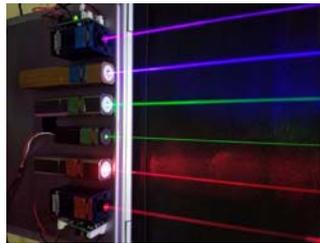


# LASER



KAD 2021.10.19 1

# LASER

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

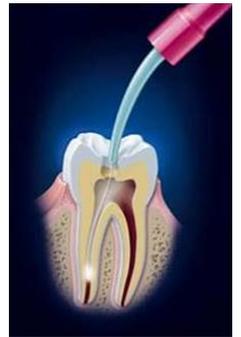
Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung  
eine Art der Lumineszenz

1. Entstehung des Laserlichtes
  - Induzierte Emission
  - Besetzungsinversion
  - Laserniveau
  - Pumpen
  - Positive Rückkopplung
  - Optischer Resonator

2. Eigenschaften der Laserstrahlung

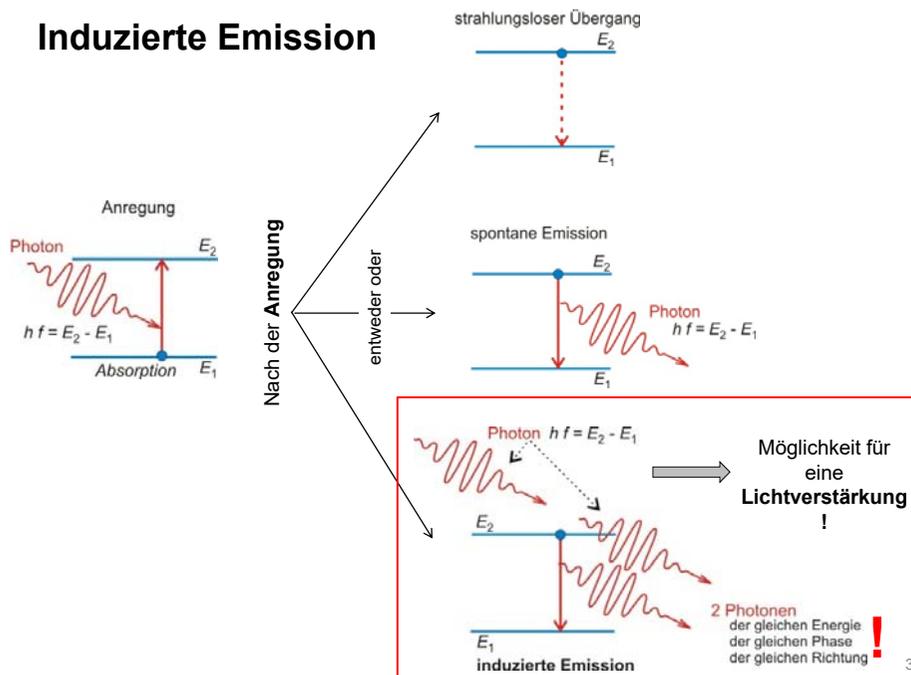
3. Lasertypen

4. Medizinische Anwendungen



2

## Induzierte Emission



3

