

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

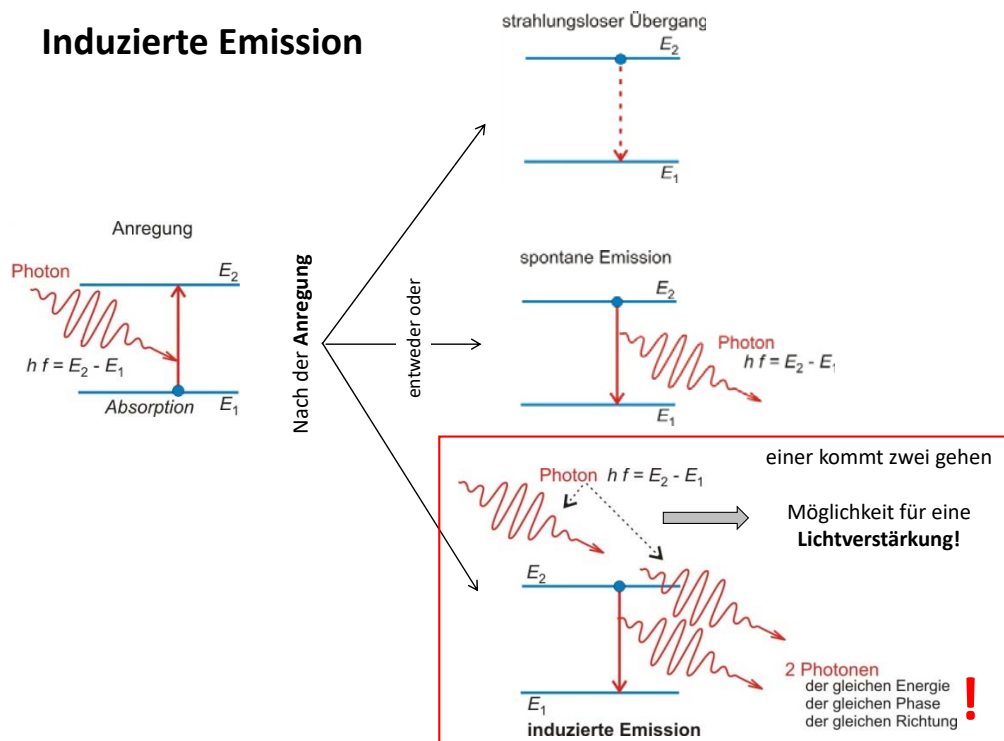
Lasertypen

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

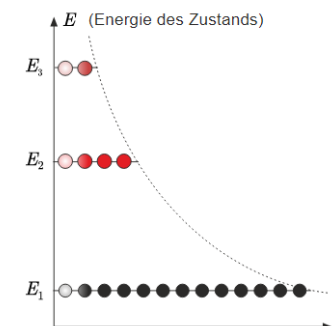
k Boltzmann-Konstante

T absolute Temperatur

kT mittlere kinetische Energie eines Atoms bei der Temperatur T

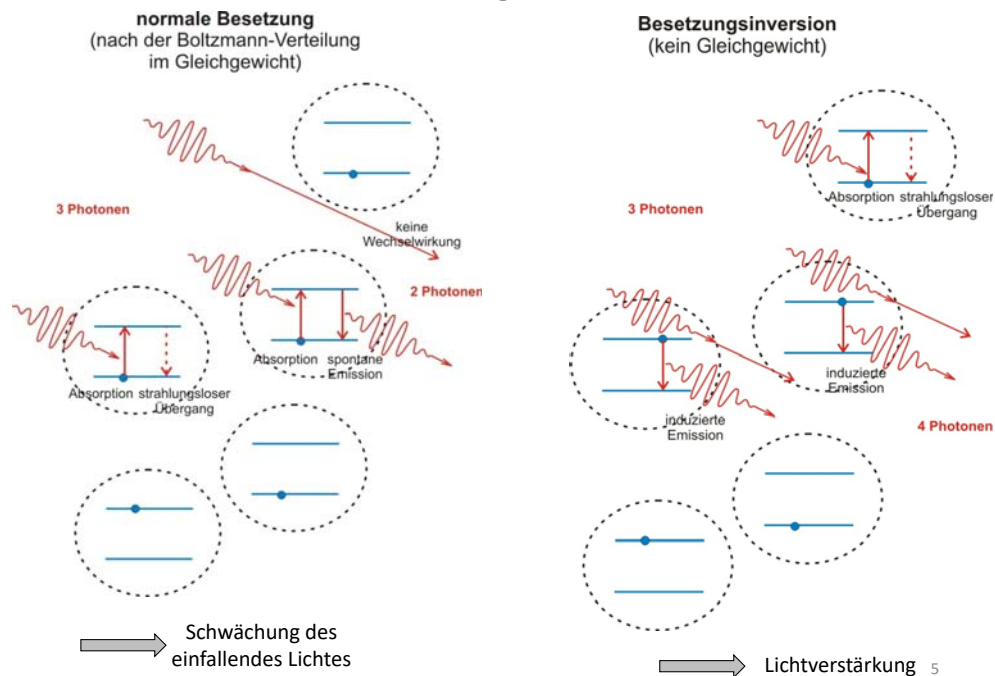
Besetzungsinversion (Populationsumkehr)

