

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

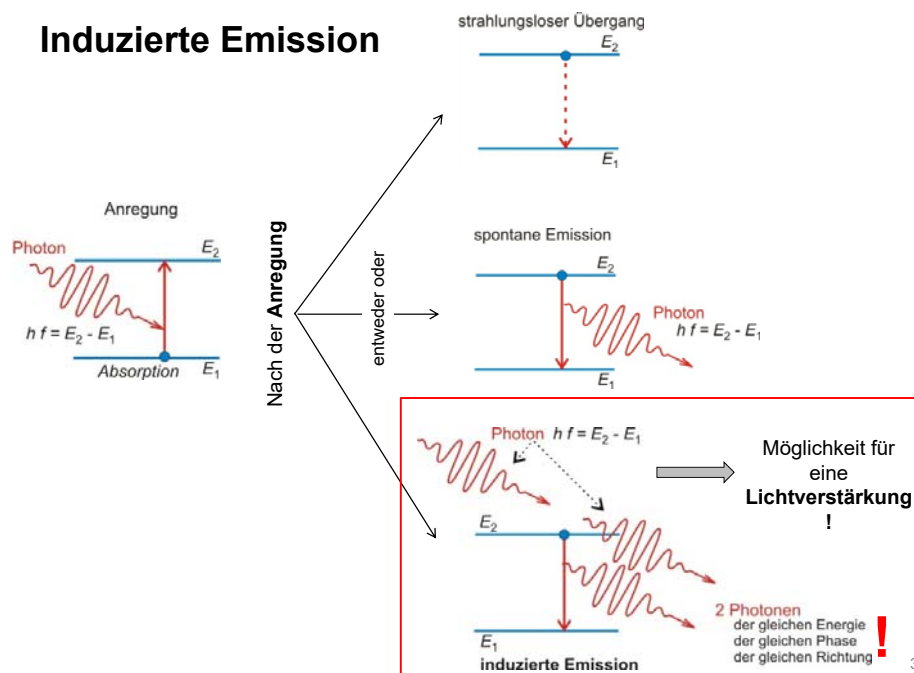
3. Lasertypen

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

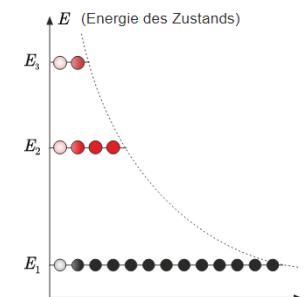
E Energie der angeregten Atome

E_0 Energie der Atome im Grundzustand

k Boltzmann-Konstante

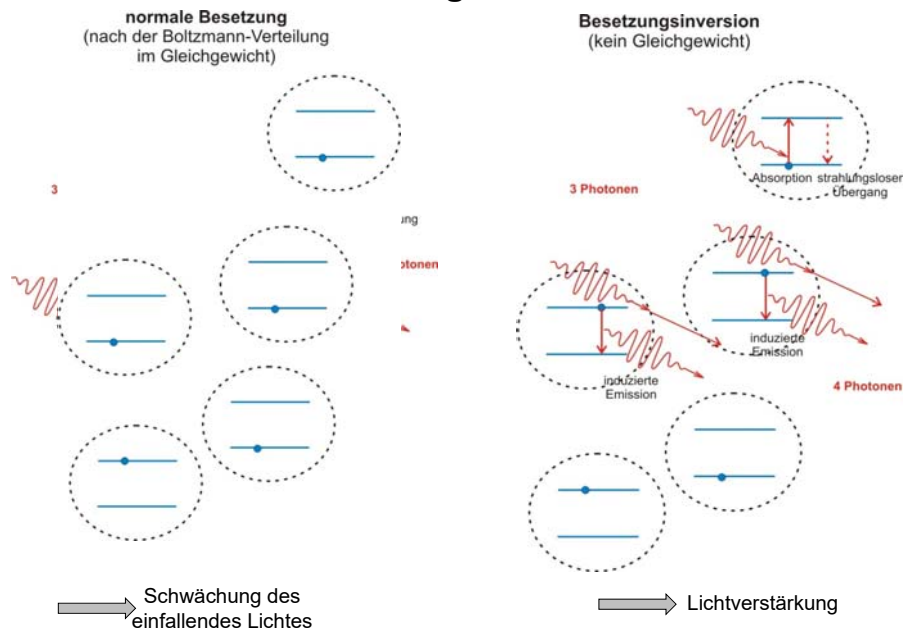
T absolute Temperatur

kT mittlere kinetische Energie eines Atoms bei der Temperatur T



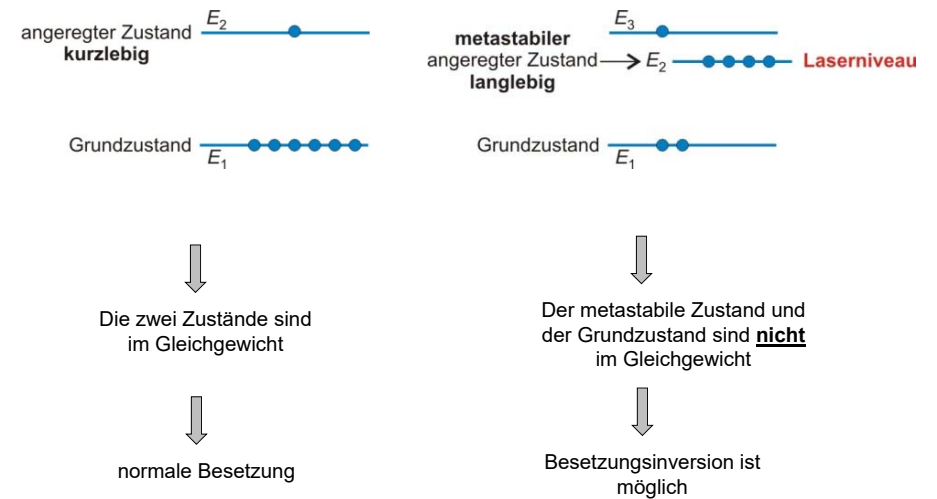
4

Besetzungsinversion



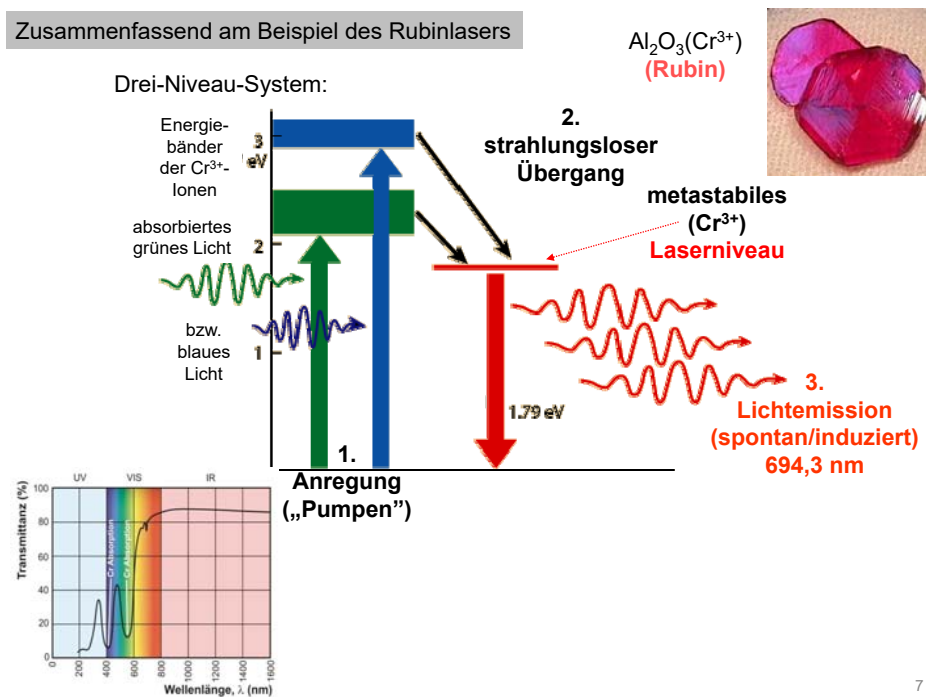
5

Laserniveau



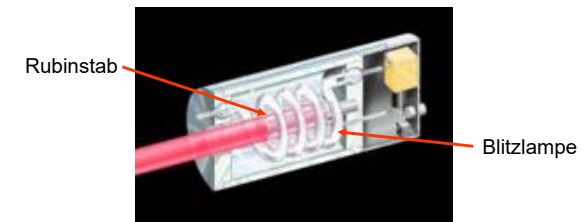
6

Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers

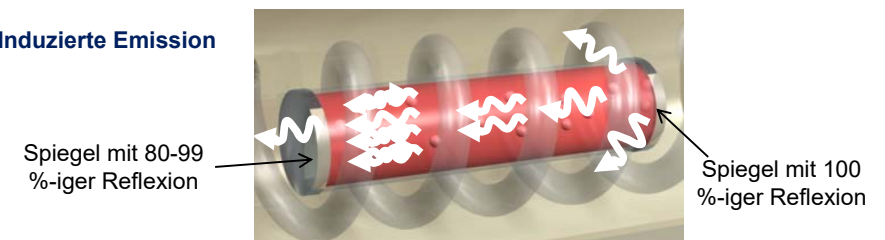


7

Pumpen

