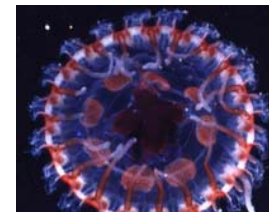




## Lumineszenz



- **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“

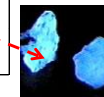
Linien- o. Bandenspektrum im UV/VIS Bereich



Elektronenanregungen

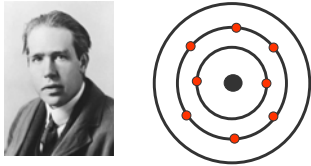
## Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

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

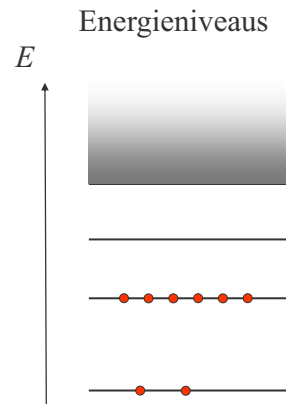
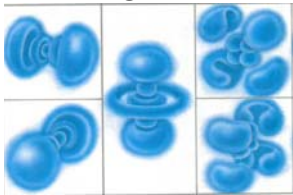


## Aufbau des Atoms

Bohrsches Atommodell

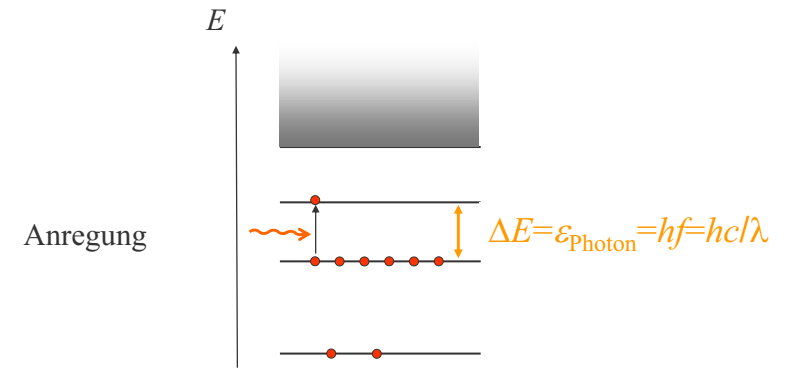


Quantenmechanische Beschreibung des Atoms



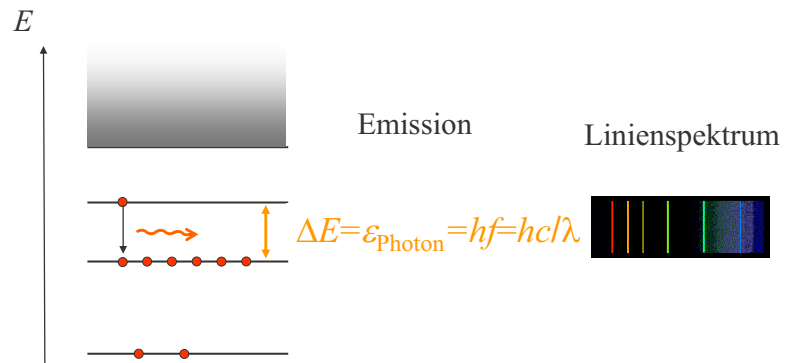
5

## Elektronenübergänge



6

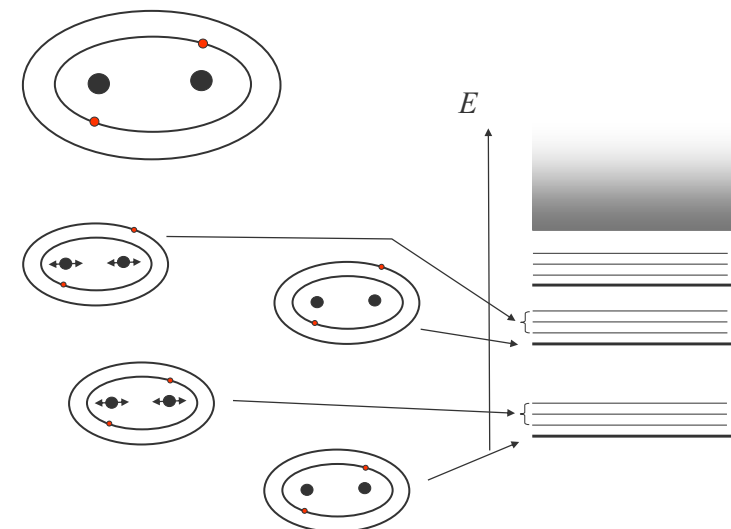
## Elektronenübergänge



Siehe Praktikum!