es befinden sich mehr Moleküle im angeregten Zustand als im Grundzustand

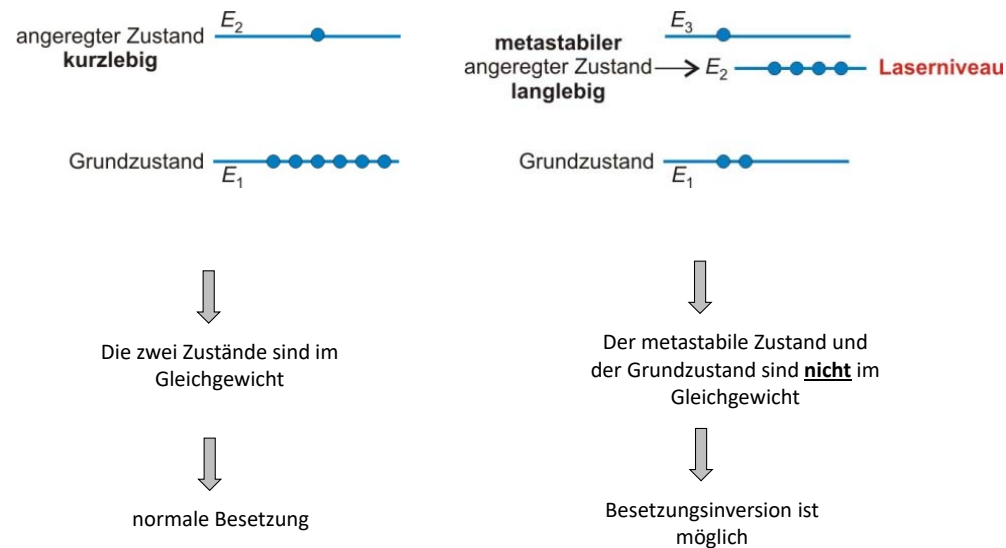


4

Besetzungsinversion

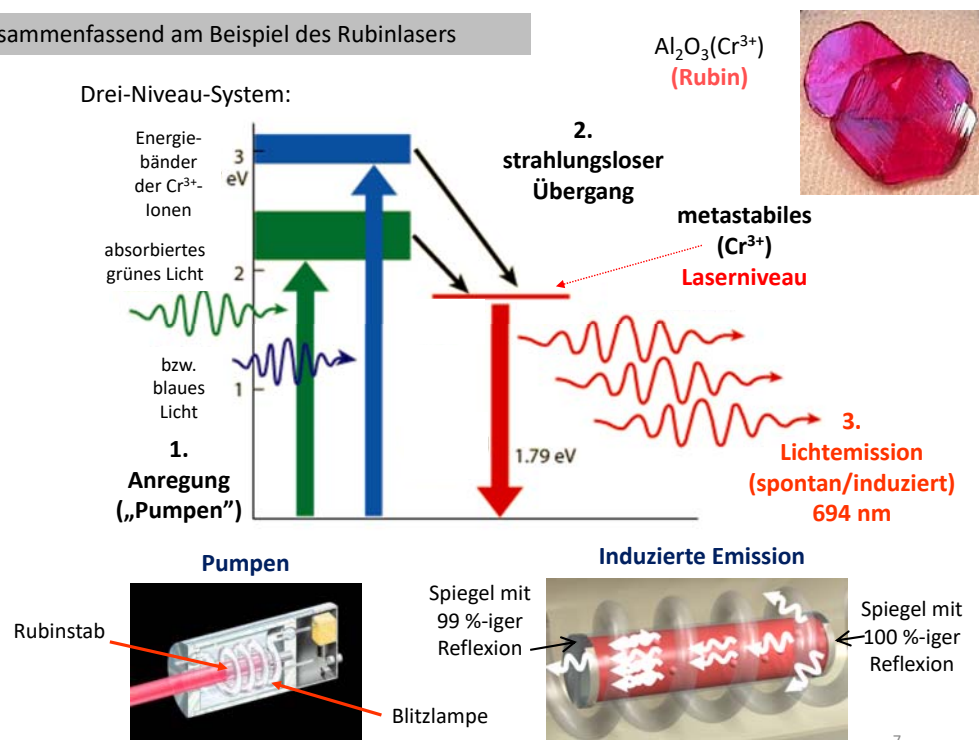


Laserniveau



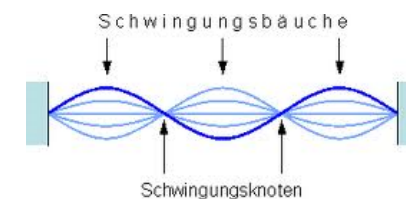
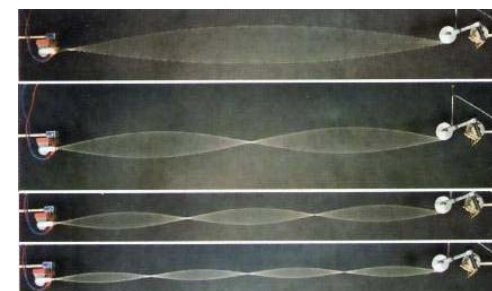
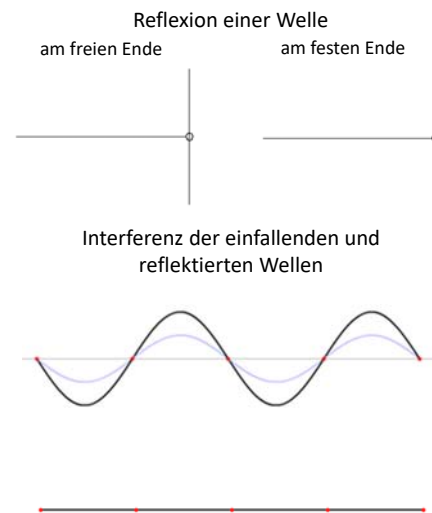
6

Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers

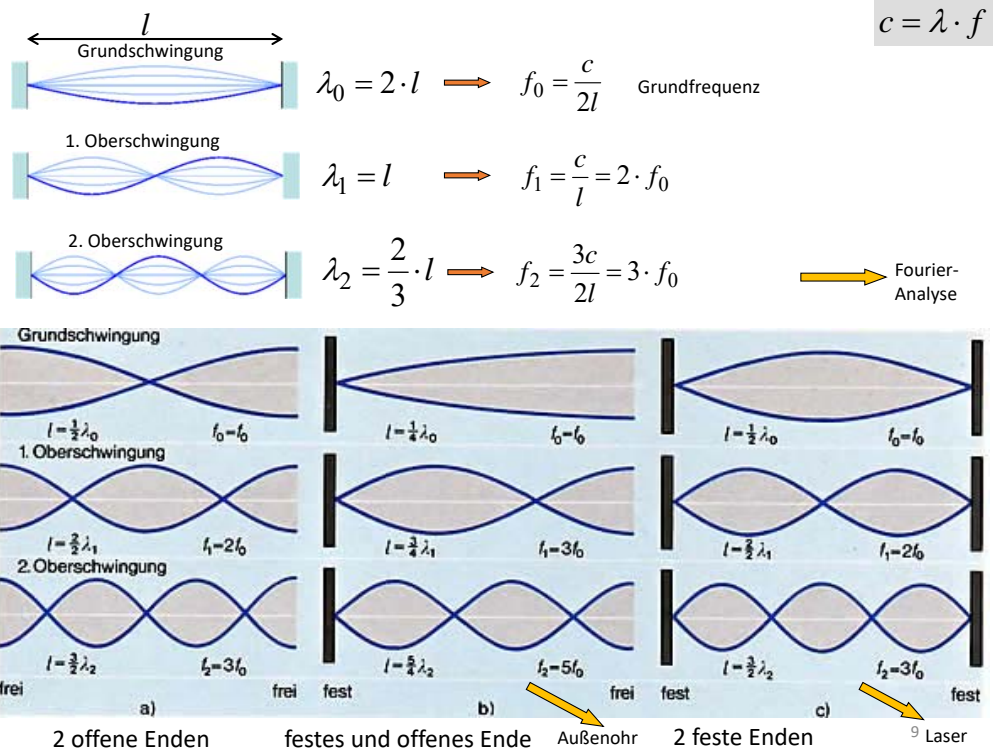


7

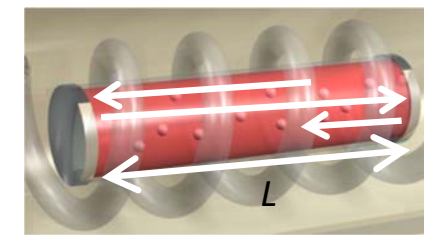
Stehende Wellen



8

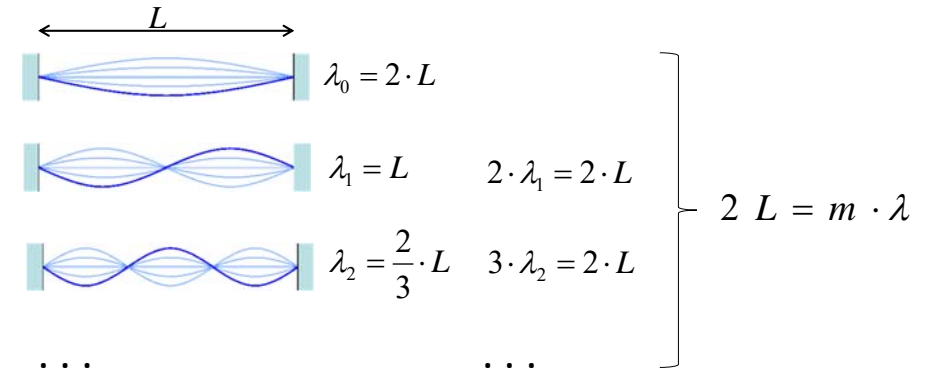


Optischer Resonator



$$2L = m \lambda$$

Stehende Wellen in einem Resonator:

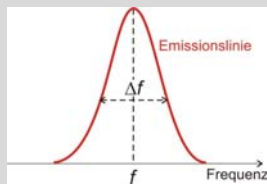


10

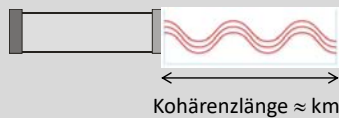
Eigenschaften der Laserstrahlung

◇ monochromatisch

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



◇ kohärent



◇ geringe Divergenz

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

◇ hohe Intensität

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

◇ polarisiert