## Besetzungsmöglichkeiten

**Normale Besetzung**

im thermischen Gleichgewicht

**Besetzungsinversion (Populationsumkehr)**

es befinden sich mehr Moleküle im angeregten Zustand als im Grundzustand

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

$N$  Anzahl der Atome im angeregten Zustand

$N_0$  Anzahl der Atome im Grundzustand

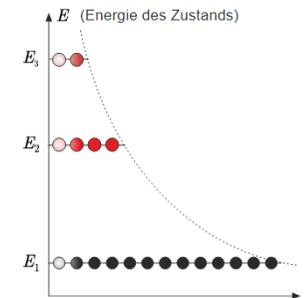
$E$  Energie der angeregten Atome

$E_0$  Energie der Atome im Grundzustand

$k$  Boltzmann-Konstante

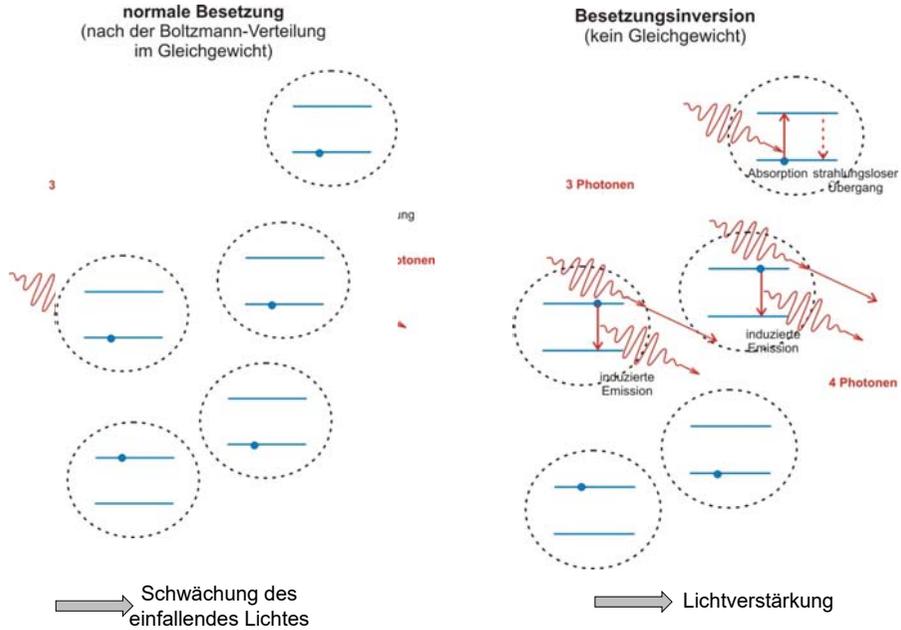
$T$  absolute Temperatur

