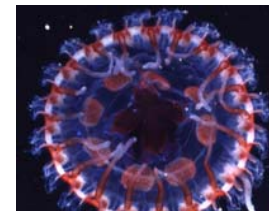




## Lumineszenz



- **Entstehung der Lumineszenz**
- **Eigenschaften**
- **Fluoreszenz und Phosphoreszenz**
- **Messung**
- **Anwendungen**
  - Labordiagnostik
  - Untersuchung von biol. Makromolekülen
  - Biosensoren
  - Lumineszenzmikroskopie
  - Lampen
  - Strahlungsdetektoren
  - Monitore
- **Biolumineszenz**

## Entstehung des Lumineszenzlichtes

**Lumineszenz:** Lichtemissionsüberschuss eines Körpers im Vergleich zu seiner Temperaturstrahlung.

Lumineszenz hat einen schwachen Zusammenhang mit der Temperatur des Körpers



„kaltes Licht“

Linien- o. Bandenspektrum im UV/VIS Bereich



Elektronenanregungen

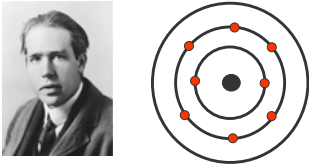


Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

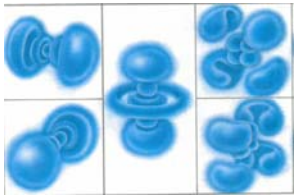
Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ... NaI (TL)
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	
radioaktive Str.	Radiolumin.	NaI (TL)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelsucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen
Wärme	Thermolumin.	CaSO <sub>4</sub> (Dy)