Lasertypen

▪ Betriebsart

Dauerstrichlaser

Impulslaser

▪ Lasermaterial

gasförmig

flüssig

kristallin

11

▪ Laserlinien



Excimer-KrF (248 nm)

Argon (488/514 nm)

He-Ne (633 nm)

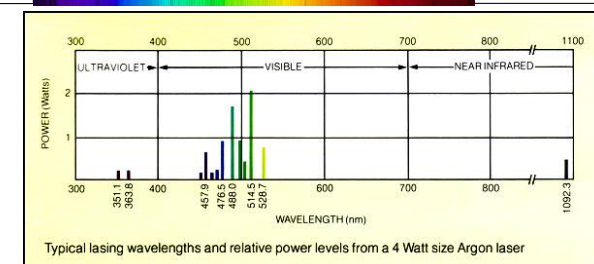
Rubin (694 nm)

GaAs (840 nm)

Nd-YAG (1,06 μm)

Er-YAG (1,6 μm)

CO₂ (10,6 μm)



12

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 ₂	CW	10.600	Chirurgie, Dermatologie, HNO, Gynäkologie, Neurochirurgie, Plastische Chirurgie
	Ar ⁺ , (Kr ⁺)	CW	250–530, (350–800)	Dermatologie, Ophthalmologie, Photodynamische Therapie
Flüssigkeitslaser	Excimer	Gepulst	157–351	Angiologie, Ophthalmologie
	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

