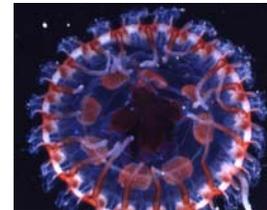
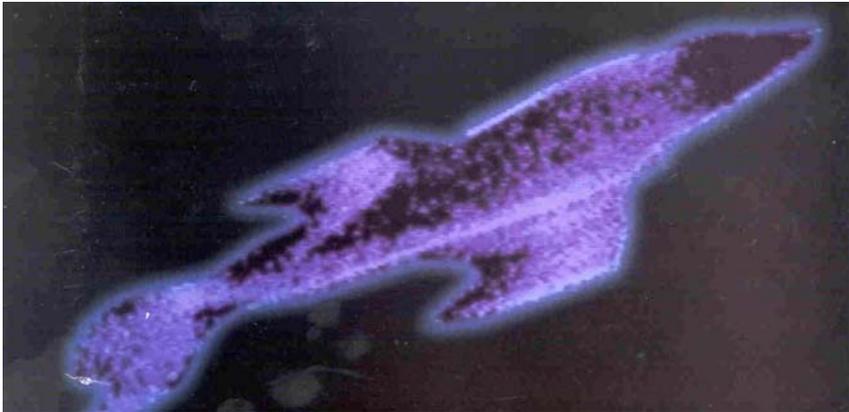




## Lumineszenz



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

## Entstehung des Lumineszenzlichtes

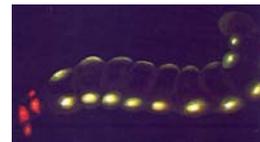
**Lumineszenz:** Lichtemissionsüberschuss eines Körpers im Vergleich zu seiner Temperaturstrahlung.

Lumineszenz hat einen schwachen Zusammenhang mit der Temperatur des Körpers

→ „kaltes Licht“

Linien- o. Bandenspektrum im UV/VIS Bereich

→ Elektronenanregungen

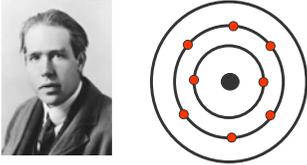


Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

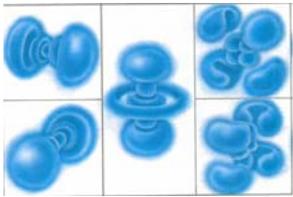
Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	NaI (Tl)
radioaktive Str.	Radiolumin.	NaI (Tl)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelsucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen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

