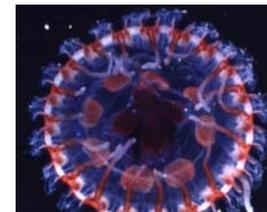
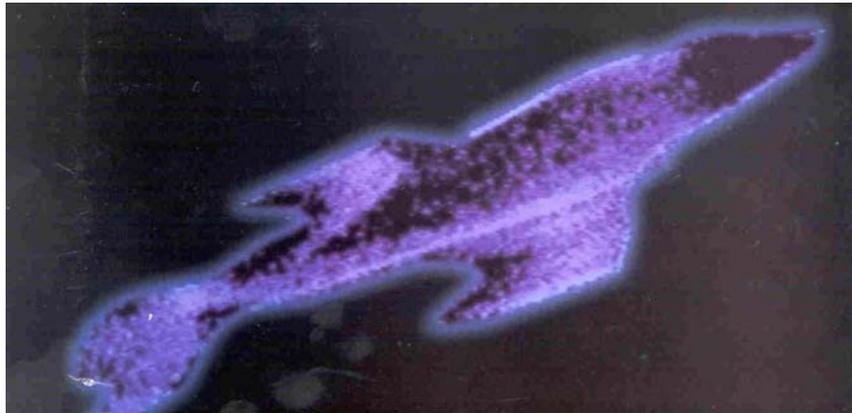




## Lumineszenz



- **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

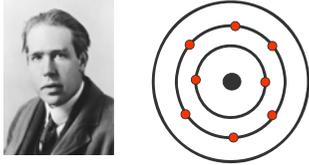
## Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	NaI (Tl)
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)

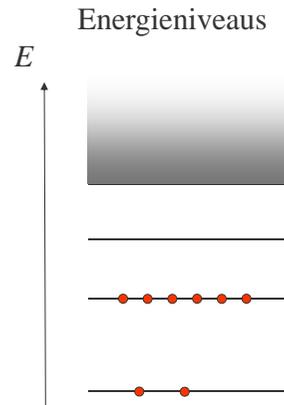
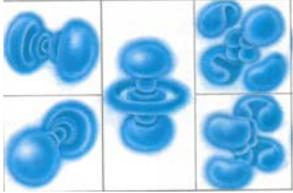
Fluoreszenz&Phosphoreszenz

