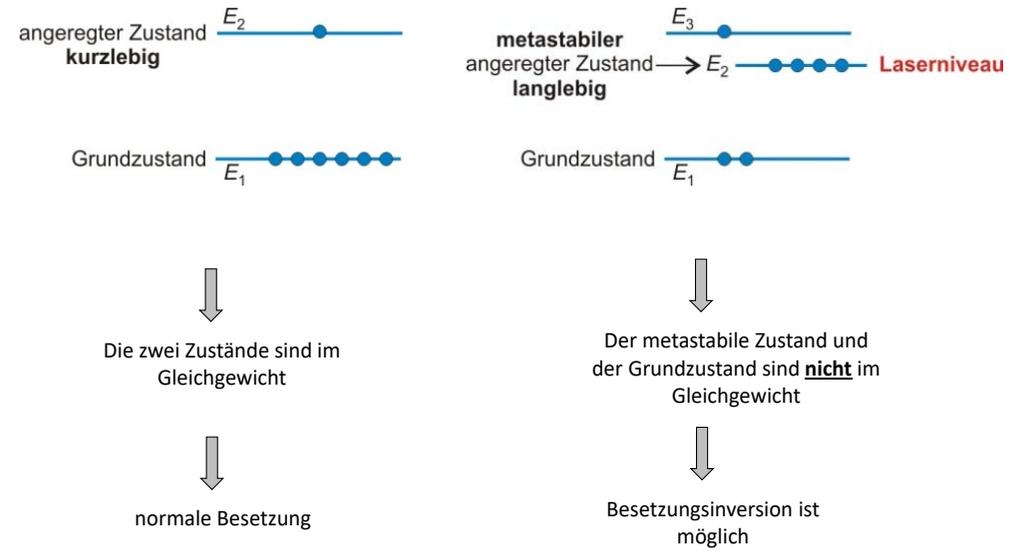


4

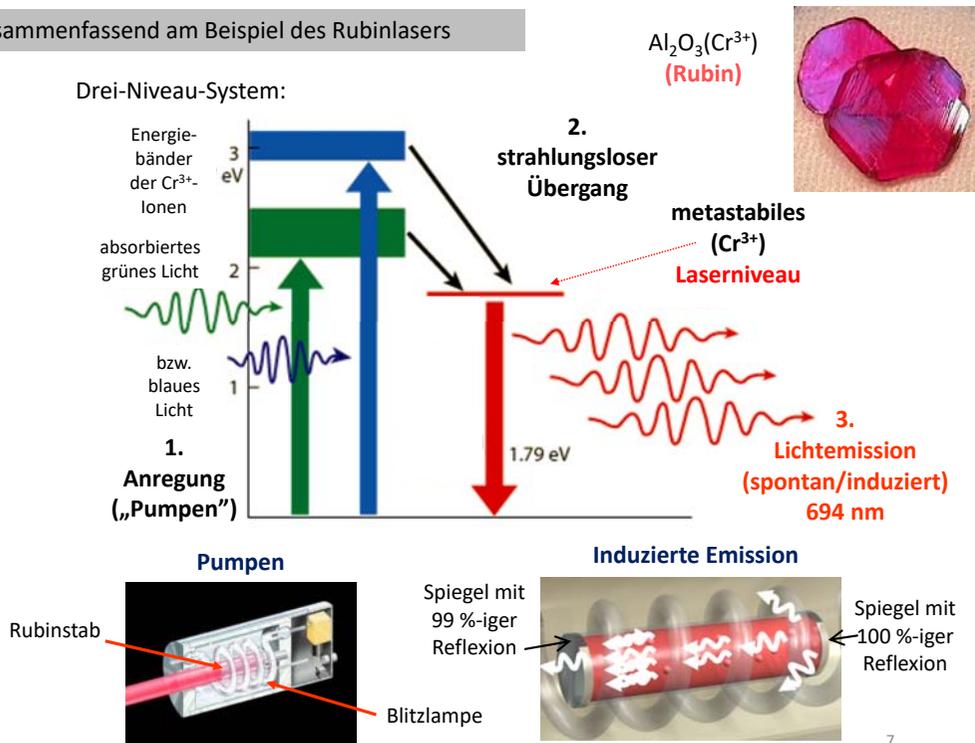
# Besetzungsinversion