## Aufbau des Atoms

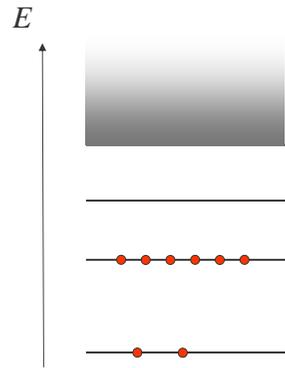
- Bohrsches Atommodell



- Quantummechanisches Atommodell

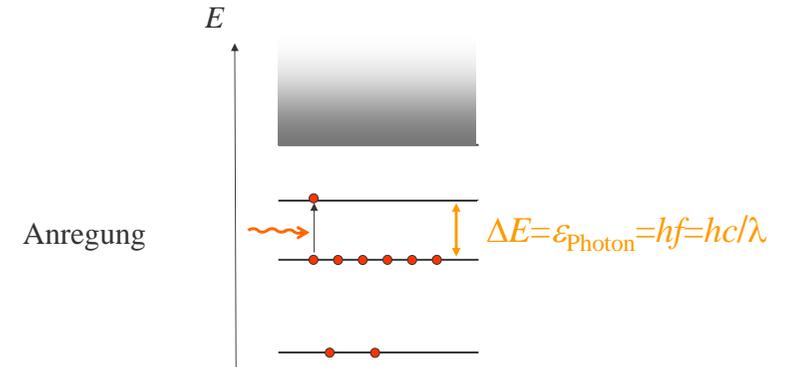


Energieniveaus



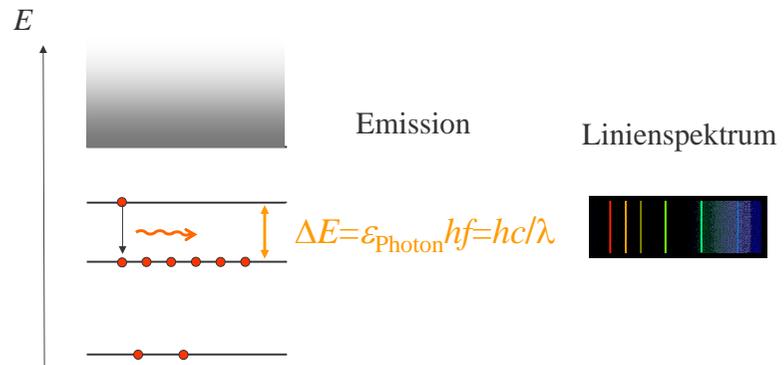
5

## Elektronenübergänge



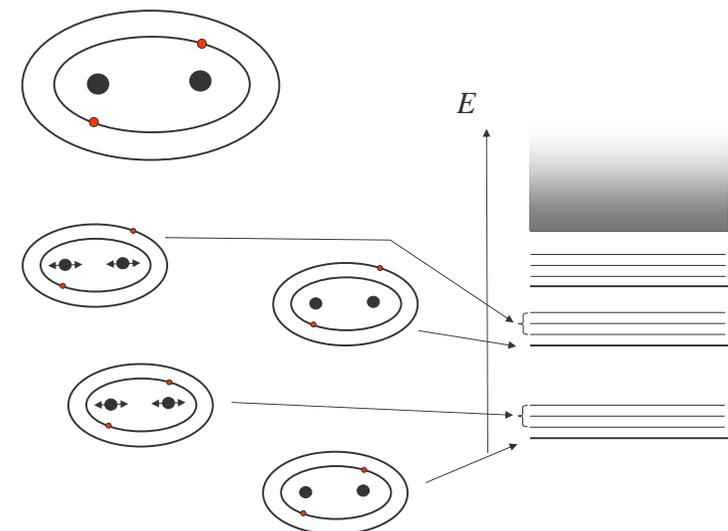
6

## Elektronenübergänge



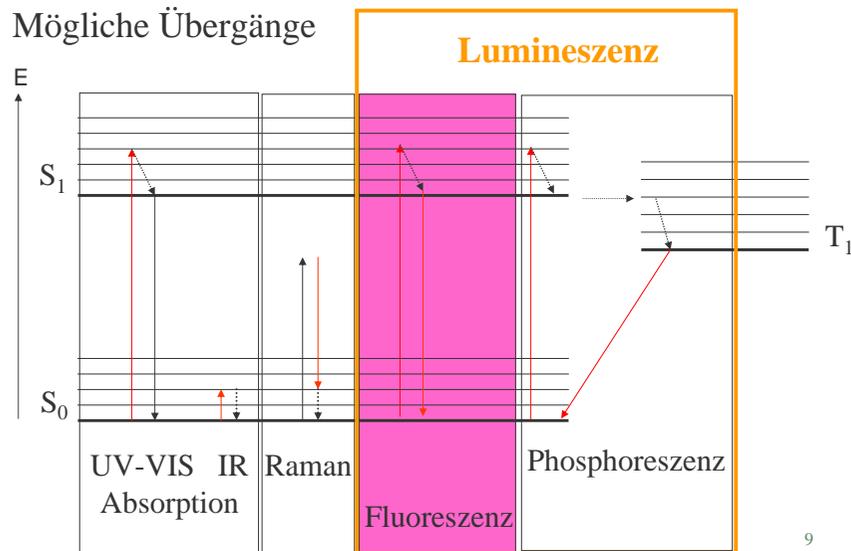
7

## Energiezustände der Moleküle

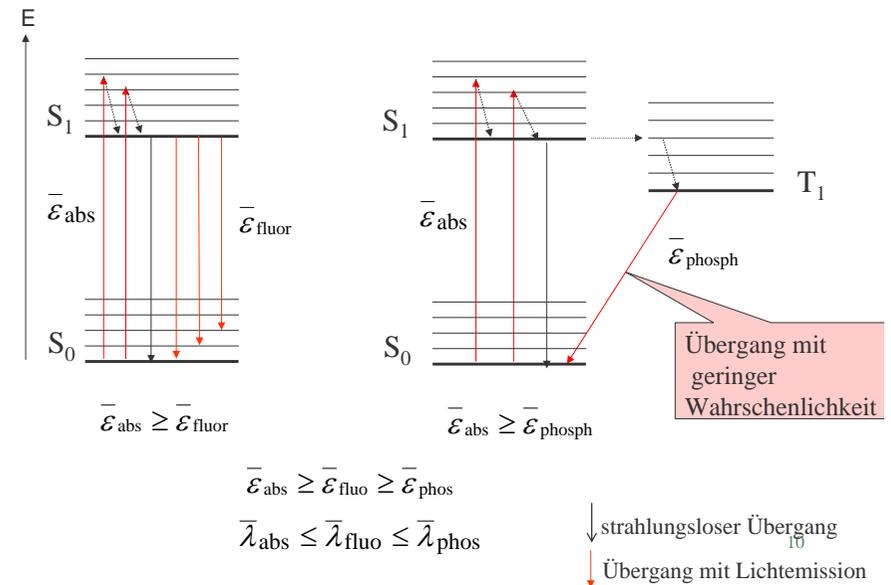


8

## Jablonski Diagramm

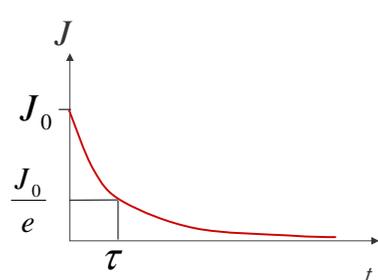