## Aufbau des Atoms

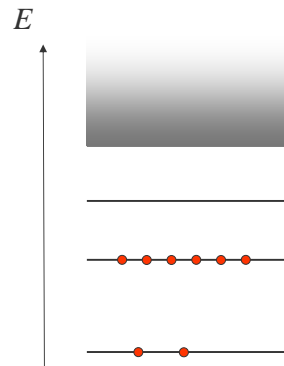
### Bohrsches Atommodell



### Quantummechanisches Atommodell

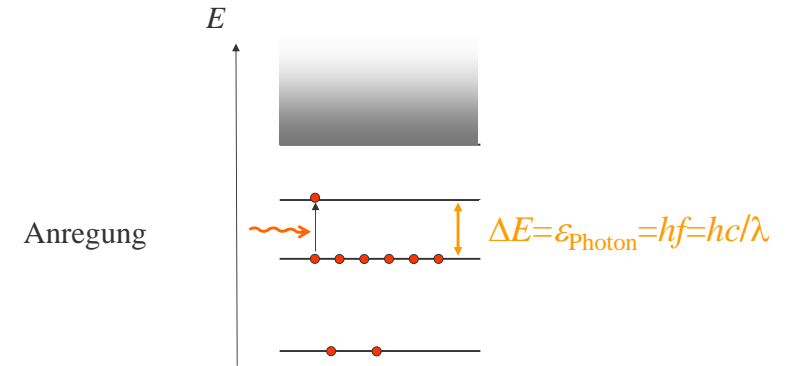


Energieniveaus



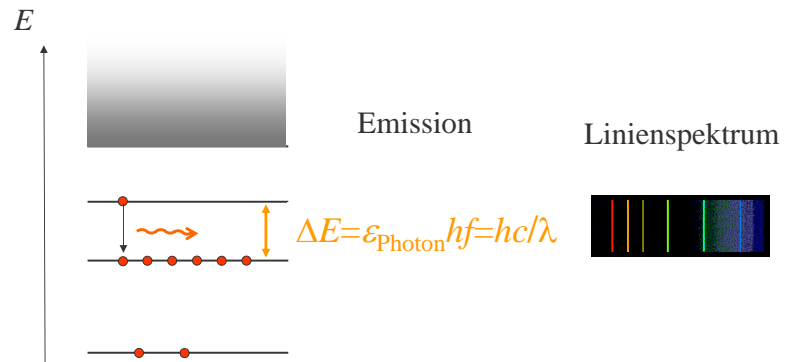
5

## Elektronenübergänge



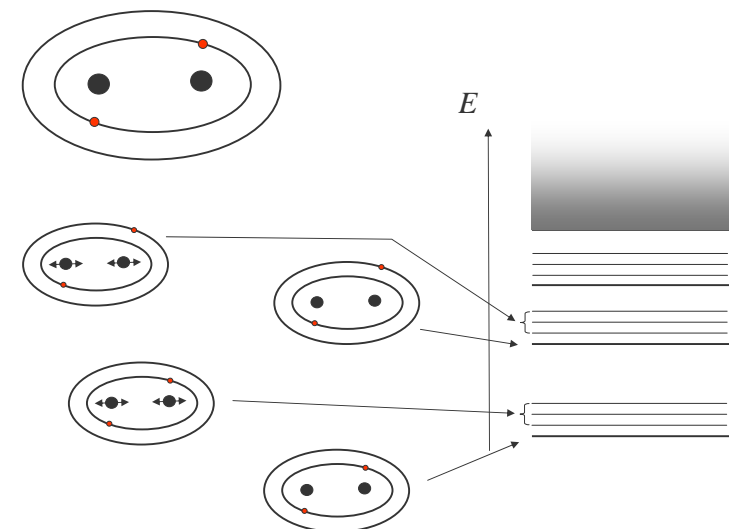
6

## Elektronenübergänge



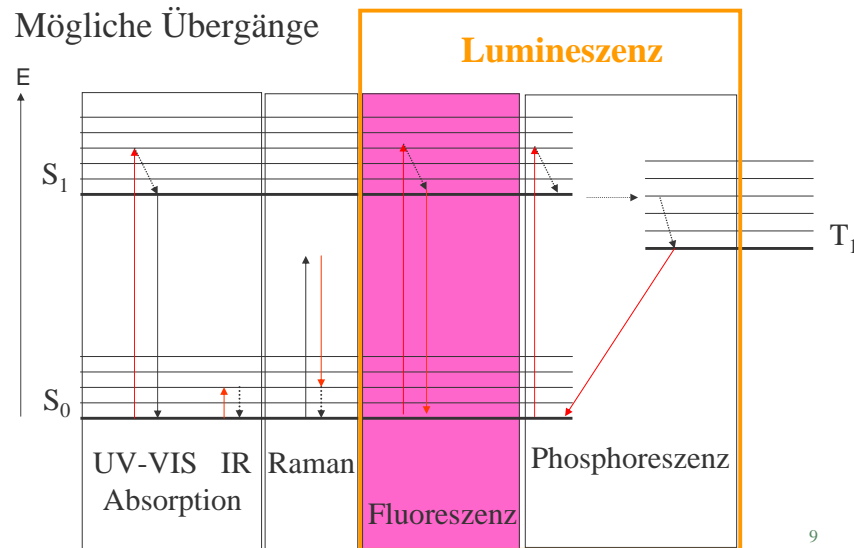
7

## Energiezustände der Moleküle

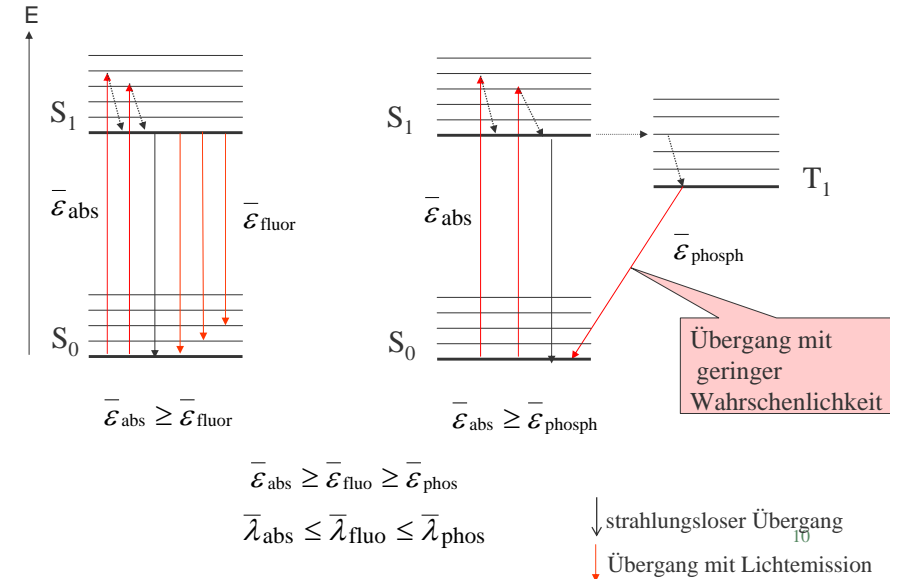


8

## Jablonski Diagramm

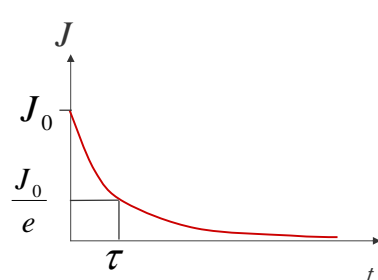


## Fluoreszenz und Phosphoreszenz



## Abkling des Lumineszenzlichtes nach einem impulsförmigen Anregung

- Anregung mit einem Lichtblitz
- exponentieller Abkling der Intensität ( $J$ ) nach der Anregung