## Aufbau des Atoms

Bohrsches Atommodell

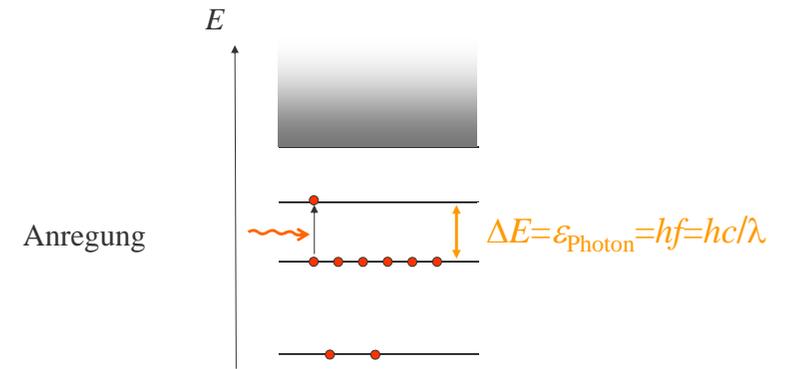


Quantenmechanische Beschreibung des Atoms



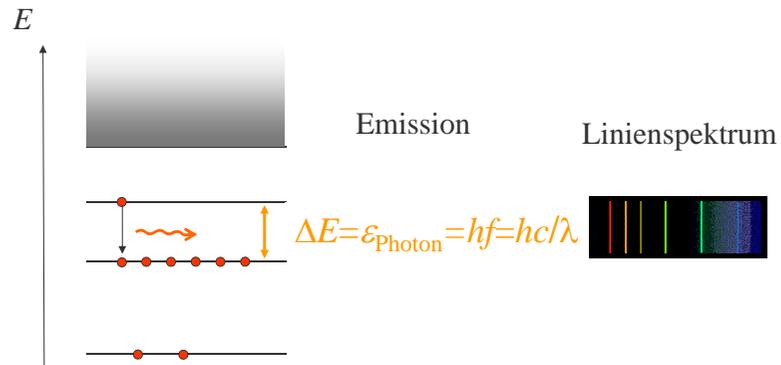
5

## Elektronenübergänge



6

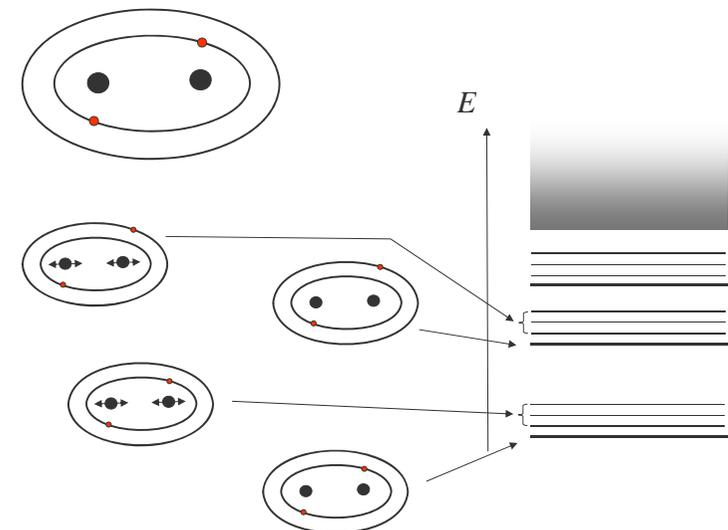
## Elektronenübergänge



Siehe Praktikum!