## Fluoreszenz und Phosphoreszenz



## Abkling des Lumineszenzlichtes nach einem impulsförmigen Anregung

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



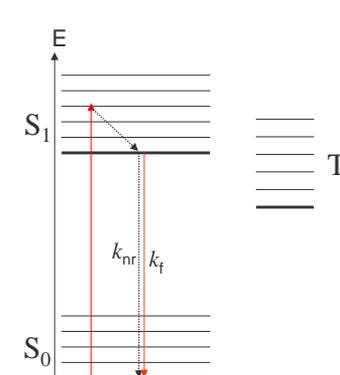
$$J = J_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$\tau$ : 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



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

- $k_f$  Wahrscheinlichkeit des Fluoreszenzüberganges (mit Lichtemission)
- $k_{nr}$  Wahrscheinlichkeit des Überganges ohne Lichtemission („nonradiative“)

Fluor. Farbstoffe:  $Q \approx 1$

# Messung der Lumineszenz

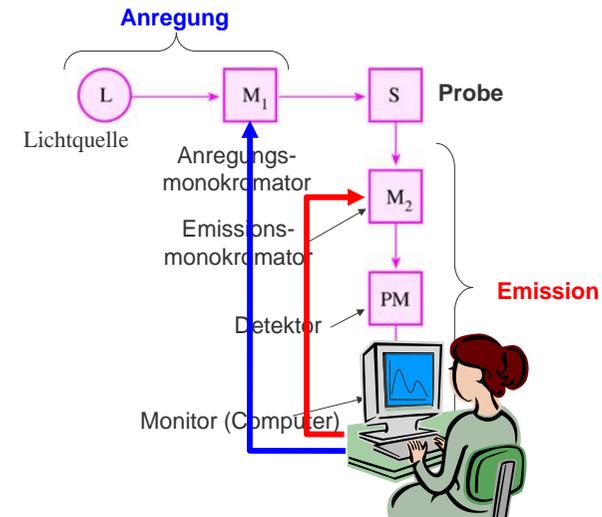
Messbare Größen:

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

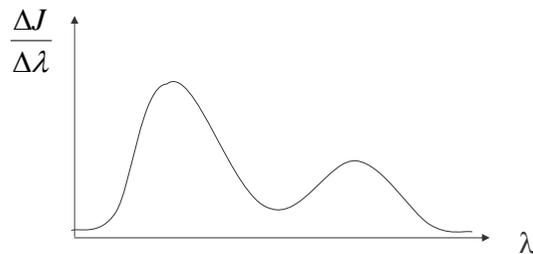


Information (Struktur, Umgebung, Bewegung, Menge...)

# Messung – Aufbau eines Luminometers



# Das Spektrum

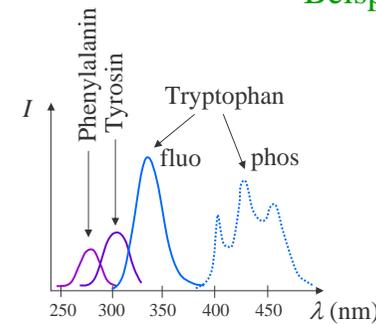


λ

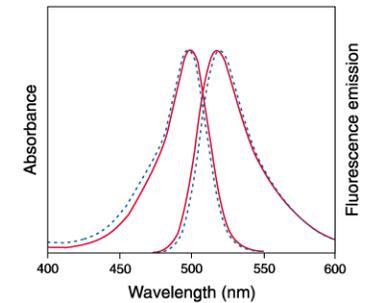


- Emissionsspektrum
  - Fluoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{fluo}}$
  - Phosphoreszenzspektrum  $\lambda_{\text{phosph}}$
- Anregungsspektrum  $\lambda_{\text{abs}}$

# Beispiele



# Fluorescein



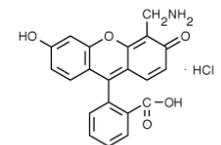
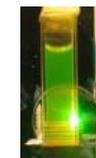
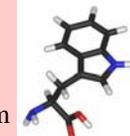
z. B. Tryptophan:

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

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

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

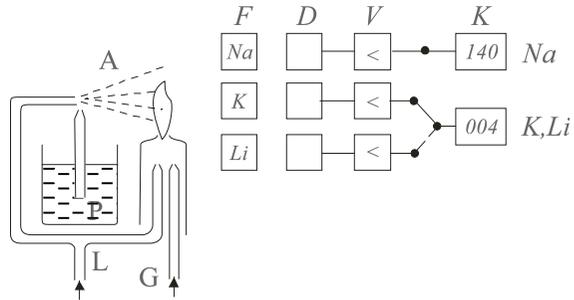
$$\tau_{\text{phos}} = 0,001 - 5 \text{ s}$$