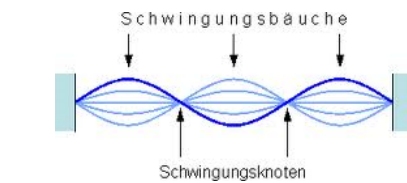


Induzierte Emission



8

Stehende Wellen



9

Diagram illustrating the first three harmonics of a string fixed at both ends, showing the relationship between wavelength (λ) and frequency (f).

Speed of wave propagation: $c = \lambda \cdot f$

1. Grundschwingung (Fundamental Frequency):

- Wavelength: $\lambda_0 = 2 \cdot l$
- Frequency: $f_0 = \frac{c}{2l}$
- Label: Grundfrequenz

2. 1. Oberschwingung (First Harmonic):

- Wavelength: $\lambda_1 = l$
- Frequency: $f_1 = \frac{c}{l} = 2 \cdot f_0$

3. 2. Oberschwingung (Second Harmonic):

- Wavelength: $\lambda_2 = \frac{2}{3} \cdot l$
- Frequency: $f_2 = \frac{3c}{2l} = 3 \cdot f_0$

Yellow arrow pointing right: Fourier-Analyse

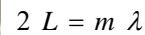
Das Diagramm zeigt die Berechnung der Wellenlänge λ_0 aus der Schwingenlänge l für verschiedene Randbedingungen. Es ist in drei Spalten unterteilt: 'frei', 'fest' und 'fest-frei'. Die Zeilen zeigen die Grundschwingung und die ersten beiden Oberschwingungen.

Spalte	Grundschwingung	1. Oberschwingung	2. Oberschwingung
frei	$l = \frac{1}{2} \lambda_0$ $l_0 = l_0$	$l = \frac{3}{2} \lambda_1$ $l_1 = 2 l_0$	$l = \frac{5}{2} \lambda_2$ $l_2 = 3 l_0$
fest	$l = \frac{1}{4} \lambda_0$ $l_0 = l_0$	$l = \frac{3}{4} \lambda_1$ $l_1 = 3 l_0$	$l = \frac{5}{4} \lambda_2$ $l_2 = 5 l_0$
fest-frei	$l = \frac{1}{2} \lambda_0$ $l_0 = l_0$	$l = \frac{3}{2} \lambda_1$ $l_1 = 2 l_0$	$l = \frac{5}{2} \lambda_2$ $l_2 = 3 l_0$