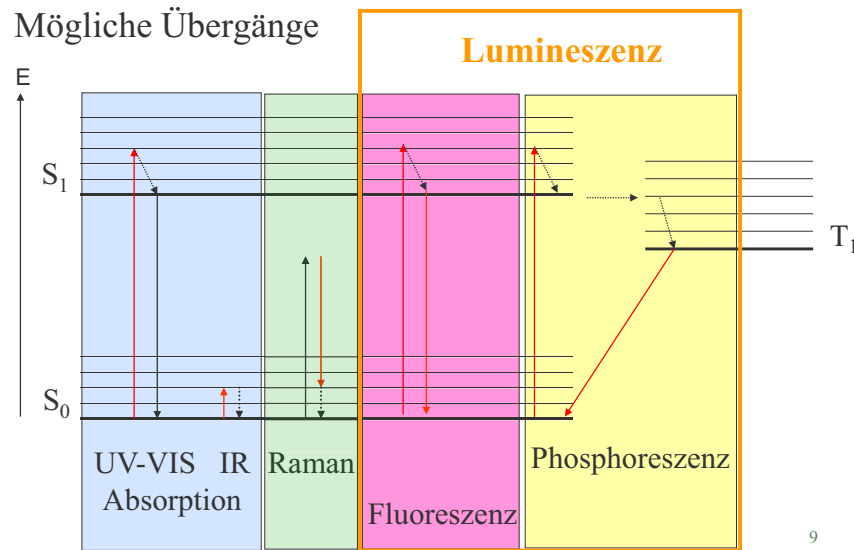
7

## Energiezustände der Moleküle

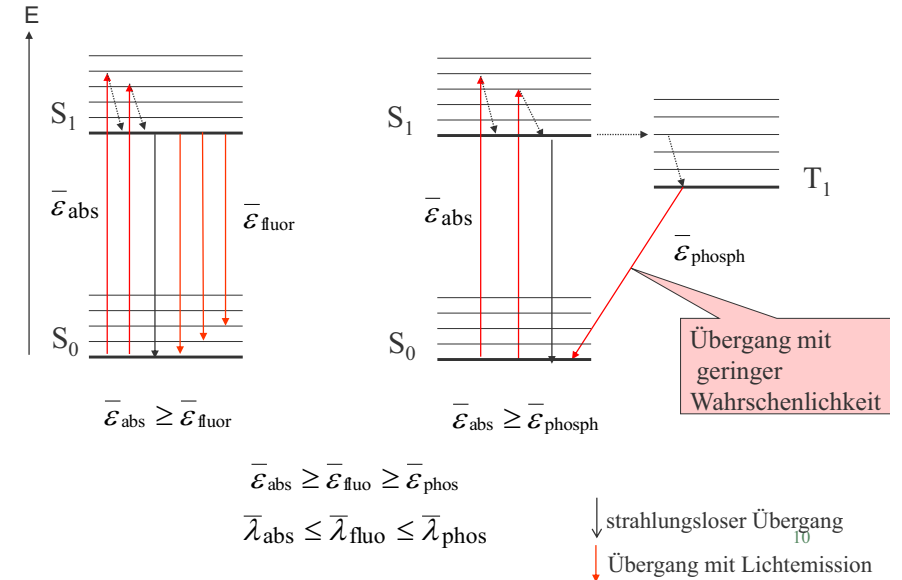


8

## Jablonski Diagramm

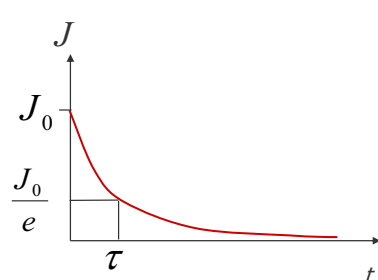


## Fluoreszenz und Phosphoreszenz



## Abkling des Lumineszenzlichtes nach einem impulsförmigen Anregung

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



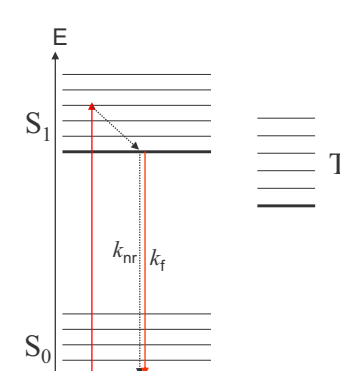
$$J = J_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau$ : Lumineszenz-Lebensdauer

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

## Quantenausbeute

- Anzahl der emittierten Photonen/Anzahl der absorbierten Photonen



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

$k_f$  Wahrscheinlichkeit des Fluoreszenzüberganges (mit Lichtemission)

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