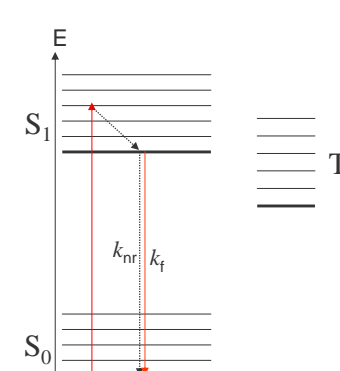


$\tau$ : Lumineszenz-Lebensdauer

$\tau$  ist umgekehrt proportional mit der Übergangswahrscheinlichkeit:  $\bar{\tau}_{\text{fluor}} \ll \bar{\tau}_{\text{phos}}$

## Quantenausbeute

- Anzahl der emittierten Photonen/Anzahl der absorbierten Photonen



$$Q_f = \frac{k_f}{k_f + k_{\text{nr}}}$$

$k_{\text{f}}$  Wahrscheinlichkeit des Fluoreszenzüberganges (mit Lichtemission)

$k_{\text{nr}}$  Wahrscheinlichkeit des Überganges ohne Lichtemission („nonradiative“)

Fluor. Farbstoffe:  $Q \approx 1$

## Messung der Lumineszenz

Messbare Größen:

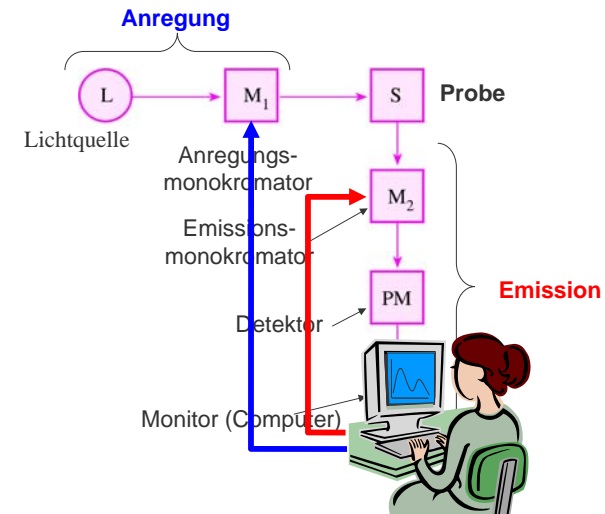
- Wellenlänge(verteilung) des Anregungslichtes
- Wellenlänge(verteilung) des emittierten Lichtes (bei Fluoreszenz u. Phosphoreszenz)
- Die Intensität des emittierten Lichtes
- Zeitliche Ablauf der emittierten Lichtintensität
- Polarisation des emittierten Lichtes



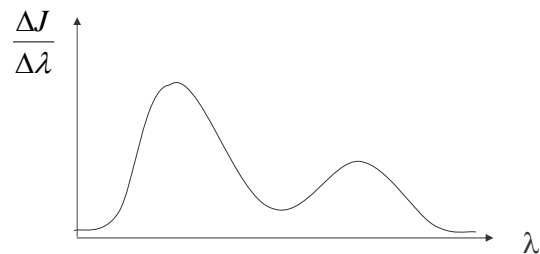
Information (Struktur, Umgebung, Bewegung, Menge...)

13

## Messung – Aufbau eines Luminometers



## Das Spektrum



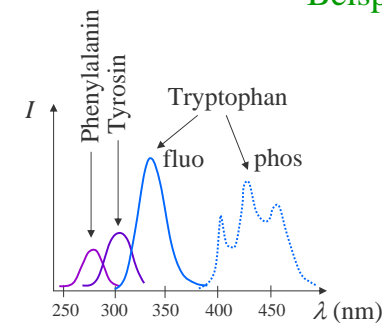
$\lambda$



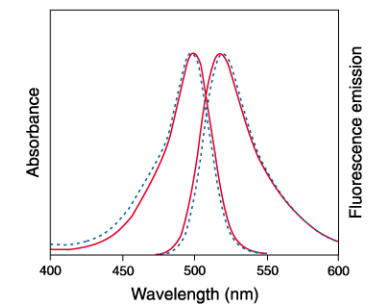
- Emissionsspektrum
  - Fluoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{fluo}}$
  - Phosphoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{phosph}}$
- Anregungsspektrum  $\lambda_{\text{abs}}$