# Anwendungen

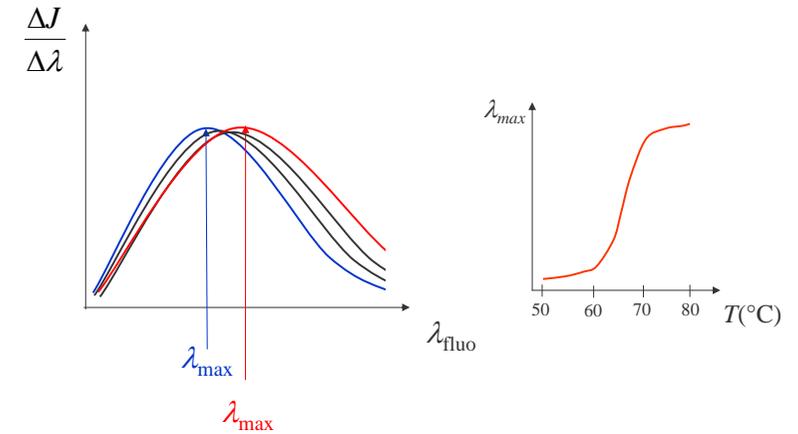
## 1. Labordiagnostik

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



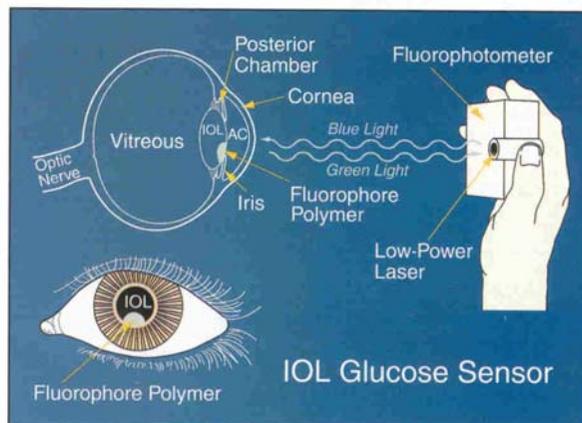
## 2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (z. B. Proteine)