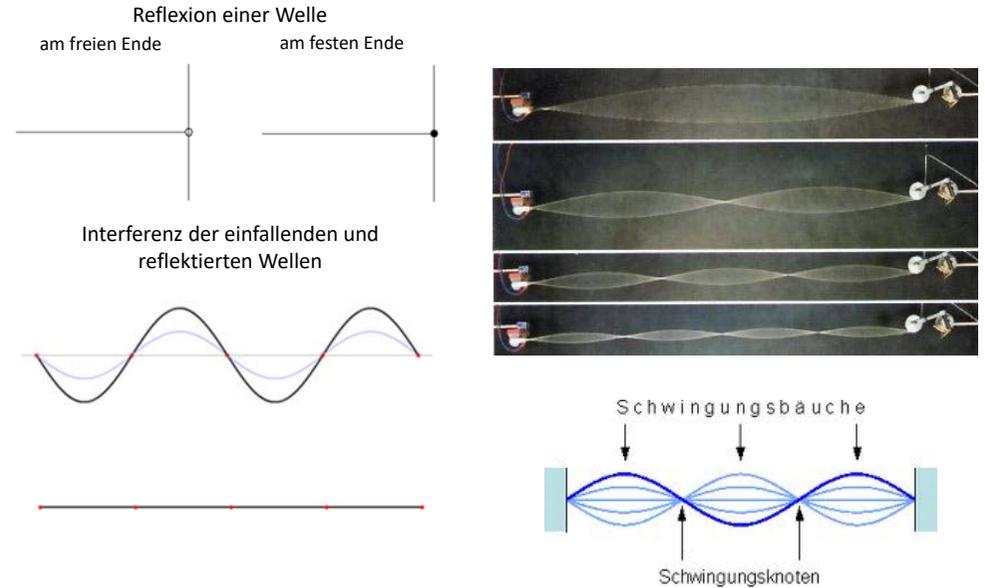
# Laserniveau

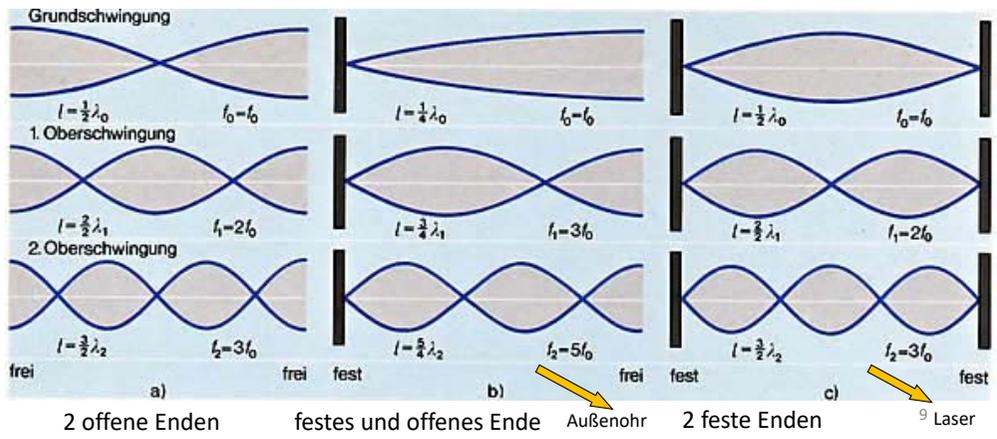
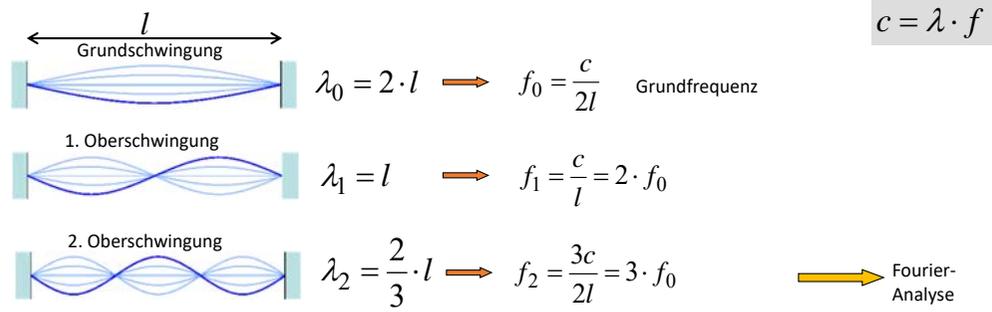


## Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers

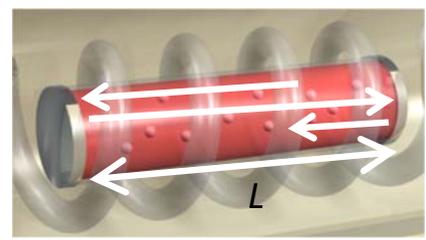


## Stehende Wellen



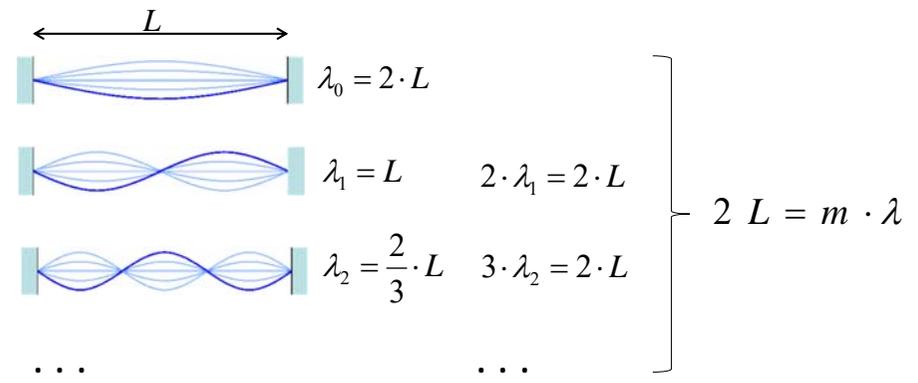


### Optischer Resonator



$$2L = m \lambda$$

Stehende Wellen in einem Resonator:



### Eigenschaften der Laserstrahlung

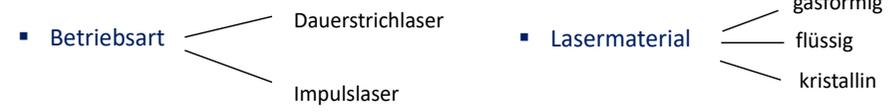
- ◇ monochromatisch  
 $\Delta f / f \approx 10^{-10}$
- ◇ kohärent
- ◇ geringe Divergenz  
 $\Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad}$

+

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

◇ polarisiert

### Lasertypen



### Lasertypen

Excimer-KrF (248 nm)  
 Argon (488/514 nm)  
 He-Ne (633 nm)  
 Rubin (694 nm)  
 GaAs (840 nm)  
 Nd-YAG (1,06 μm)  
 Er-YAG (1,6 μm)  
 CO<sub>2</sub> (10,6 μm)

Typical lasing wavelengths and relative power levels from a 4 Watt size Argon laser

## Medizinische Anwendungen

- ❖ Labordiagnostik — z.B. Mikroskopie, optische Sensoren
- ❖ Klinische Diagnostik — z.B. Endoskopie, Laser-Doppler
- ❖ „Soft laser“ Therapie — z.B. Biostimulation
- ❖ Photodynamische Therapie — z.B. Tumorthherapie
- ❖ Laserchirurgie — z.B. Haut, Augenchirurgie
- ❖ Laserpinsette — z.B. „molekulare Chirurgie“