15

## Beispiele



### Fluorescein



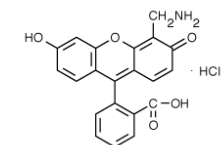
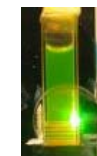
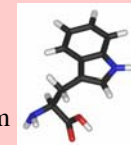
z. B. Tryptophan:

$$\bar{\lambda}_{\text{fluo}} = 340 \text{ nm}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{phos}} = 440 \text{ nm}$$

$$\tau_{\text{fluo}} = 0,1 - 5 \text{ ns}$$

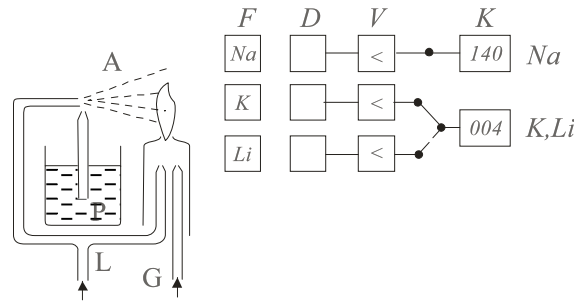
$$\tau_{\text{phos}} = 0,001 - 5 \text{ s}$$



# Anwendungen

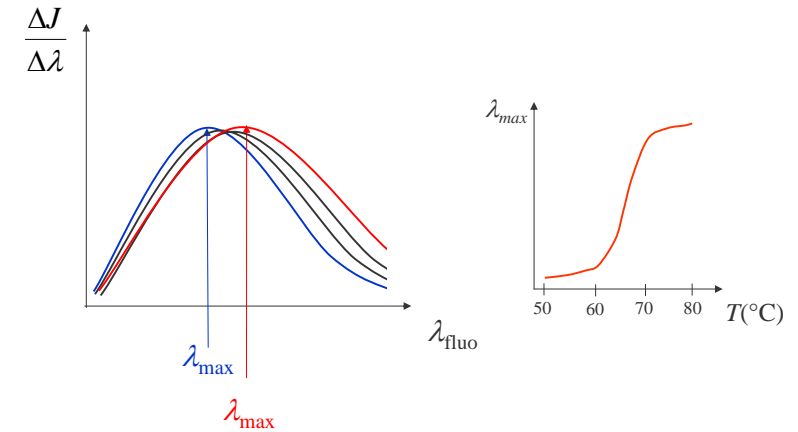
## 1. Labordiagnostik

z. B. Konzentrationsbestimmung von Na, K, ... mit Hilfe des Flammenphotometers



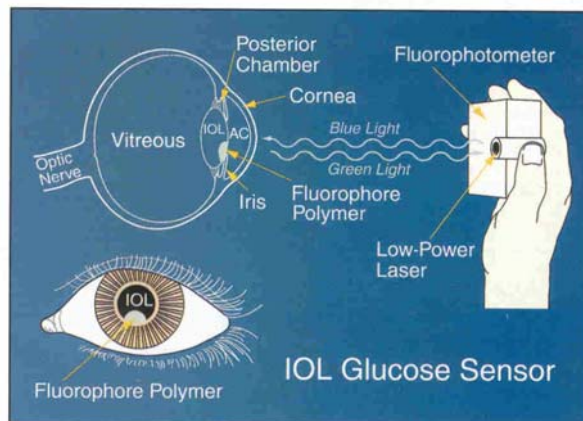
## 2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (z. B. Proteine)