Denaturation eines Eiweißes mit Hilfe der Fluoreszenz des Tryptophans

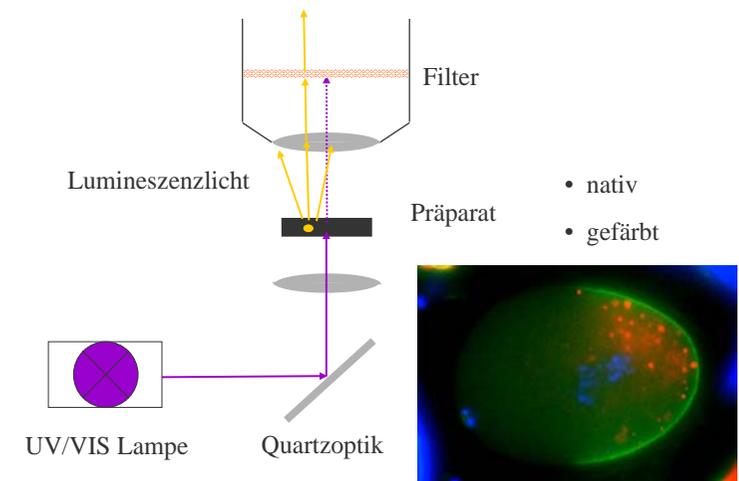


## 3. Biosensoren

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



## 4. Lumineszenzmikroskopie





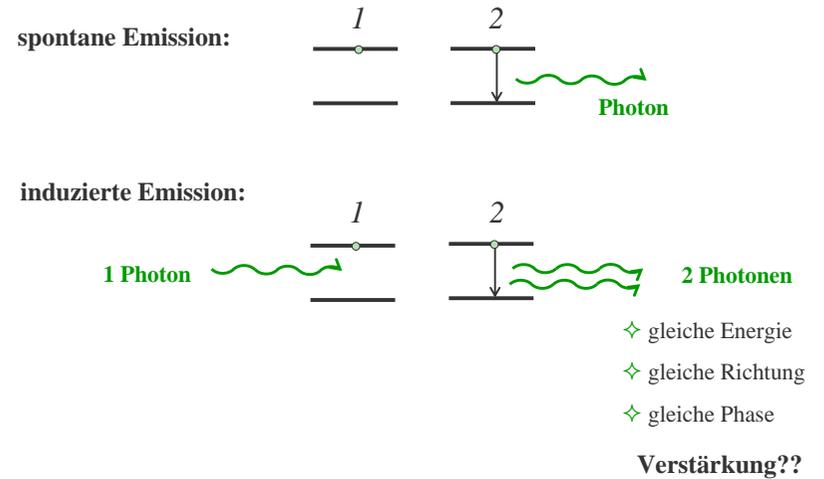
# Laser

**LASER** = **l**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation



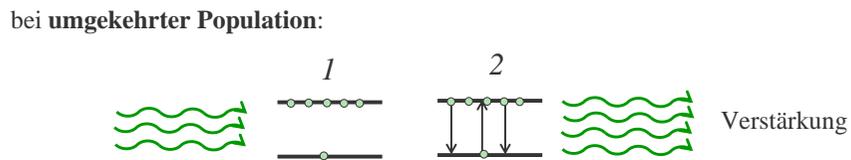
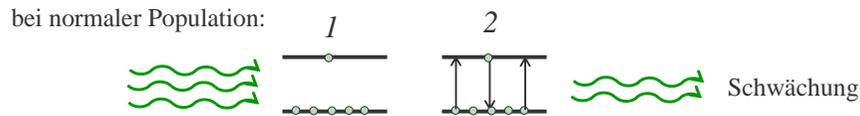
- ◇ Induzierte Emission
- ◇ Populationsumkehr
- ◇ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ◇ Eigenschaften des Laserlichtes
- ◇ Lasertypen
- ◇ Anwendungen

# Induzierte Emission



# Populationsumkehr

Absorption und induzierte Emission konkurrieren!



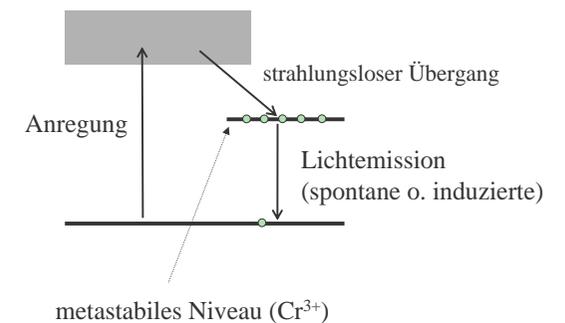
- ➔ 1. Drei-Niveau System
- ➔ 2. metastabiles Niveau

# Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser



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

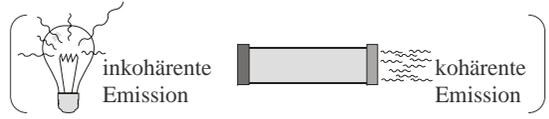
Drei-Niveau Lasersystem:



# Eigenschaften des Laserlichtes

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

◇ kohärent

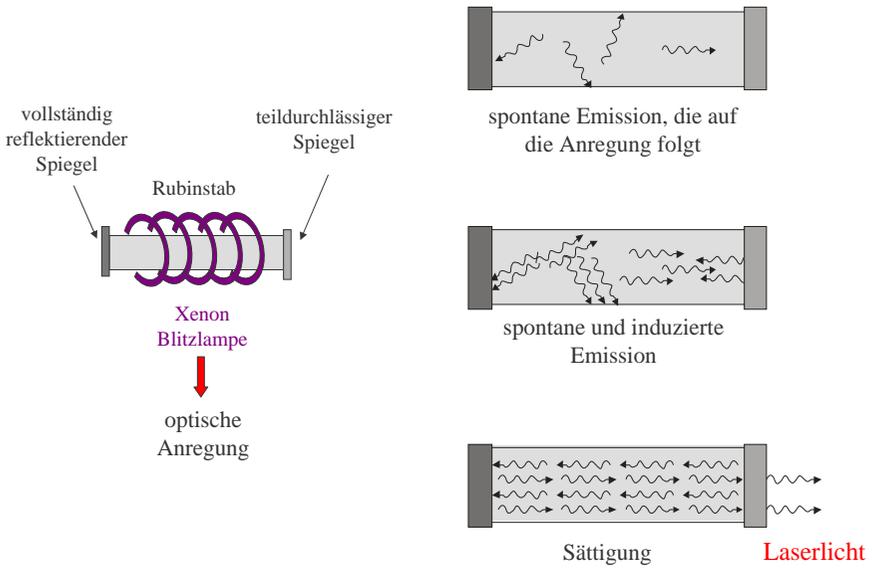


◇ kleine Divergenz  $\left[ \Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad} \right]$