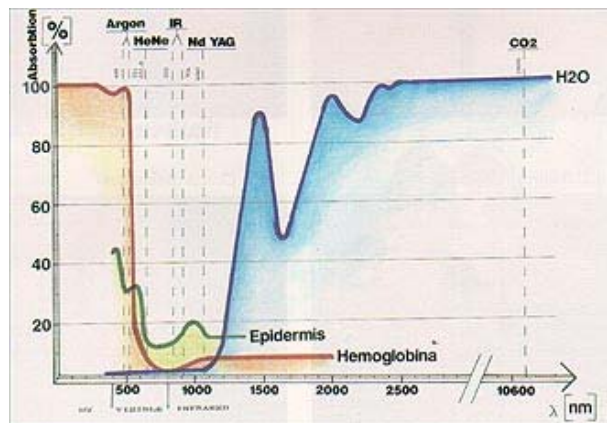
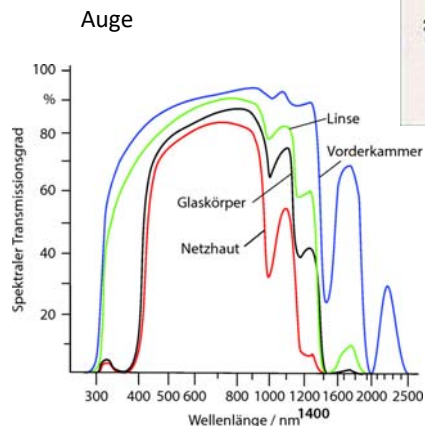
CW continuous wave

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

Cappius, Schädel: Lasersysteme

14

Absorption in Geweben

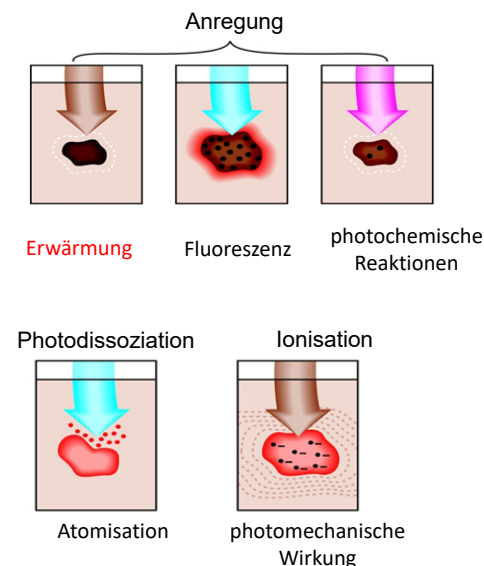


Energiequanten (Photonen) zwischen 400 und 1400 nm können die Netzhaut im Augenhintergrund erreichen

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

15

Folgerungen der Absorption



Wellenlängenabhängigkeit!

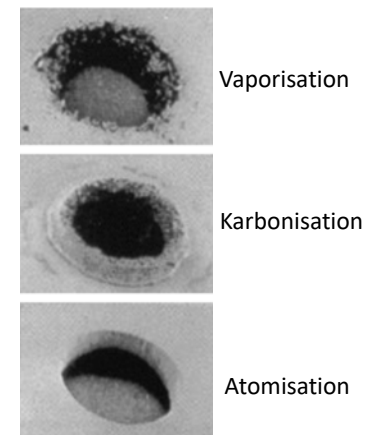


Abb. IX.1. im Lehrbuch

Abb. IX.2. im Lehrbuch

16

Laserchirurgie

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

≈ 40 °C: **Laserthermie**

≈ 60-100 °C: **Koagulation**

Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.

≈ 150 °C: **Vaporisation**

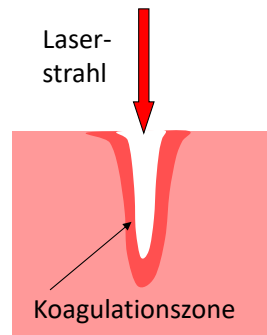
Wasser evaporiert explosionsartig.