## Verschiedene Lasertypen und ihre medizinischen Anwendungsfelder

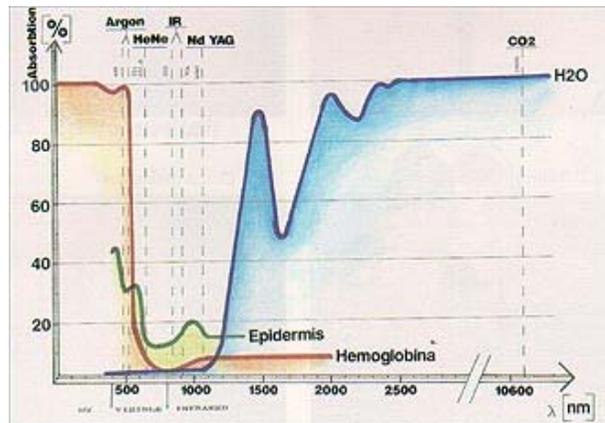
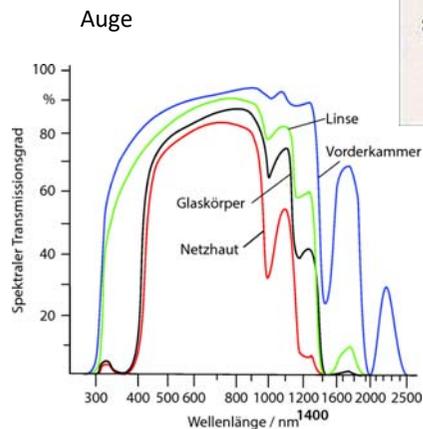
Lasertyp	Laser	Modus	Wellenlänge (nm)	Medizinische Anwendungsfelder
Festkörperlaser	Rubin	Gepulst	694	Dermatologie
	Nd:YAG	CW	1064	Chirurgie, Urologie, Gynäkologie, Neurochirurgie, Gastroenterologie, Pulmologie (hier auch Nd:YAG mit 1320 nm)
	Nd:YAG	Gepulst	1064	Ophthalmologie, Lithotripsie
	KTP	Gepulst	532	Plastische Chirurgie, Dermatologie, Urologie
	Er:YAG	Gepulst	2940	Dermatologie, Plastische Chirurgie, Zahnmedizin
Diodenlaser	Ho:YAG	Gepulst	2100	Chirurgie, Urologie, Orthopädie
	Alexandrit	Gepulst	755	Dermatologie
	Diode	CW	300–20.000	Chirurgie, Urologie, HNO, Zahnmedizin, Dermatologie (800, 810, 940, 980 nm), Photodynamische Therapie (630, 810 nm)
Gaslaser	CO <sub>2</sub>	CW	10.600	Chirurgie, Dermatologie, HNO, Gynäkologie, Neurochirurgie, Plastische Chirurgie
	Ar <sup>+</sup> , (Kr <sup>+</sup> )	CW	250–530, (350–800)	Dermatologie, Ophthalmologie, Photodynamische Therapie
	Excimer	Gepulst	157–351	Angiologie, Ophthalmologie
Flüssigkeitslaser	HeNe	CW	632	Low-Level-Lasertherapie
	FDL	Gepulst	570–630 (Rhodamin 6G)	Dermatologie (585 nm), Urologie (504 nm)
Freier-Elektronen-Laser	FEL	Quasi-CW/ gepulst	Durchstimmbar	Ophthalmologie, Otorhinolaryngologie, Neurochirurgie

CW continuous wave

Dauerstrich-Laser: ein Lasersystem mit kontinuierlichem, zeitlich konstant abgestrahltem Laserstrahl

Cappius, Schädel: Lasersysteme

## Absorption in Geweben



Energiequanten (Photonen) zwischen 400 und 1400 nm können die Netzhaut im Augenhintergrund erreichen

Es könnte fokussiert sein, so dass es an der Netzhaut etwa 100 000-mal heller ist