+

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

◇ polarisiert



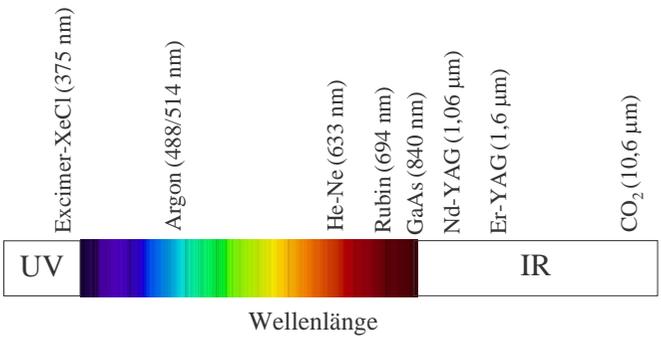
# Lasertypen

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

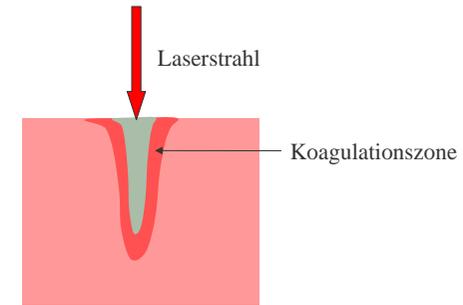
## Grundlage:

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.

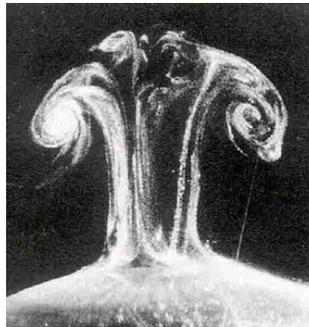


## Vorteile der Laserchirurgie:

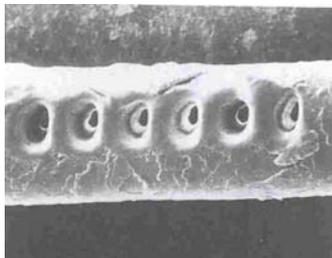
- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben



Laserbehandlung der Herzwand



Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar



Laserbohrung durch das Trommelfell

## Humanmedizinische Beispiele



„port wine stain“ vor der Lasertherapie

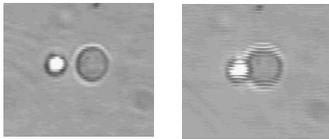
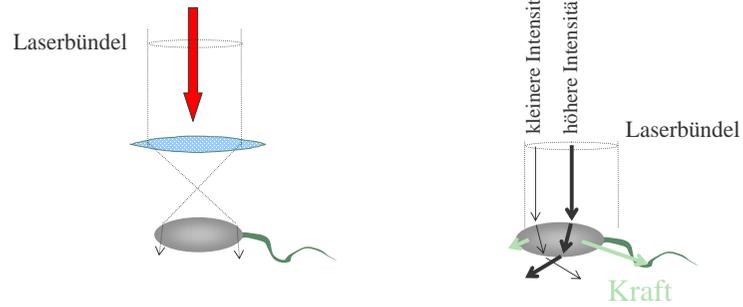
nach der Laserbestrahlung

## Entfernung von Tätowierungen



Entfernung von Fältchen

# Laserpinzette



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