Fluor. Farbstoffe:  $Q \approx 1$

## Messung der Lumineszenz

Messbare Größen:

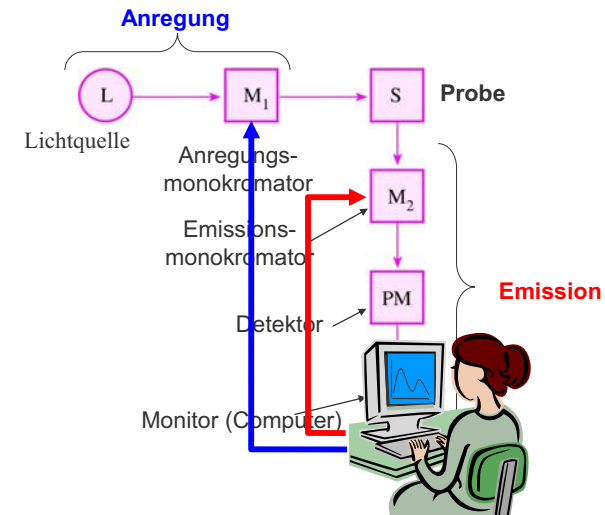
- Wellenlänge(verteilung) des Anregungslichtes
- Wellenlänge(verteilung) des emittierten Lichtes (bei Fluoreszenz u. Phosphoreszenz)
- Die Intensität des emittierten Lichtes
- Zeitlicher Ablauf der emittierten Lichtintensität
- Polarisation des emittierten Lichtes



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

13

## Messung – Aufbau eines Luminometers



## Die Spektren



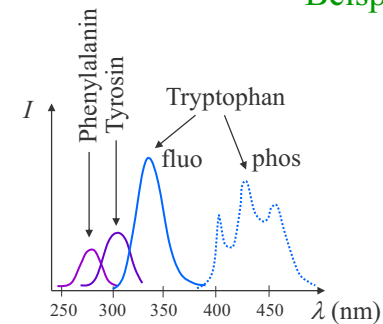
$\lambda$



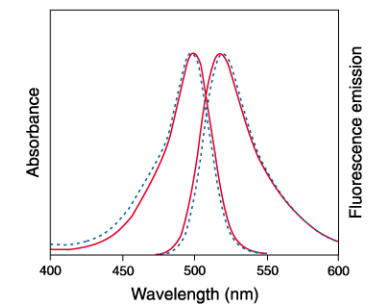
- Emissionsspektrum
  - Fluoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{fluo}}$
  - Phosphoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{phosph}}$
- Anregungsspektrum  $\lambda_{\text{abs}}$