Denaturation eines Eiweißes mit Hilfe der Fluoreszenz des Tryptophans

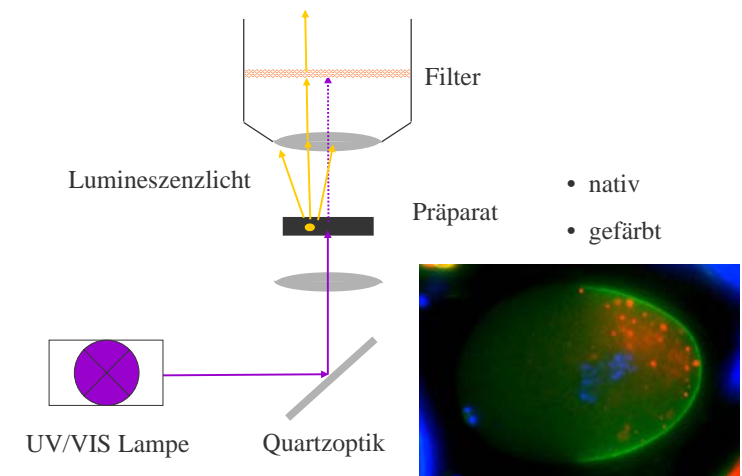


## 3. Biosensoren

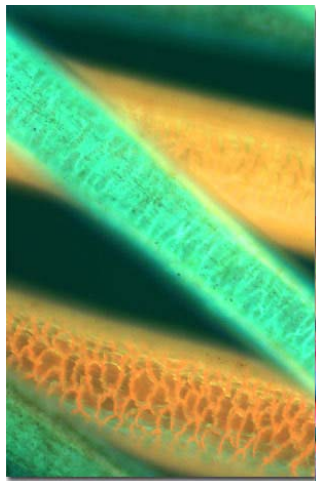
z.B. Ca-, pH, O<sub>2</sub>-Indikatoren, oder Glukosesensor



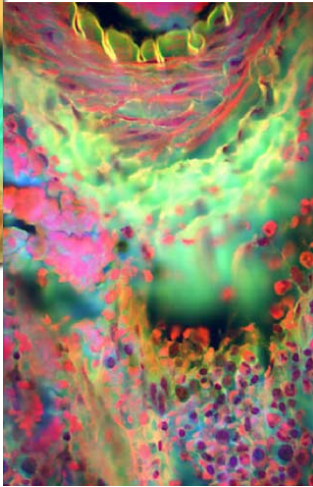
## 4. Lumineszenzmikroskopie



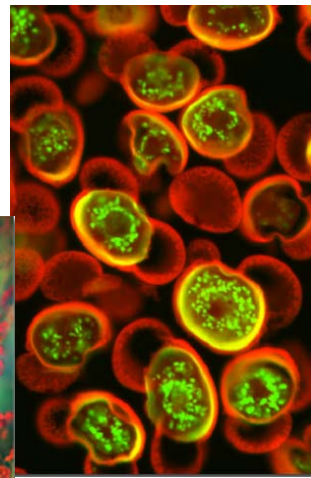




Knochengewebe



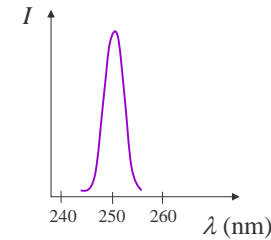
Bauchhaar des japanischen Ponys



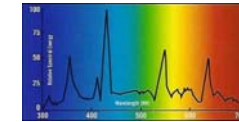
Pollen der Kiefer

## 5. Lumineszenzlampen

- Natriumlampen
- Quecksilberlampen:
- Germizidlampe



s. Absorptionsspektrum von DNA  $\Rightarrow$  Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)

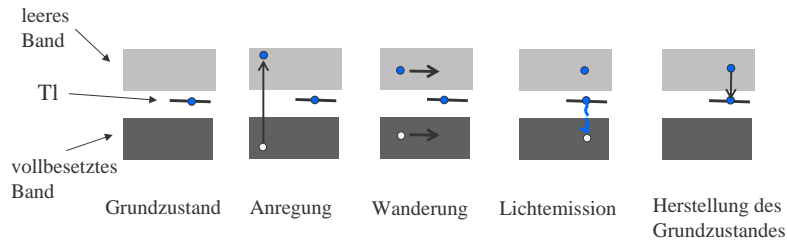
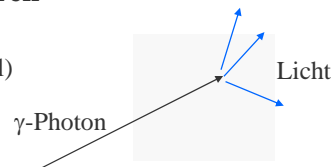