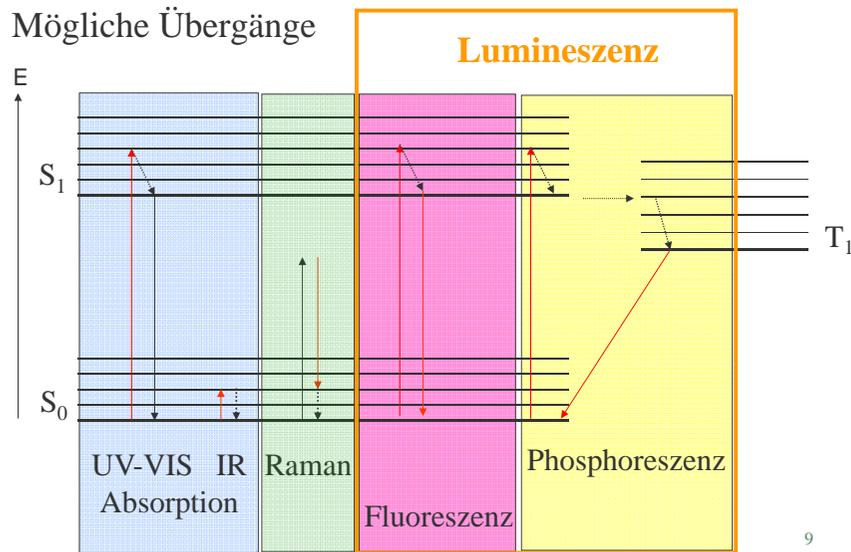
7

## Energiezustände der Moleküle

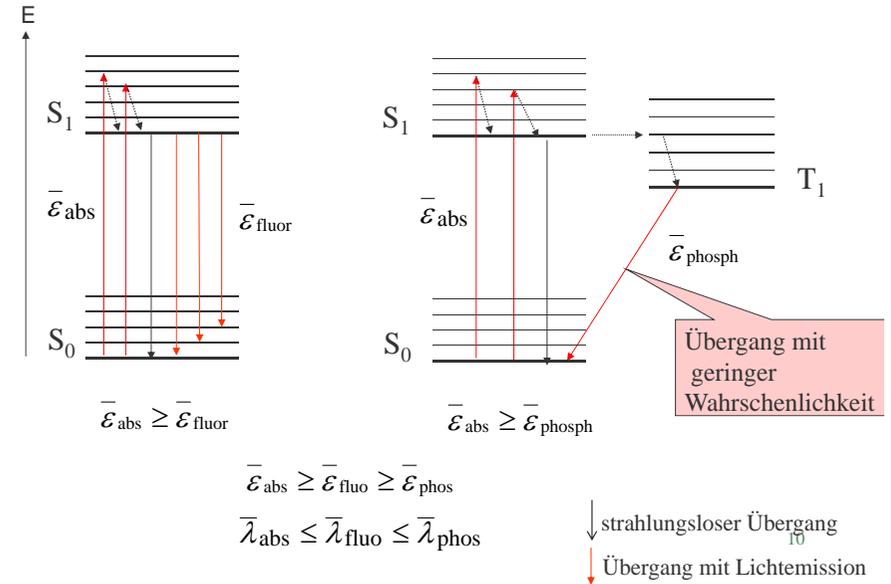


8

## Jablonski Diagramm

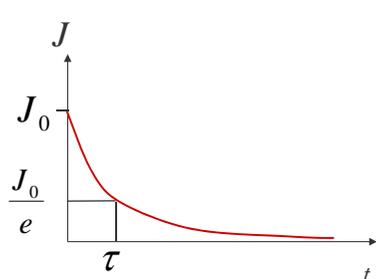


## Fluoreszenz und Phosphoreszenz



## Abkling des Lumineszenzlichtes nach einem impulsförmigen Anregung

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



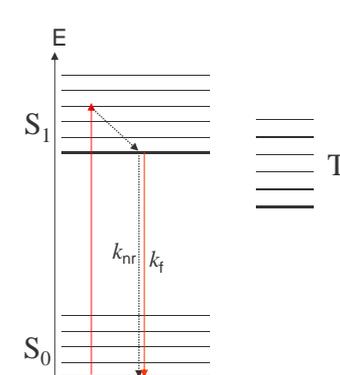
$J = J_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\tau$ : Lumineszenz-Lebensdauer

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

## Quantenausbeute

- Anzahl der emittierten Photonen/Anzahl der absorbierten Photonen



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

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

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

Fluor. Farbstoffe:  $Q \approx 1$

# Messung der Lumineszenz

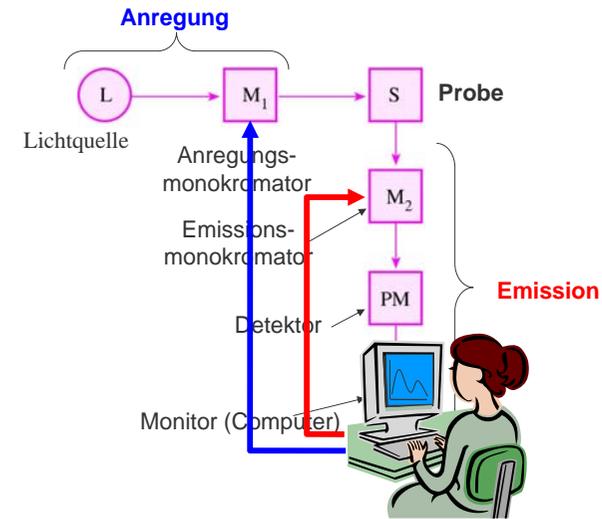
Messbare Größen:

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

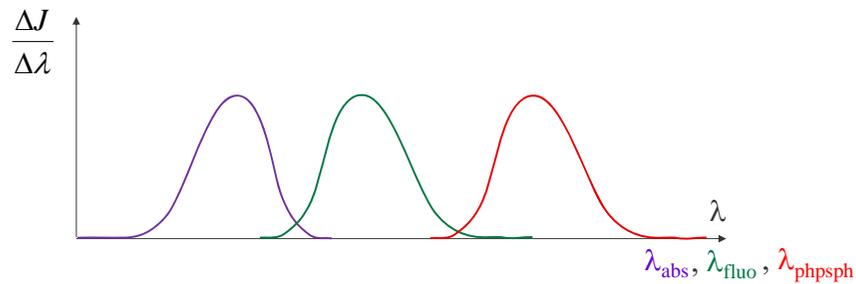


Information (Struktur, Umgebung, Bewegung, Menge...)