15

## Beispiele



### Fluorescein



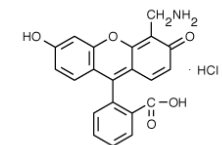
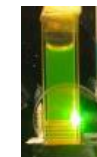
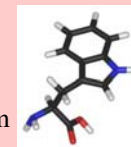
z. B. Tryptophan:

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

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

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

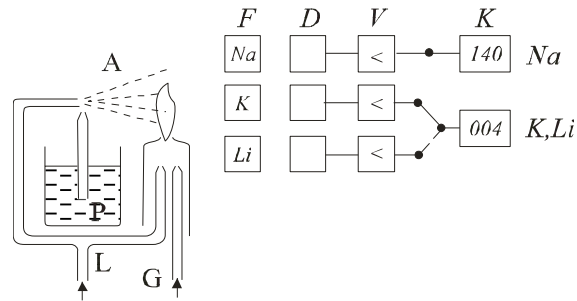
$$\tau_{\text{phos}} = 0,001 - 5 \text{ s}$$



# Anwendungen

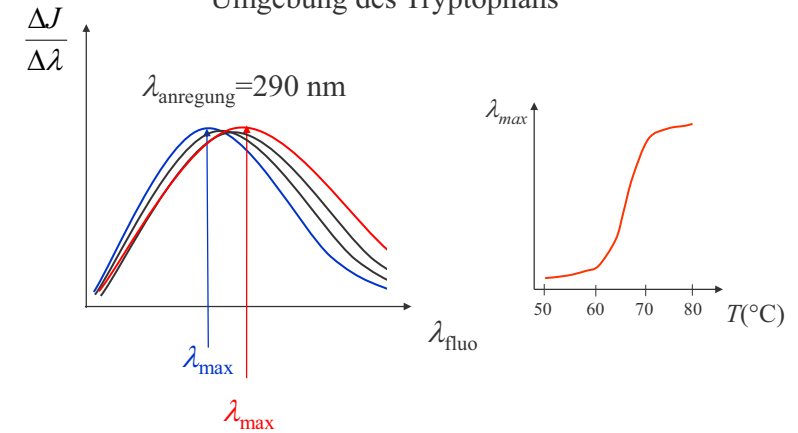
## 1. Labordiagnostik

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

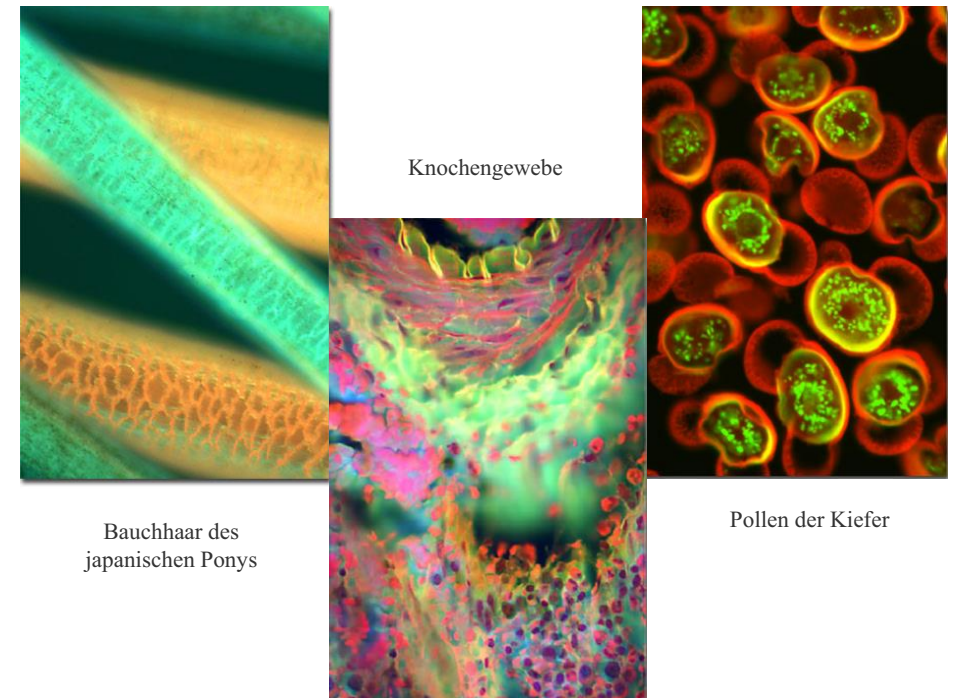