- Quartzlampe, Solariuml.
- Leuchttröhen

z.B. photodynamische Therapie

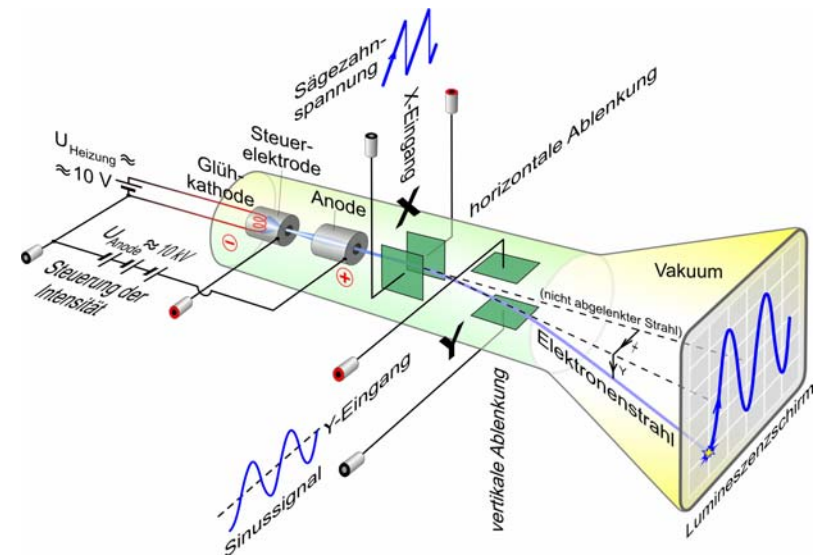
## 6. Strahlungsdetektoren

z.B. NaI(Tl)



## 7. Monitore

z. B. Kathodenstrahlröhre



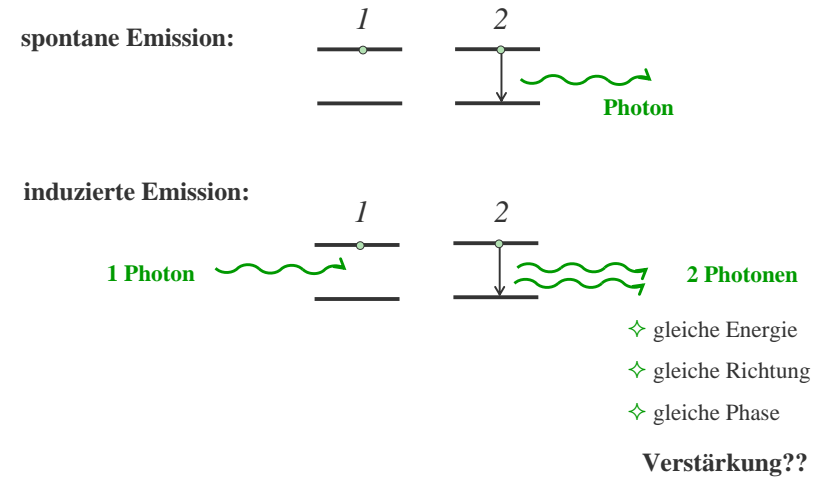
# Laser

**LASER** = light amplification by stimulated emission of radiation



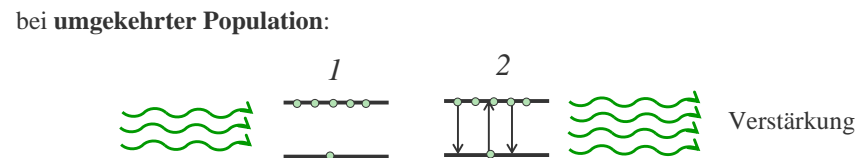
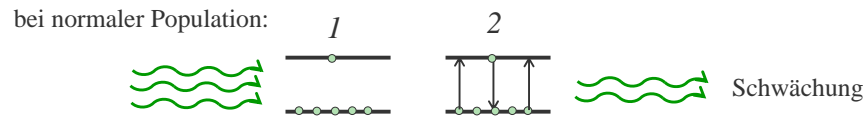
- ✧ Induzierte Emission
- ✧ Populationsumkehr
- ✧ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ✧ Eigenschaften des Laserlichtes
- ✧ Lasertypen
- ✧ Anwendungen

## Induzierte Emission



## Populationsumkehr

Absorption und induzierte Emission konkurrieren!