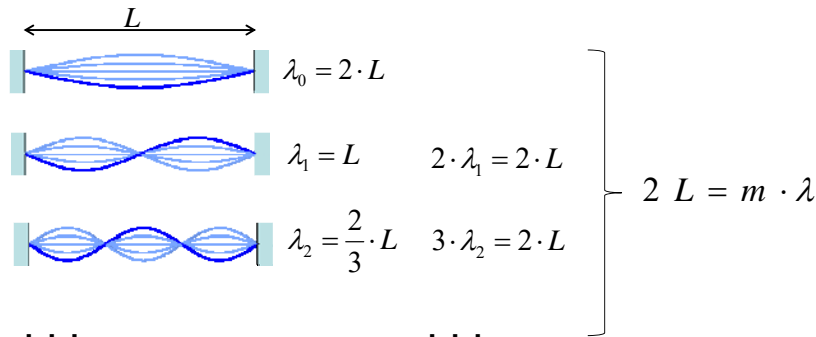
Ein gelber Pfeil weist auf 'Außenrohr' und ein roter Pfeil auf 'Laser'.

10

Optischer Resonator



Stehende Wellen in einem Resonator:



11

2. Eigenschaften der Laserstrahlung

The diagram shows a red bell-shaped curve representing a spectral line profile. The horizontal axis is labeled 'Frequenz' (Frequency). The peak of the curve is marked with a vertical dashed line extending to the label 'f' on the axis. A horizontal dashed line across the curve is labeled Δf , indicating a frequency interval. The text 'Emissionslinie' (Emission line) is written in red above the curve.

A diagram of a laser cavity, represented by two vertical mirrors. Inside the cavity, a red wave packet is shown. Below the wave packet, a double-headed arrow indicates its length, labeled "Kohärenzlänge \approx km".

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

+

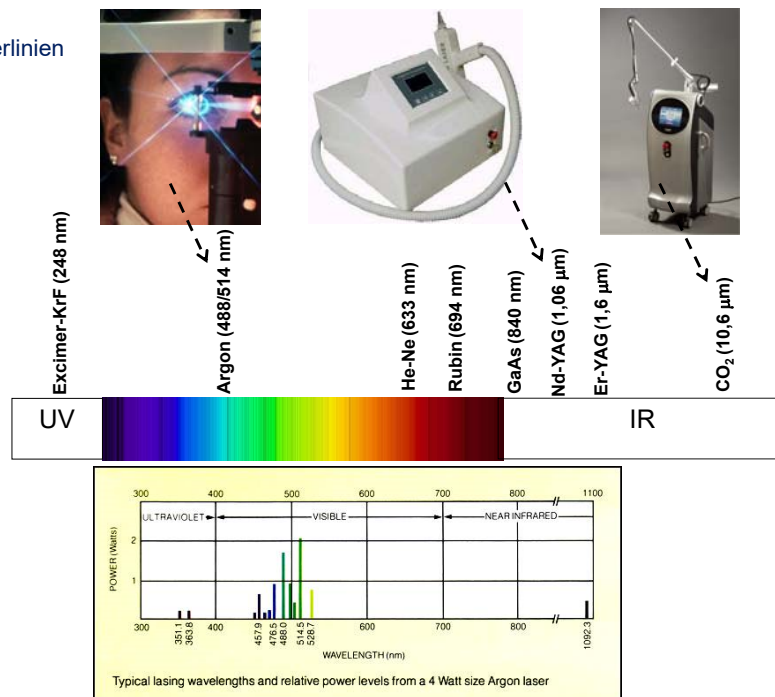
✧ polarisiert

3. Lasertypen

- 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	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
Gaslaser	Diode	CW	300–20.000	Chirurgie, Urologie, HNO, Zahnmedizin, Dermatologie (800, 810, 940, 980 nm), Photodynamische Therapie (630, 810 nm)
	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
Freier-Elektronen-Laser	FDL	Gepulst	570–630 (Rhodamin 6G)	Dermatologie (585 nm), Urologie (504 nm)
	FEL	Quasi-CW/gepulst	Durchstimmbar	Ophthalmologie, Otorhinolaryngologie, Neurochirurgie