# Messung – Aufbau eines Luminometers



# Die Spektren

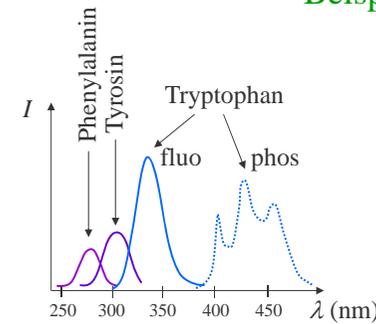


λ

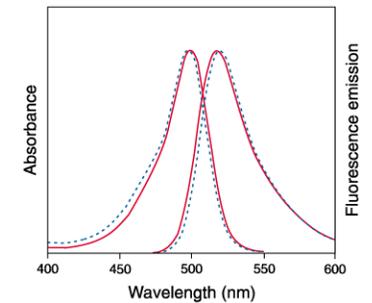


- Emissionsspektrum
  - Fluoreszenzspektrum  $\lambda_{fluo}$
  - Phosphoreszenzspektrum  $\lambda_{phosph}$
- Anregungsspektrum  $\lambda_{abs}$

# Beispiele



# Fluorescein



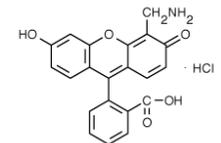
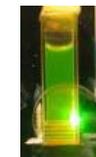
z. B. Tryptophan:

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

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

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

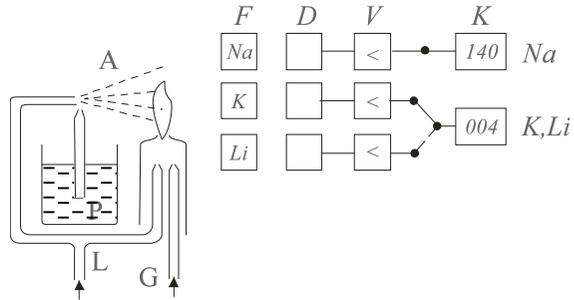
$$\tau_{phos} = 0,001 - 5 \text{ s}$$



# Anwendungen

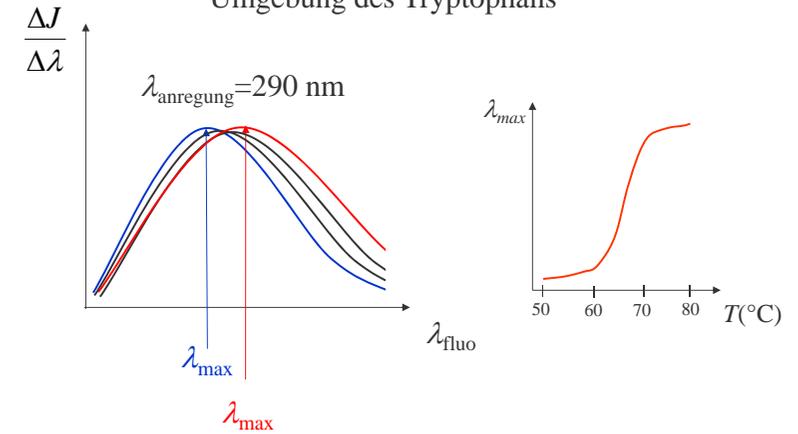
## 1. Labordiagnostik

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

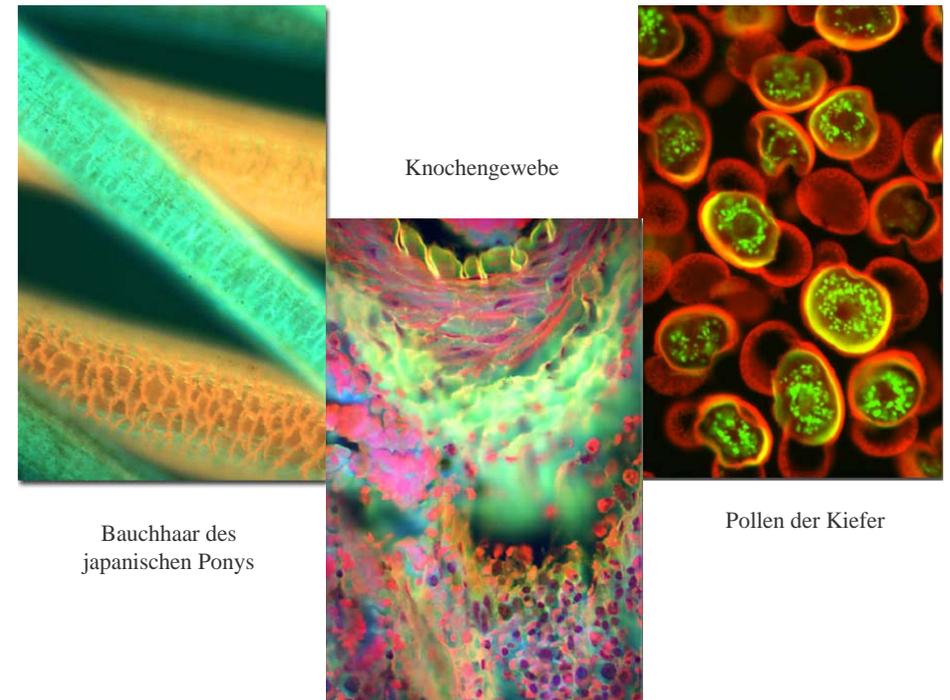
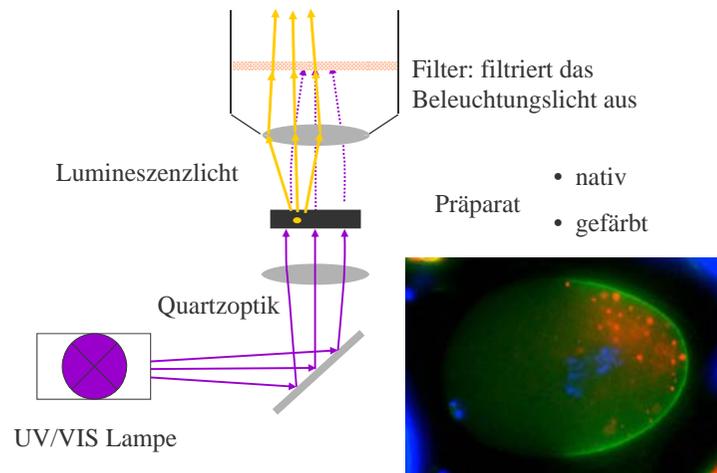


## 2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (z. B. Proteine)

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

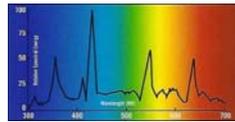
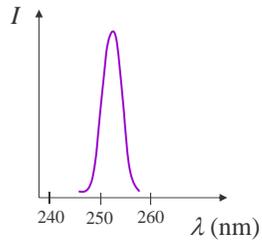


## 3. Lumineszenzmikroskopie



#### 4. Lumineszenzlampen

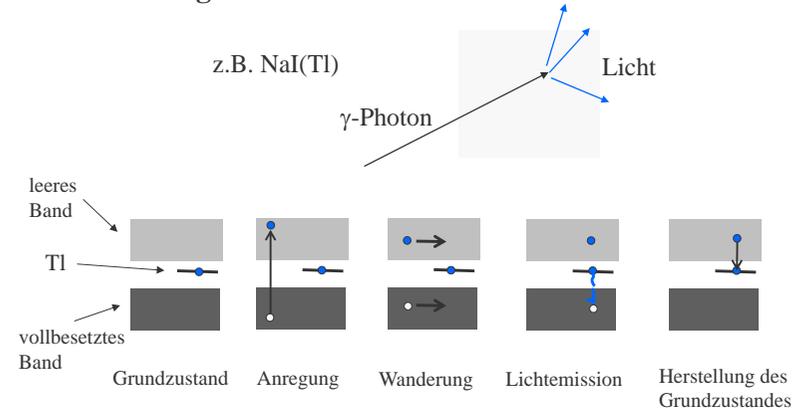
- Natriumlampen
- Quecksilberlampen:
- Germizidlampe