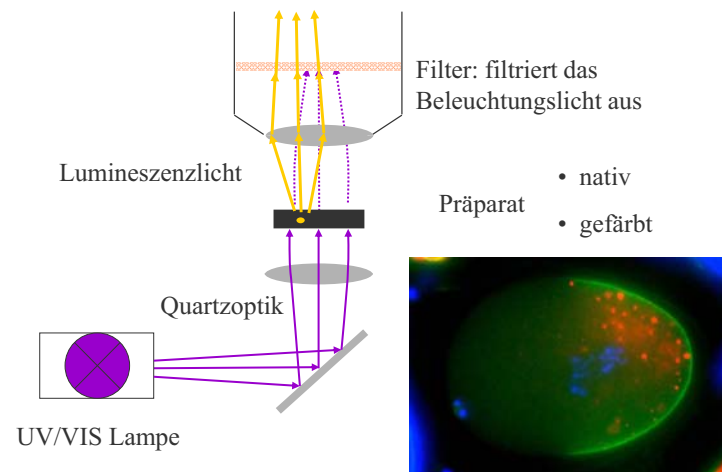


## 2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (z. B. Proteine)

Denaturation eines Eiweißes mit Hilfe der Fluoreszenz des Tryptophans  
 $\lambda_{\max}$  ist empfindlich für die Polarität der Umgebung des Tryptophans



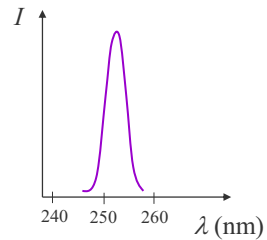
## 3. Lumineszenzmikroskopie



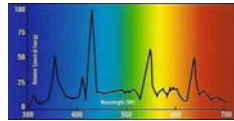


#### 4. Lumineszenzlampen

- Natriumlampen
- Quecksilberlampen:
- Germizidlampe



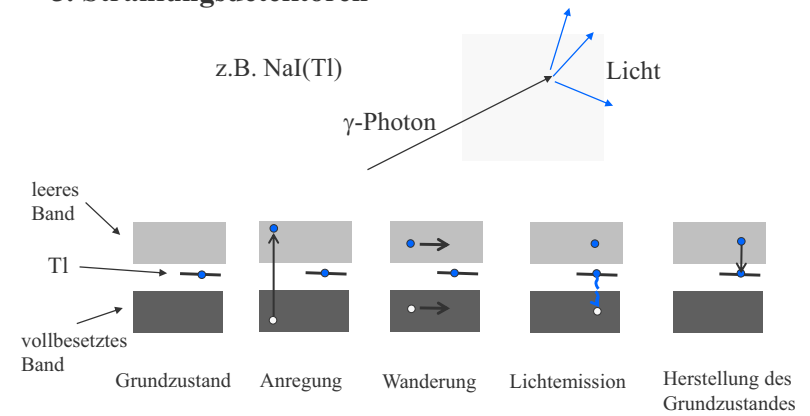
s. Absorptionsspektrum von DNA  $\Rightarrow$  Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)