$kT$  mittlere kinetische Energie eines Atoms bei der Temperatur  $T$



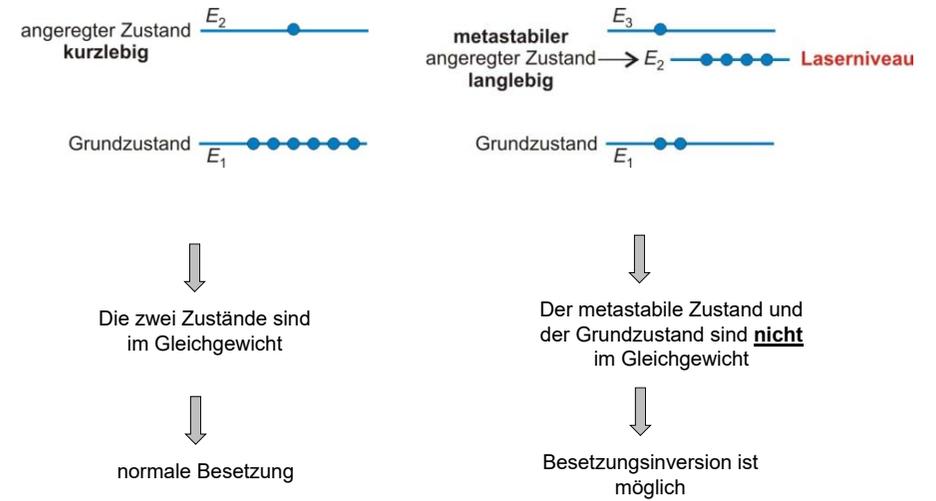
4

# Besetzungsinversion



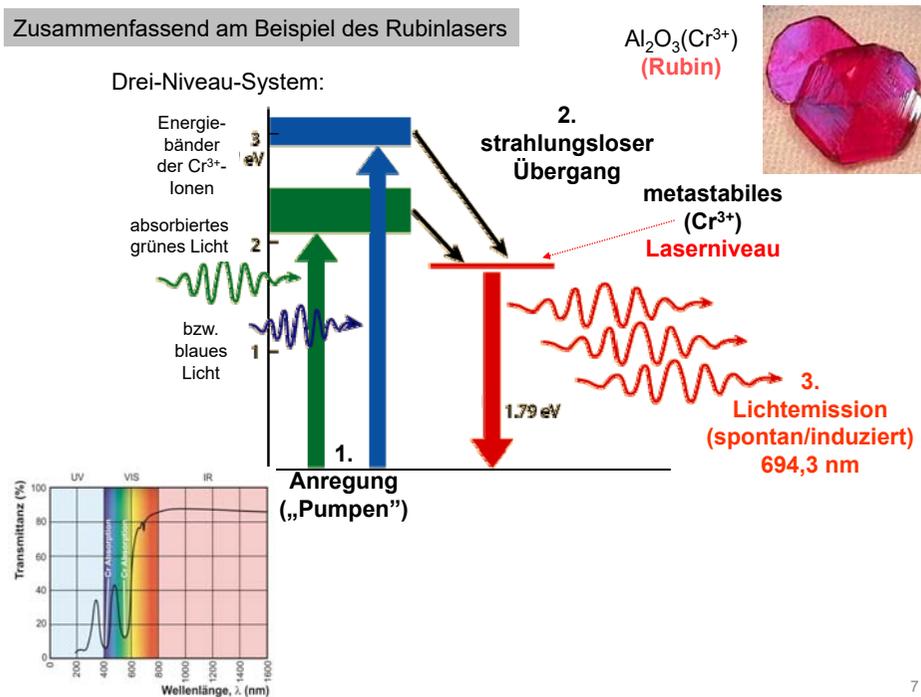
5

# Laserniveau



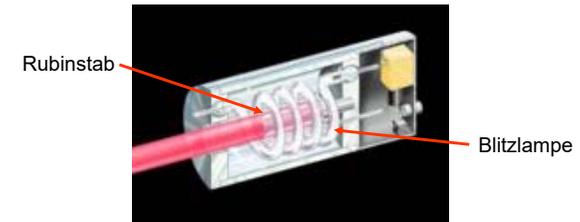
6

## Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers

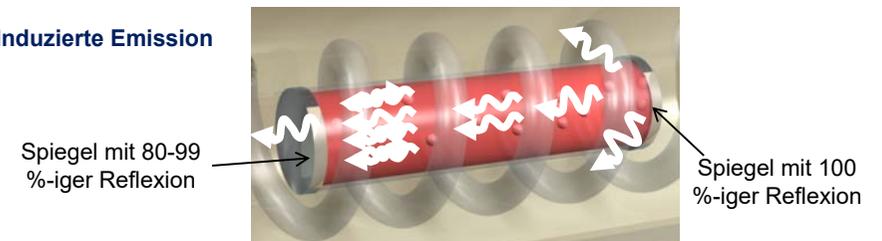


7

## Pumpen



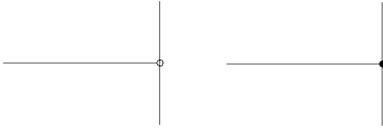
## Induzierte Emission



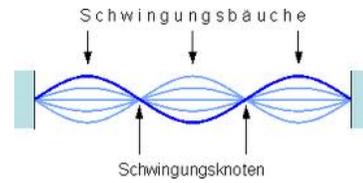
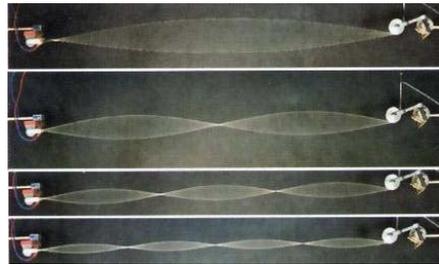
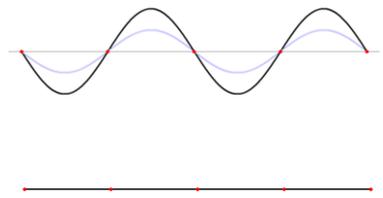
8