- Quartzlampe, Solariuml.
- Leuchtröhren
- z.B. photodynamische Therapie

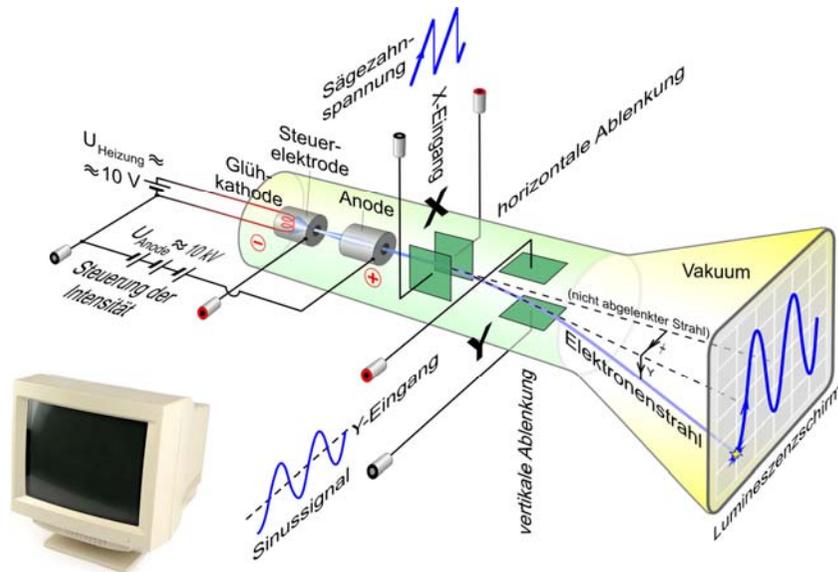
s. Absorptionsspektrum von DNA => Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)