## Folgerungen der Absorption

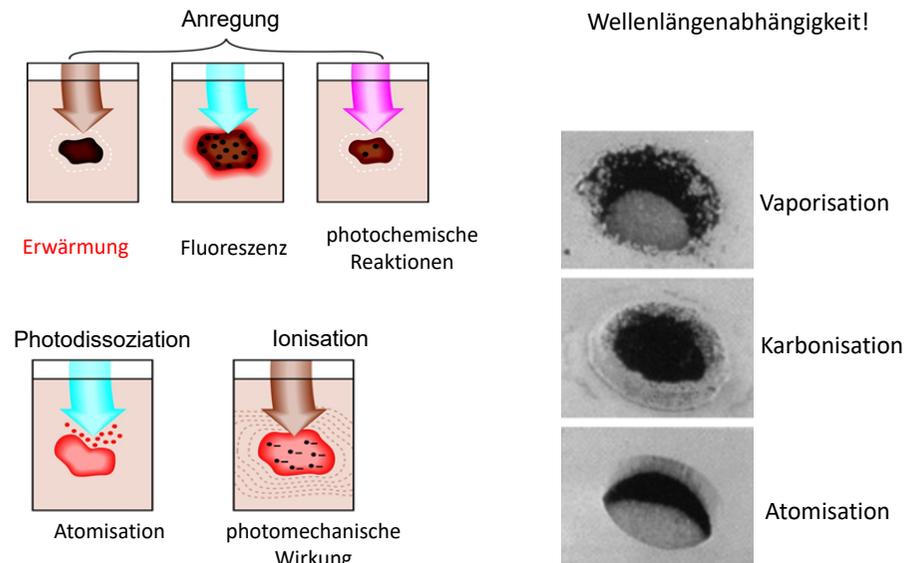


Abb. IX.1. im Lehrbuch

Abb. IX.2. im Lehrbuch

# Laserchirurgie

Grundlage: Absorption der Lichtenergie → **Erwärmung** des Gewebes

≈ 40 °C: **Laserthermie**

≈ 60-100 °C: **Koagulation**

Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.

≈ 150 °C: **Vaporisation**

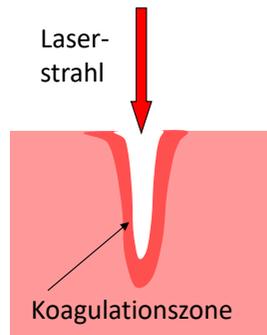
Wasser evaporiert explosionsartig.

≈ 300 °C: **Karbonisation**

Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

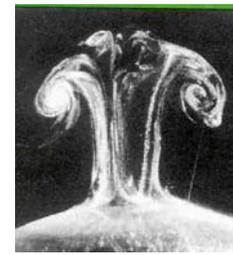
## Vorteile:

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

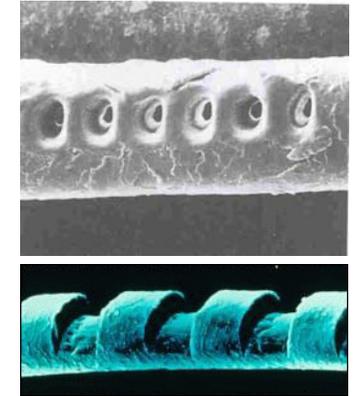


## Beispiele

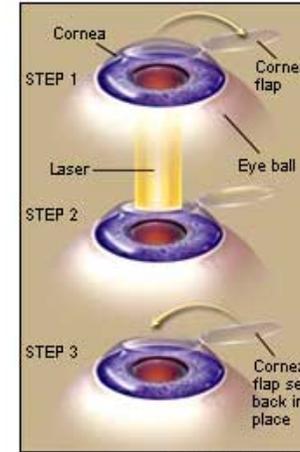
Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar

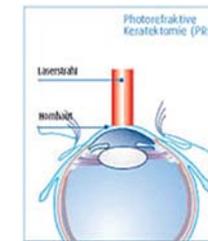


## LASIK



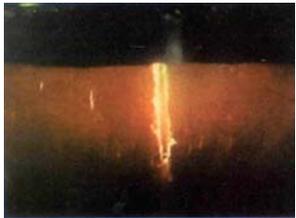
LASIK:

Laser In-situ Keratomileusis



**PRK: Photorefraktive Keratektomie**

Herzwandchirurgie



Beinvenen nach 2 Laserbehandlungen



Enthaarung



Kehlkopfchirurgie



Trommelfelldurchbohrung



Entfernung von Tätowierungen



# Zahnbohren



Zahnfleisch-Entfernung



## Zahnaufhellung, Zahnbleichen



Argon Laser



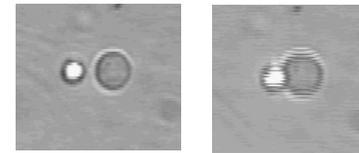
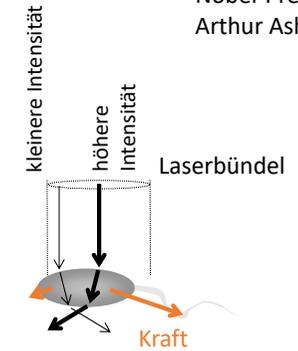
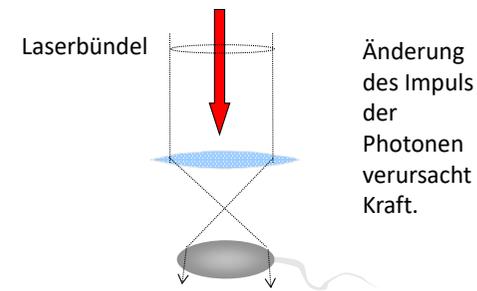
Ein gumischutz wird über die Zähne gelegt, um das Zahnfleisch zu schützen

<https://www.youtube.com/watch?v=NW6XI5JvGsE>

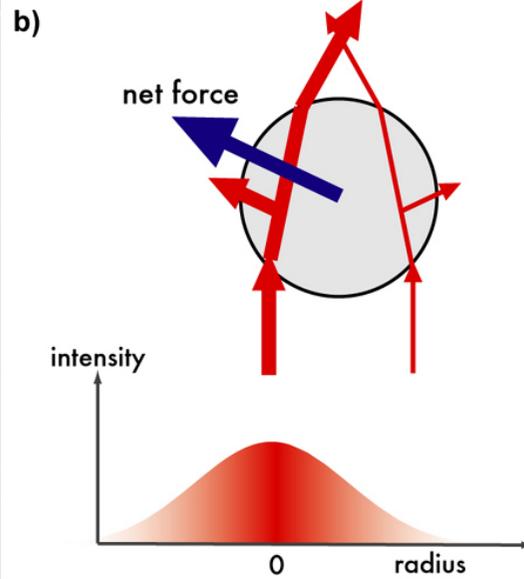
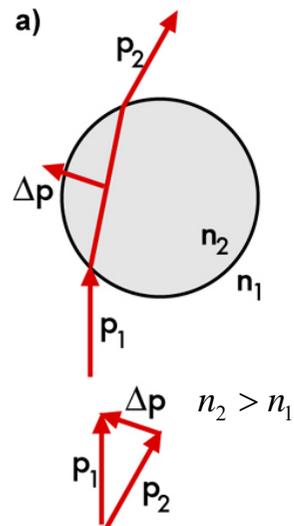
21

## Laserpinzette "molekulare Chirurgie"

Nobel-Preis in 2018  
Arthur Ashkin



Resultierende Kraft zeigt immer gegen die Mitte des Bündels. Bei Bewegung des Bündels, Objekt geht mit.



Wird das Licht von der Strahlmitte nach außen gebeugt, bewegt sich das Partikel zur Strahlmitte hin.

23

### LASER

- induzierte Emission
- Boltzmann-Verteilung
- Besetzungsinversion
- Laserniveau
- Pumpen
- stehende Welle
- optischer Resonator
- Eigenschaften der Laserstrahlung
  - monochromatisch
  - kohärent
  - geringe Divergenz
  - hohe Intensität
  - polarisiert
- Anwendungen
  - Laserchirurgie
  - Zahnbohren
  - Zahnaufhellung
  - Zahnbleichen
  - Vorteile der Laserchirurgie
  - Laserpinzette