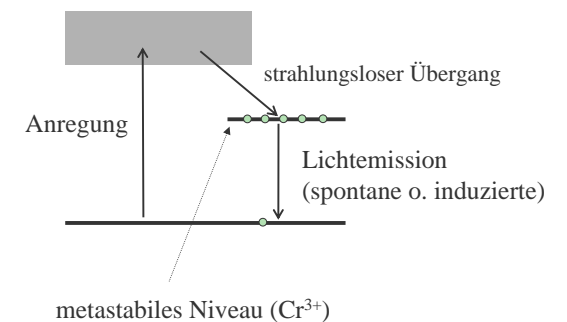
- ➔ 1. Drei-Niveau System  
2. metastabiles Niveau

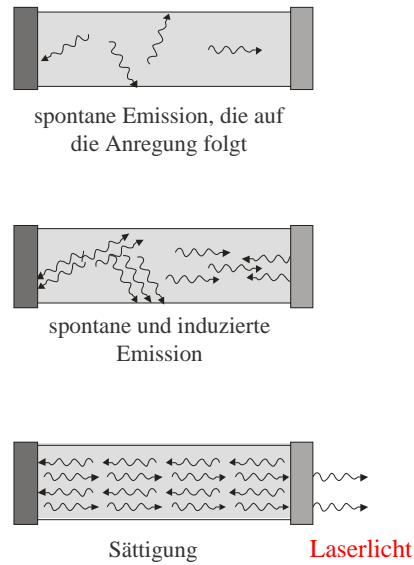
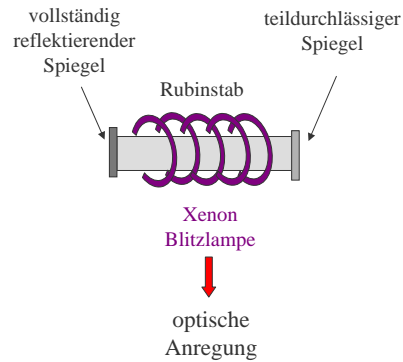
## Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser



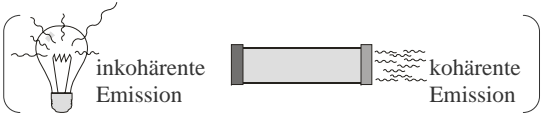
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$   
**(Rubin)**

Drei-Niveau Lasersystem:





## Eigenschaften des Laserlichtes

- ✧ monochromatisch  $\left[ \Delta f / f \approx 10^{-6} \right]$
- ✧ kohärent 
  - inkohärente Emission
  - kohärente Emission
- ✧ kleine Divergenz  $\left[ \Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad} \right]$
- +
- ✧ hohe Intensität  $\left[ I \approx 10^{14} \text{ W/m}^2 \right]$
- ✧ polarisiert

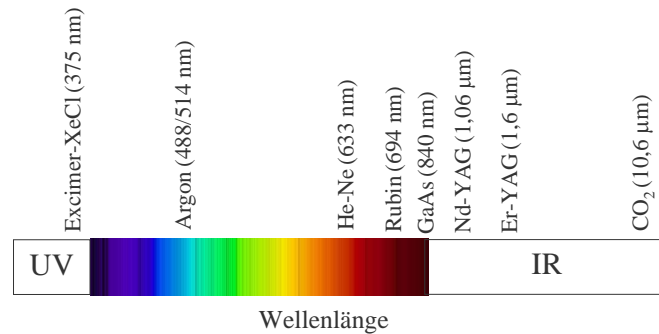
## Lasertypen

Laserstoff:

- ✧ gasförmig (z. B. He-Ne, CO<sub>2</sub>, Argon, Excimer)
- ✧ kristallin (z. B. Rubin, Nd-YAG, Er-YAG, Halbleiterdiode - GaAs)
- ✧ flüssig

Betriebsart:

- ✧ impulsförmig,
- ✧ kontinuierlich



## 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“



# Laserchirurgie

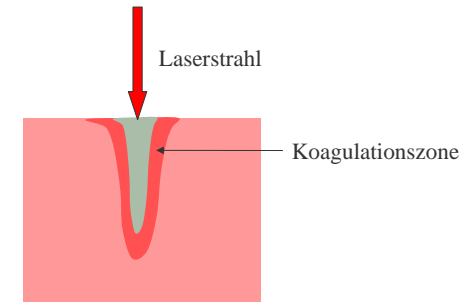
## Grundlage:

Absorption der Lichtenergie → Erwärmung des Gewebes

≈ 60-100 °C: **Koagulation** Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.

≈ 150 °C: **Vaporisation** Wasser evaporiert explosionsartig.