#### 5. Strahlungsdetektoren



#### 6. Monitore

z. B. Kathodenstrahlröhre



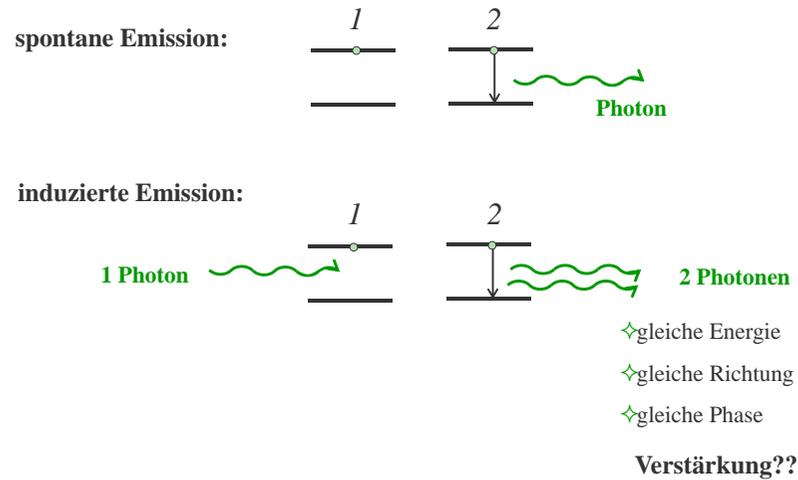
## Laser

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

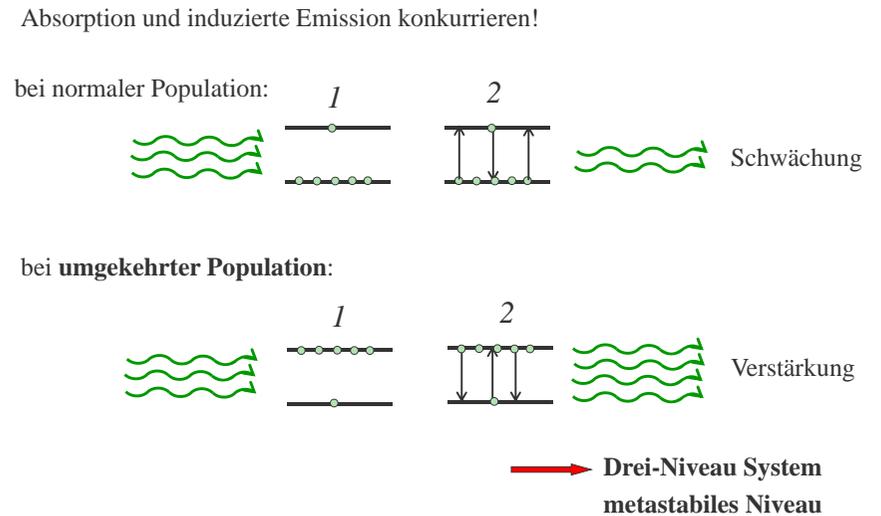


- ◇ Induzierte Emission
- ◇ Populationsumkehr
- ◇ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ◇ Eigenschaften des Laserlichtes
- ◇ Lasertypen
- ◇ Anwendungen

## Induzierte Emission



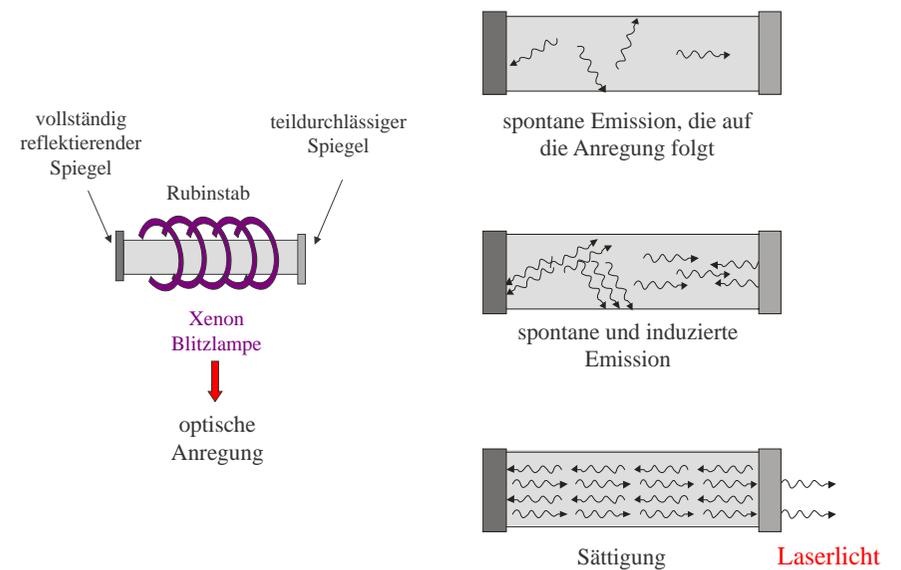
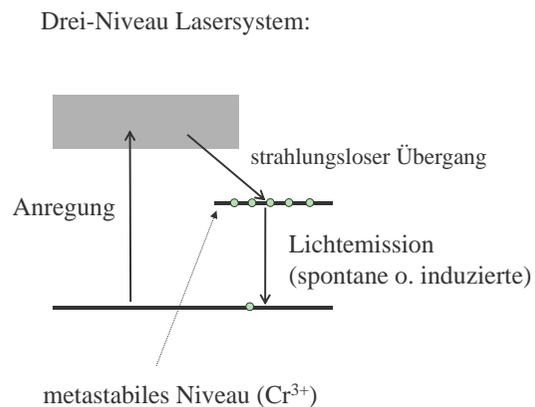
## Populationsumkehr



## Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser



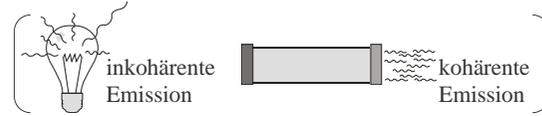
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$   
**(Rubin)**