- Quartzlampe, Solariuml.
- Leuchttröhren

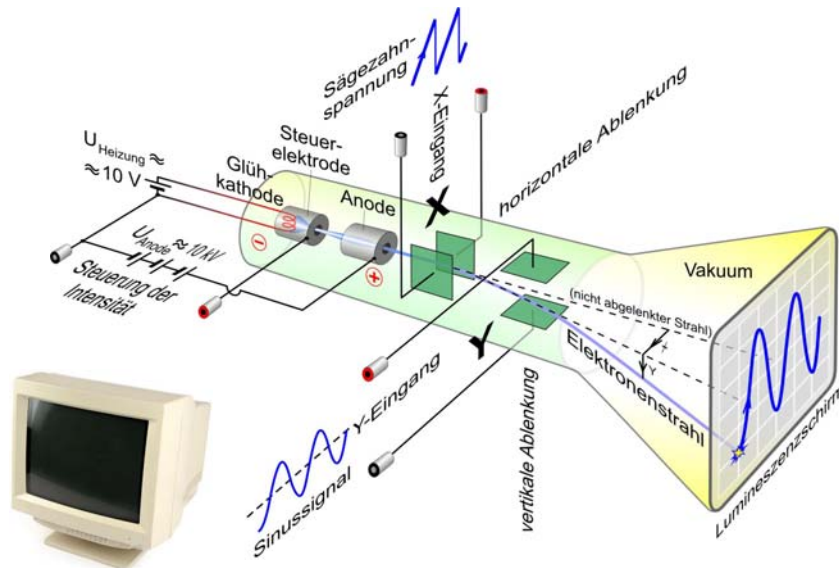
z.B. photodynamische Therapie

#### 5. Strahlungsdetektoren



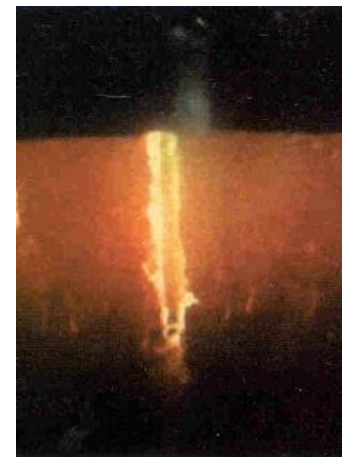
#### 6. Monitore

z. B. Kathodenstrahlröhre



#### Laser

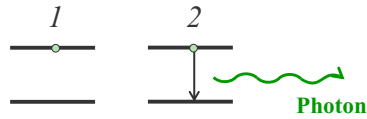
**LASER** = light amplification by stimulated emission of radiation



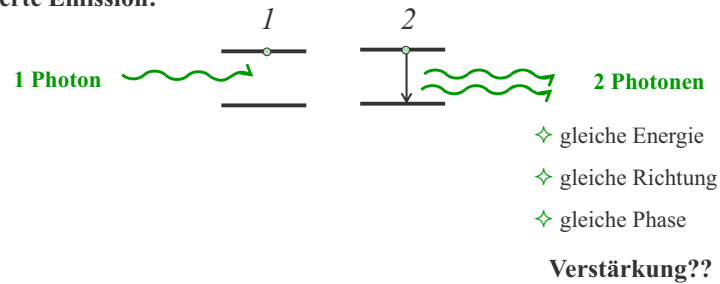
- ◇ Induzierte Emission
- ◇ Populationsumkehr
- ◇ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ◇ Eigenschaften des Laserlichtes
- ◇ Lasertypen
- ◇ Anwendungen

## Induzierte Emission

spontane Emission:



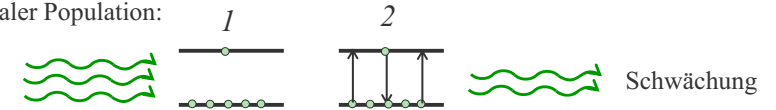
induzierte Emission:



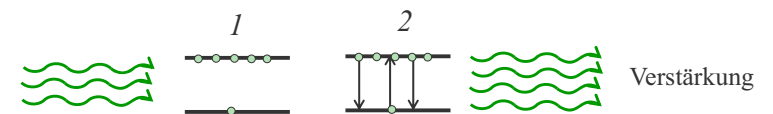
## Populationsumkehr

Absorption und induzierte Emission konkurrieren!