## Stehende Wellen

Reflexion einer Welle  
am freien Ende      am festen Ende

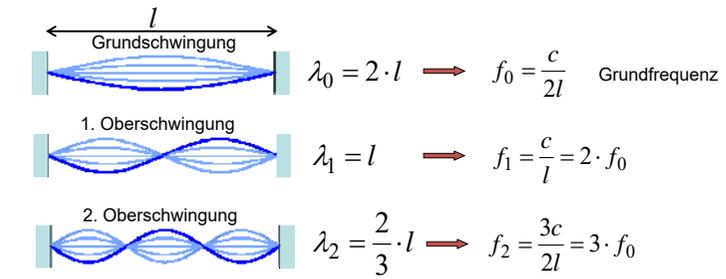


Interferenz der einfallenden  
und reflektierten Wellen

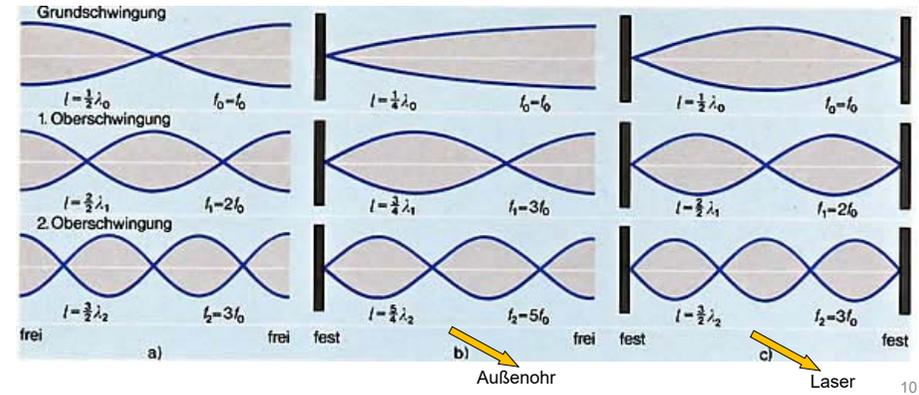


9

$$c = \lambda \cdot f$$

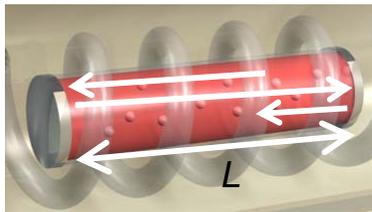


Fourier-Analyse



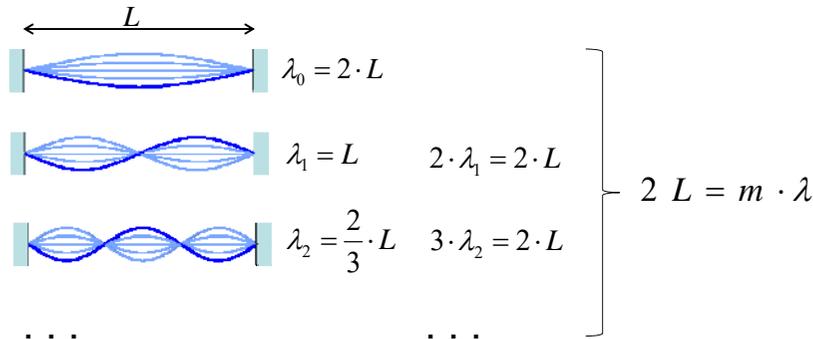
10

## Optischer Resonator



$$2L = m \lambda$$

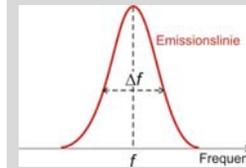
Stehende Wellen in  
einem Resonator:



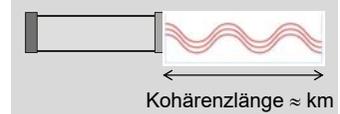
11

## 2. 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

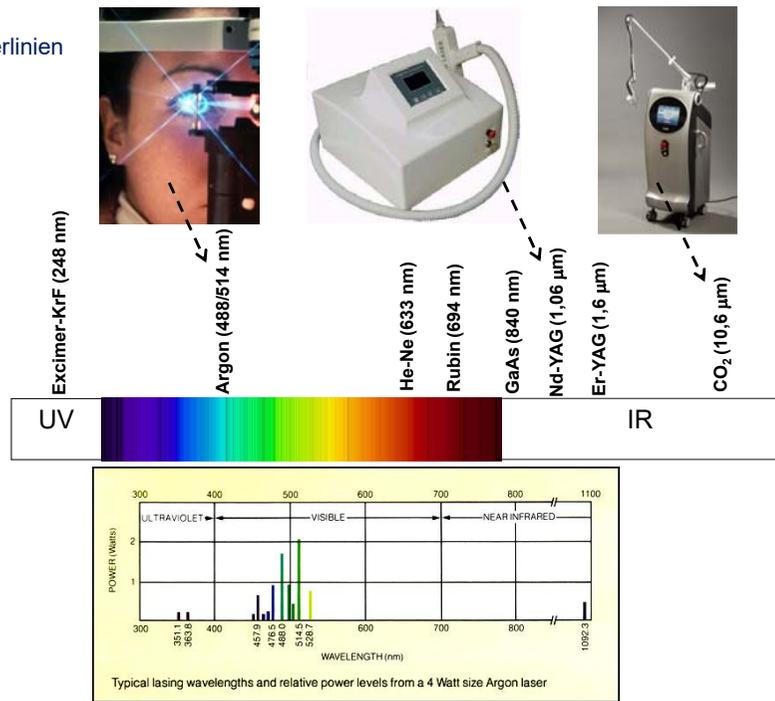
## 3. Lasertypen

- Betriebsart
  - Dauerstrichlaser
  - Impulslaser

- Lasermaterial
  - gasförmig
  - flüssig
  - kristallin

12

▪ Laserlinien



13

## 4. 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“

Ergänzungsmaterial

## Verschiedene Lasertypen und ihre medizinischen Anwendungsfelder

Lasertyp	Lasertyp	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
	HeNe	CW	632	Low-Level-Lasertherapie
Flüssigkeitslaser	FDL	Gepulst	570–630 (Rhodamin 6G)	Dermatologie (585 nm), Urologie (504 nm)
Freier-Elektronen-Laser	FEL	Quasi-CW/gepulst	Durchstimmbare	Ophthalmologie, Otorhinolaryngologie, Neurochirurgie

CW continuous wave

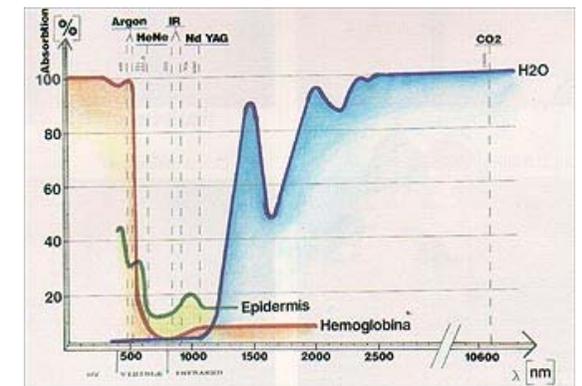
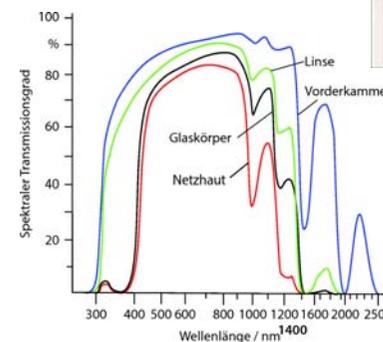
Dauerstrich-Laser: ein Lasersystem mit kontinuierlichem, zeitlich konstant abgestrahltem Laserstrahl