# 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

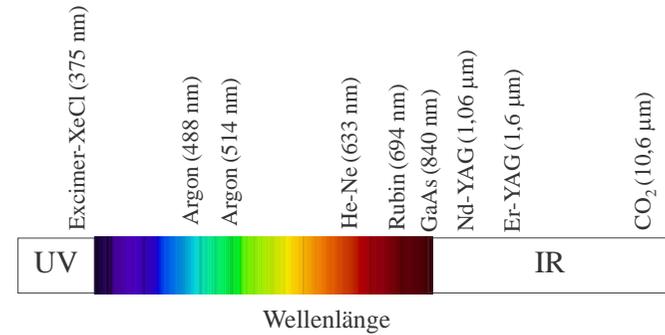
# Lasertypen

Laserstoff:

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

Betriebsart:

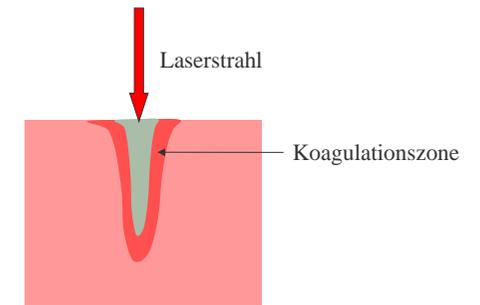
- ◇ impulsförmig,
- ◇ kontinuierlich



# 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, Augenchirurgie
- ◇ Laserpinsette — z.B. „molekulare Chirurgie“

# Laserchirurgie



Grundlage:

Absorption der Lichtenergie → Erwärmung des Gewebes

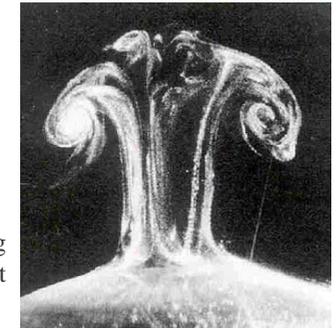
- ≈ 60-100 °C: **Koagulation** Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.
- ≈ 150 °C: **Vaporisation** Wasser evaporiert explosionsartig.
- ≈ 300 °C: **Karbonisation, Atomisation** Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

## Vorteile der Laserchirurgie:



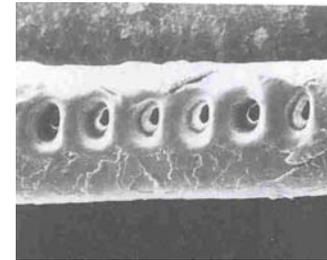
- ❖ feine, präzise Schnitte
- ❖ Blutung ist reduziert
- ❖ aseptisch
- ❖ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ❖ selektive Behandlung von bestimmten Geweben

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

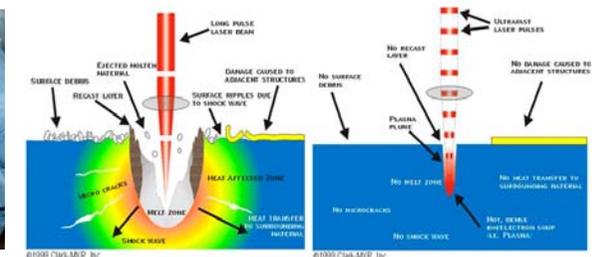


Entfernung von Fältchen

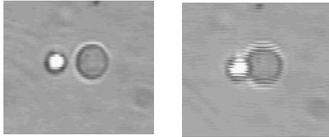
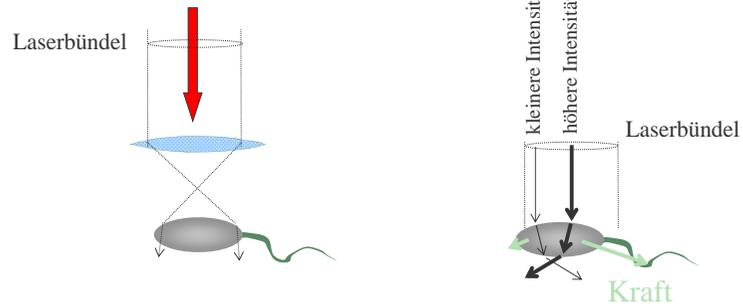
## Vorteile der Laserchirurgie:

- ❖ 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.