≈ 300 °C: **Karbonisation, Atomisation** Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

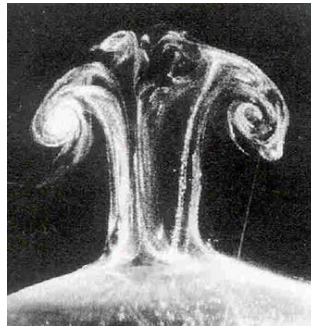


## Vorteile der Laserchirurgie:

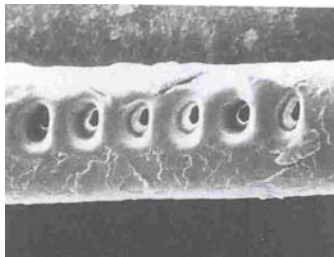
- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben



Laserbehandlung der Herzwand



Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar



Laserbohrung durch das Trommelfell

## Humanmedizinische Beispiele



„port wine stain“ vor der Lasertherapie

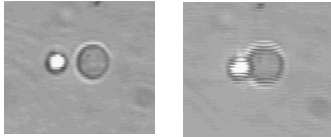
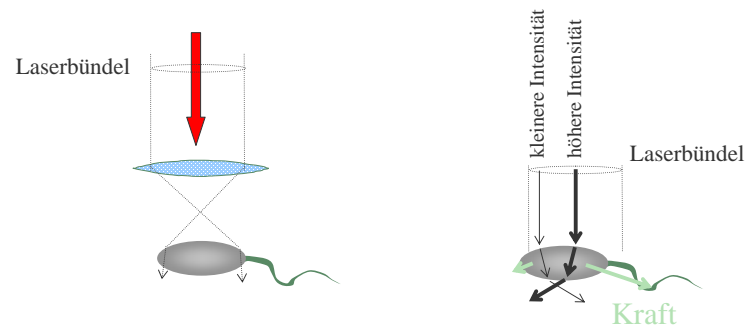
nach der Laserbestrahlung

## Entfernung von Tätowierungen

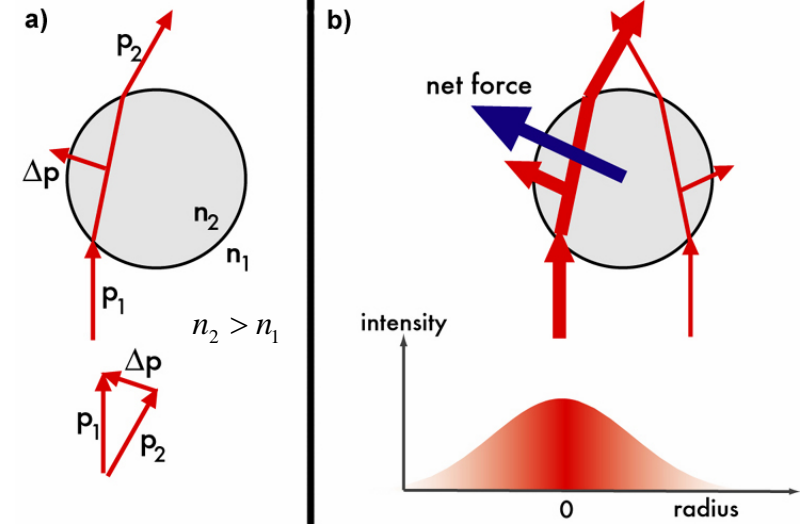


Entfernung von Fältchen

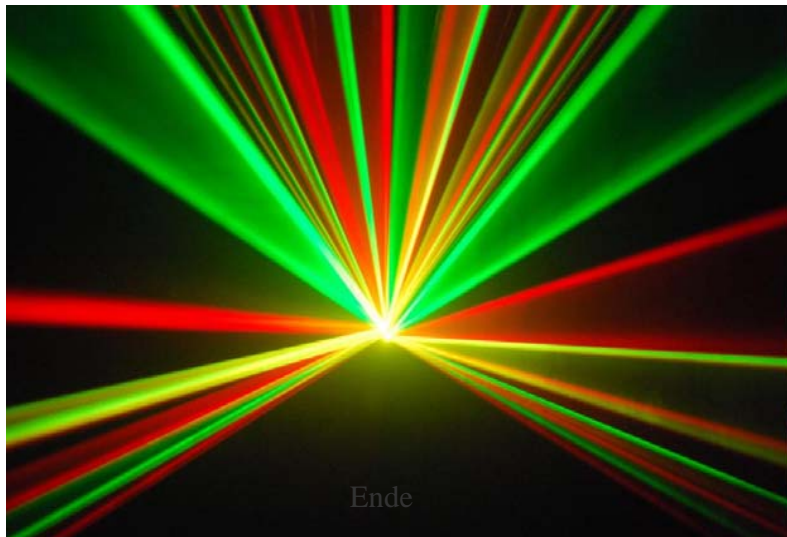
# Laserpinzette



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



38



39