Cappius, Schädel: Lasersysteme

15

## Absorption in Geweben

### Auge

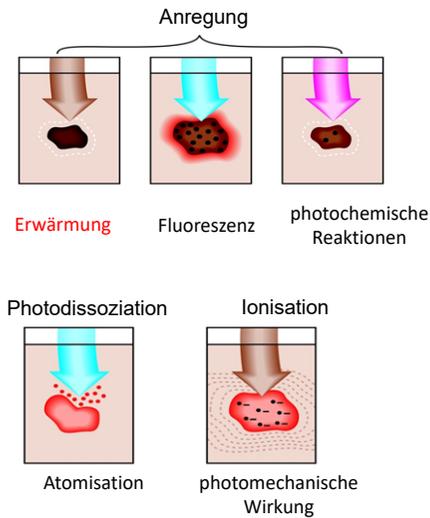


Energiequanten (Photonen) zwischen 400 und 1400 nm können die Netzhaut im Augenhintergrund erreichen

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

16

# Folgerungen der Absorption



Wellenlängenabhängigkeit!

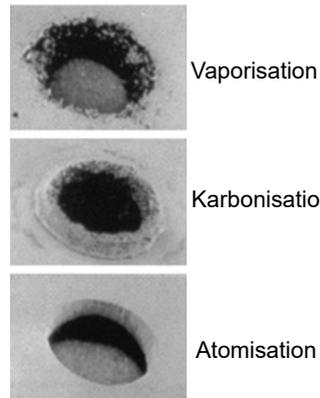


Abb. IX.1. im Lehrbuch

Abb. IX.2. im Lehrbuch

# Laserchirurgie

Grundlage:

Absorption der Lichtenergie → Erwärmung des Gewebes

≈ 40 °C: **Laserthermie**

≈ 60-100 °C: **Koagulation**

≈ 150 °C: **Vaporisation**

≈ 300 °C: **Karbonisation**

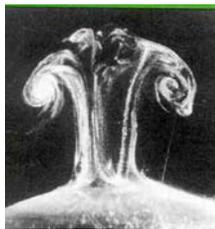
Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.

Wasser evaporiert explosionsartig.

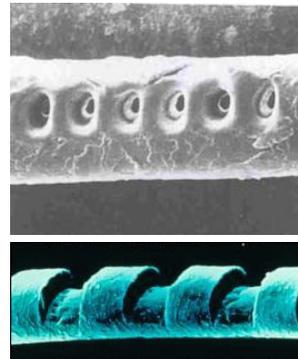
Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

## Beispiele

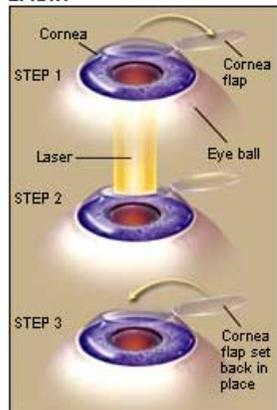
Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar

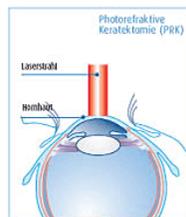


## LASIK



© 2003 WebMD Inc.