CW continuous wave

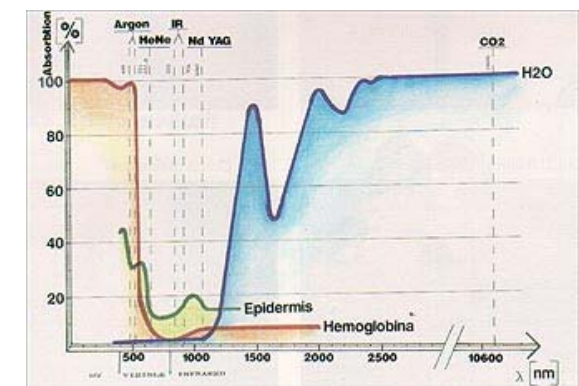
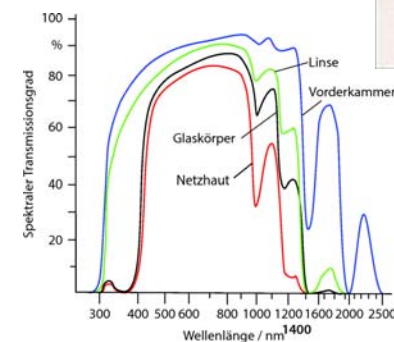
Dauerstrich-Laser: ein Lasersystem mit kontinuierlichem, zeitlich konstant abgestrahltem Laserstrahl

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

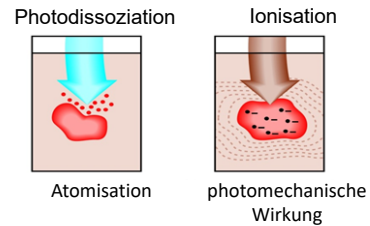
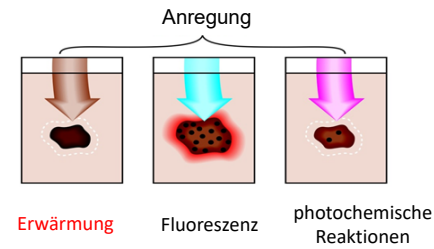


Abb. IX.1. im Lehrbuch

Wellenlängenabhängigkeit!

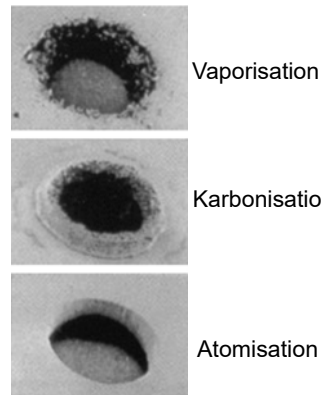


Abb. IX.2. im Lehrbuch

17

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**

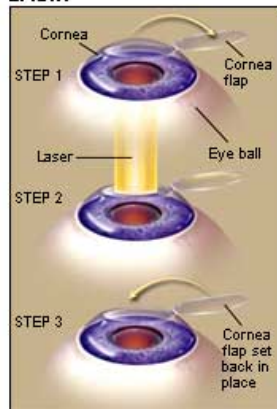
Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

Beispiele

Laserbehandlung der Hornhaut

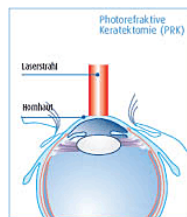


LASIK



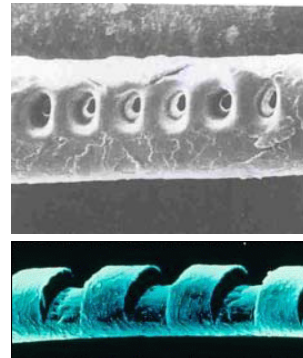
© 2003 WebMD Inc.