bei normaler Population:



bei umgekehrter Population:



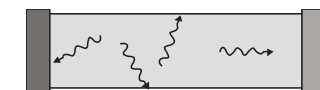
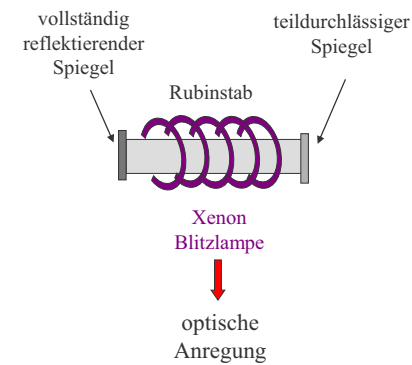
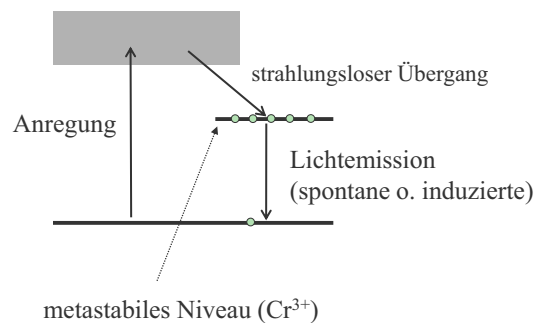
→ **Drei-Niveau System**  
**metastabiles Niveau**

## Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser

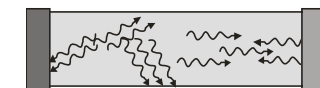


$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$   
**(Rubin)**

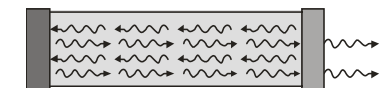
Drei-Niveau Lasersystem:



spontane Emission, die auf die Anregung folgt



spontane und induzierte Emission



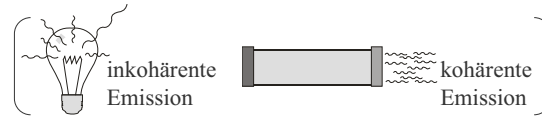
Sättigung

**Laserlicht**

## Eigenschaften des Laserlichtes

✧ monochromatisch  $\left[\Delta f/f \approx 10^{-6}\right]$

✧ kohärent



✧ kleine Divergenz  $\left[\Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad}\right]$

+

✧ hohe Intensität  $\left[I \approx 10^{14} \text{ W/m}^2\right]$

✧ polarisiert

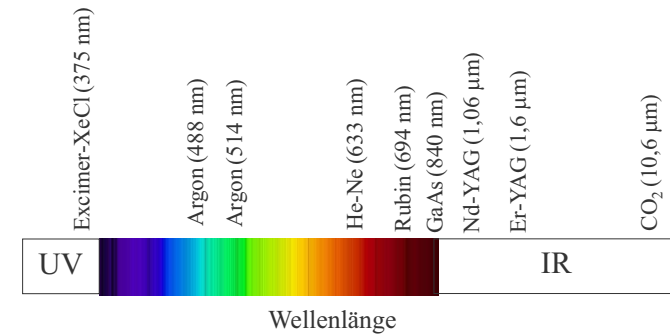
## Lasertypen

Laserstoff:

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

Betriebsart:

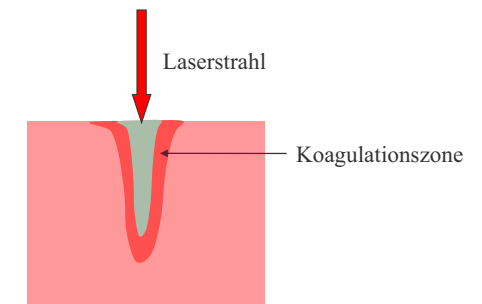
- ✧ impulsförmig,
- ✧ kontinuierlich



## 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, Augen Chirurgie
- ✧ 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.