LASIK: Laser In-situ Keratomileusis



PRK: Photorefraktive Keratektomie



Port Wine Stain



vor der Behandlung nach der Behandlung



Laser Resurfacing

Enthaarung



Entfernung von Tätowierungen

### Herzwandchirurgie



Leg Veins After 2 Laser Treatments



### Kehlkopfchirurgie



### Trommelfelldurchbohrung



### Zahnbohren



### Zahnfleisch-Entfernung



### Zahnaufhellung, Zahnbleichen



Argon Laser



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

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

### Veterinärmedizinische Beispiele



infizierte Tarsitis



nach 5 Laser-  
bestrahlungen



nach 10 Laser-  
bestrahlungen



Tumor in der Mundhöhle



Nase einer Katze mit Tumor



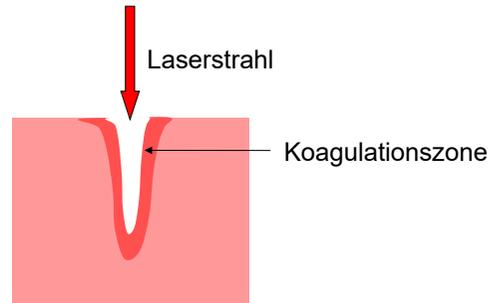
nach der Behandlung —  
Vaporisation mit Nd:YAG



nach 6 Wochen

## Vorteile der Laserchirurgie

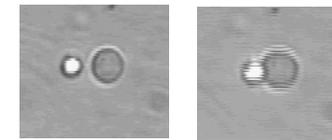
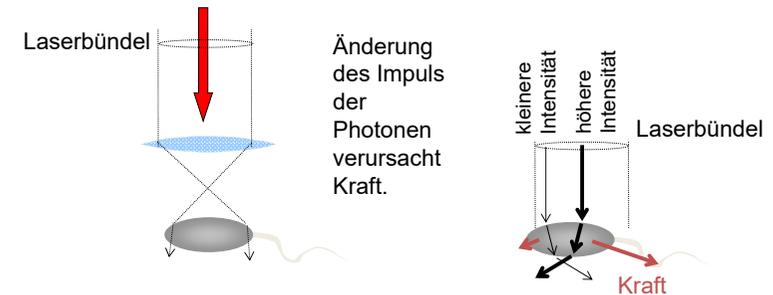
- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im Innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben (Wellenlänge)



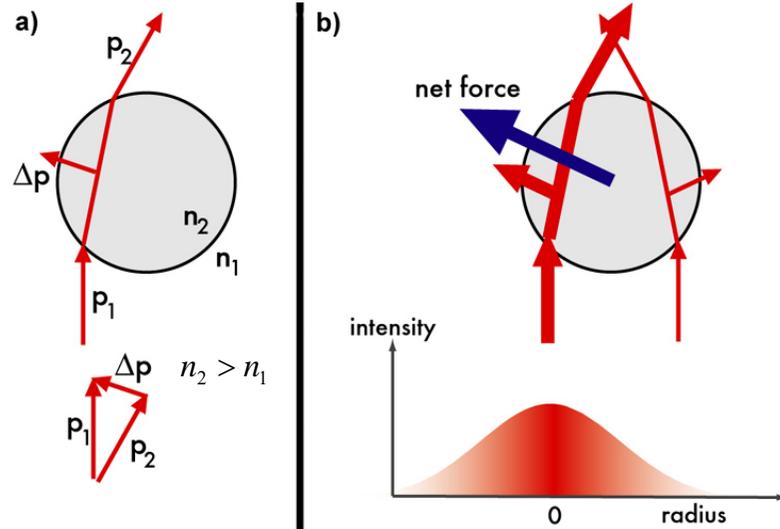
25

## Laserpinzette

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.

27



Ergänzungsmaterial

## Laserpinzette

in dem Institut für Biophysik und Strahlenbiologie

Die Zusammenhänge zwischen Kardiomyopathie und der Mutationen des Riesenproteins Titin werden im Institut für Biophysik und Strahlenbiologie untersucht. Dr. Miklós Kellermayer, Institutsdirektor sagte folgendes: diese Untersuchungen sind nötig, weil die Mutationen des Riesenproteins Titin, die auch bei der Regelung der Herzmuskelkontraktion eine bedeutende Rolle spielen, eine zum Herzversagen führenden Kardiomyopathie verursachen können. Die mehrstufigen biophysischen Untersuchungen sind unter anderem mit einem neu entwickelten und installierten **Laserpinzetten-Gerät** durchgeführt.



28