LASIK:
Laser In-situ
Keratomileusis



PRK: Photorefraktive Keratektomie

Laserbohrungen durch ein menschliches Haar



19



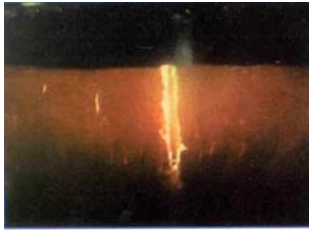
Enthaarung



Entfernung von Tätowierungen

20

Herzwandchirurgie



Leg Veins After 2 Laser Treatments



Kehlkopfchirurgie



Trommelfelldurchbohrung



21

Zahnbohren



Zahnfleisch-Entfernung



22

Zahnaufhellung, Zahnbleichen



Argon Laser



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

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

23

Veterinärmedizinische Beispiele



infizierte Tarsitis

nach 5 Laser-
bestrahlungen

nach 10 Laser-
bestrahlungen

Tumor in der Mundhöhle



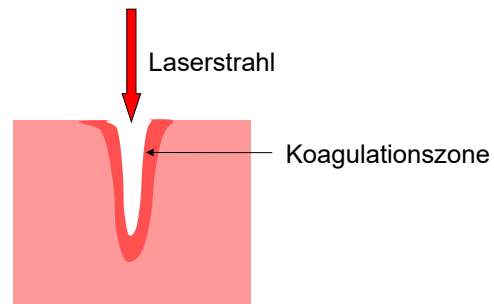
Nase einer Katze mit Tumor

nach der Behandlung —
Vaporisation mit Nd:YAG

nach 6 Wochen

Vorteile der Laserchirurgie

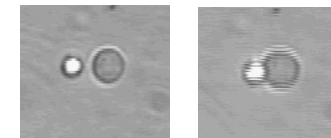
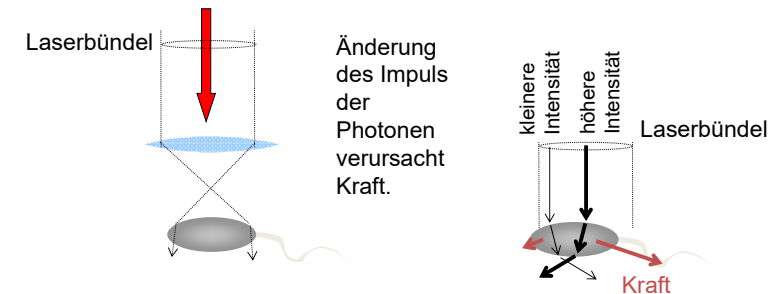
- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im Innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben (Wellenlänge)



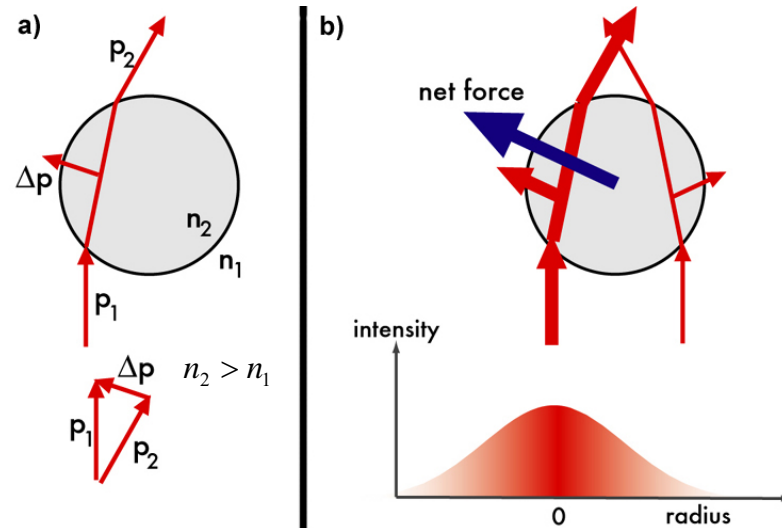
25

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