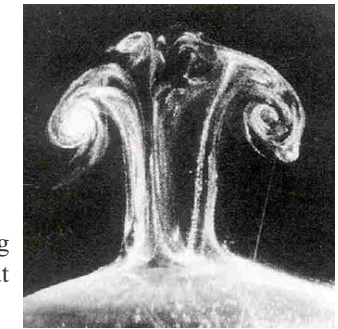
## Vorteile der Laserchirurgie:



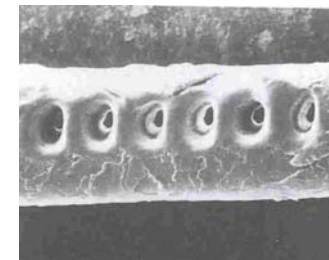
- ✧ feine, präzise Schnitte
- ✧ Blutung ist reduziert
- ✧ aseptisch
- ✧ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ✧ selektive Behandlung von bestimmten Geweben



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

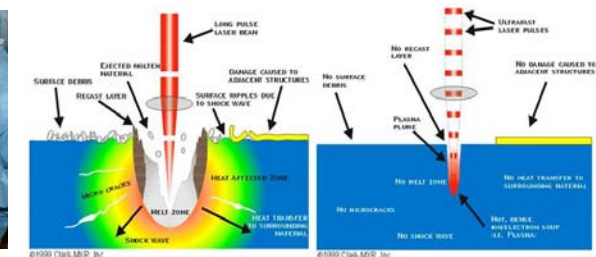


Entfernung von Fältchen

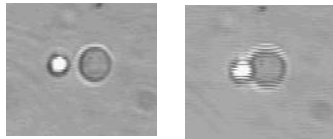
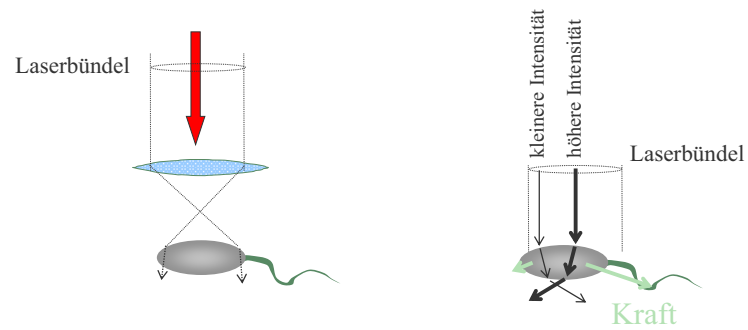
## Vorteile der Laserchirurgie:

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

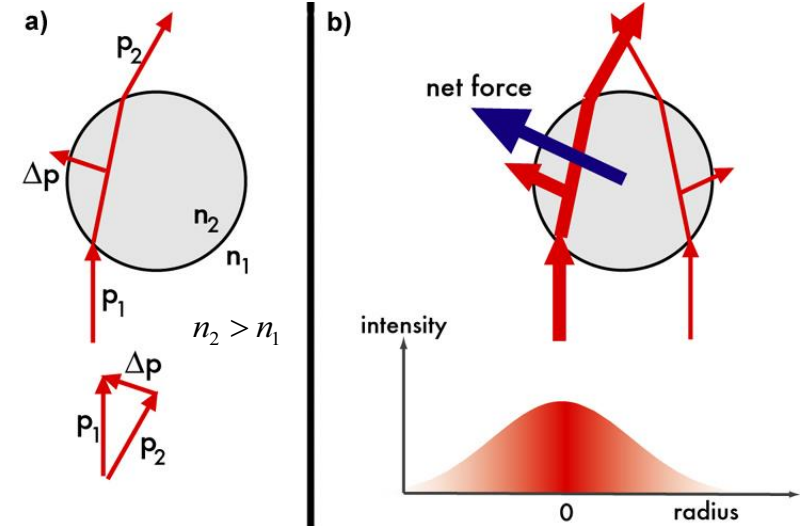
## Anwendung des Femtosekundenlasers:



# Laserpinzette



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



38



39