≈ 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)

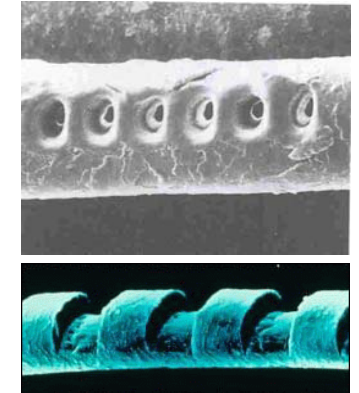


Beispiele

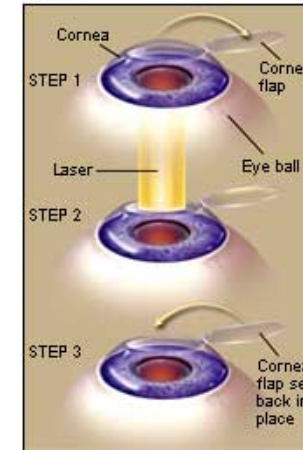
Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar

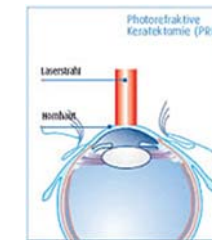


LASIK



LASIK:

Laser In-situ Keratomileusis



PRK: Photorefraktive Keratektomie

18

Herzwandchirurgie



Beinvenen nach 2 Laserbehandlungen



Enthaarung

Kehlkopfchirurgie



Trommelfelldurchbohrung



Entfernung von Tätowierungen



19

Zahnbohren



Zahnfleisch-Entfernung



20

Zahnaufhellung, Zahnbleichen



Argon Laser



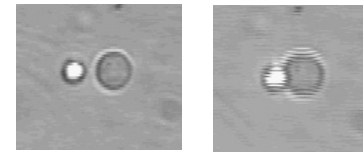
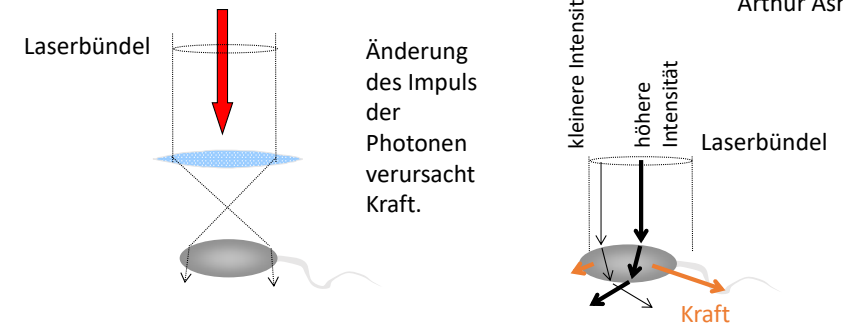
Ein gumischutz wird über die Zähne gelegt, um das Zahnfleisch zu schützen

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

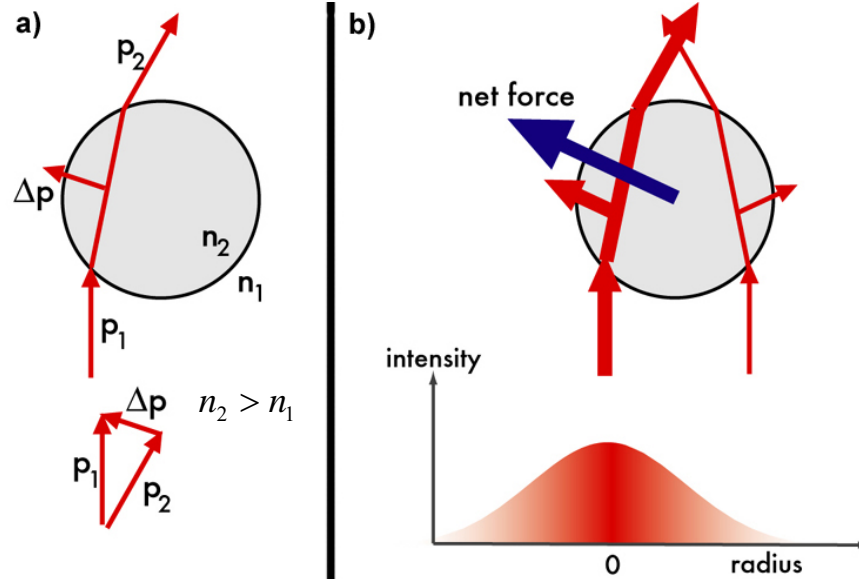
21

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