

## Entstehung des Lichtes: Temperaturstrahlung, Lumineszenz

### VI. Lichtemission

#### 2. Temperaturstrahlung

- a) Qualitative Beschreibung
- b) Größen zur quantitativen Beschreibung
- c) Gesetze: Wiensches Gesetz, Stefan-Boltzmann-Gesetz
- d) Anwendungen: IR-Therapie, IR-Diagnostik, Wärmehaushalt des Körpers

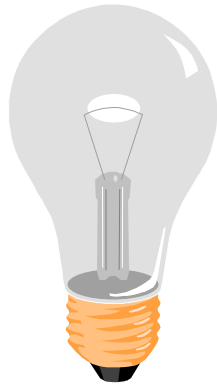
#### 3. Lumineszenz

- a) Qualitative Beschreibung
- b) Mechanismus bei Atomen und Molekülen
- c) Gesetze: Stokes-Verschiebung, exponentielles Abklingen
- d) Anwendungen: Fluoreszenzspektroskopie, -mikroskopie, Sensoren, Lampen, Strahlungsdetektoren

# Lichtquellen

„warmes“ Licht

kontinuierliches Spektrum



**Temperaturstrahler**

„kaltes“ Licht

Linien- oder Bandenspektrum



**Lumineszenzstrahler**

## 2. Temperaturstrahlung

### a) Qualitative Beschreibung:

- jeder Körper emittiert Temperaturstrahlung bei jeder Temperatur (Ausnahme: 0 K)
- elektromagnetische Strahlung (z.B. IR-Strahlung = „Wärmestrahlung“)
- stark temperaturabhängig (wachsende  $T \Rightarrow$  zunehmende Intensität, spektrale Verschiebung)
- Auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen!
- kontinuierliches Spektrum

### b) Größen zur quantitativen Beschreibung:

- spezifische Ausstrahlung ( $M$ ):  $M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$
- spektrale spezifische Ausstrahlung ( $M_\lambda$ ):  $M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \quad \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{nm}} \right)$

$$\left( \Rightarrow M = \int M_\lambda d\lambda \text{ , d. h. das Flächenstück unter der } M_\lambda(\lambda) \text{ Kurve} \right)$$

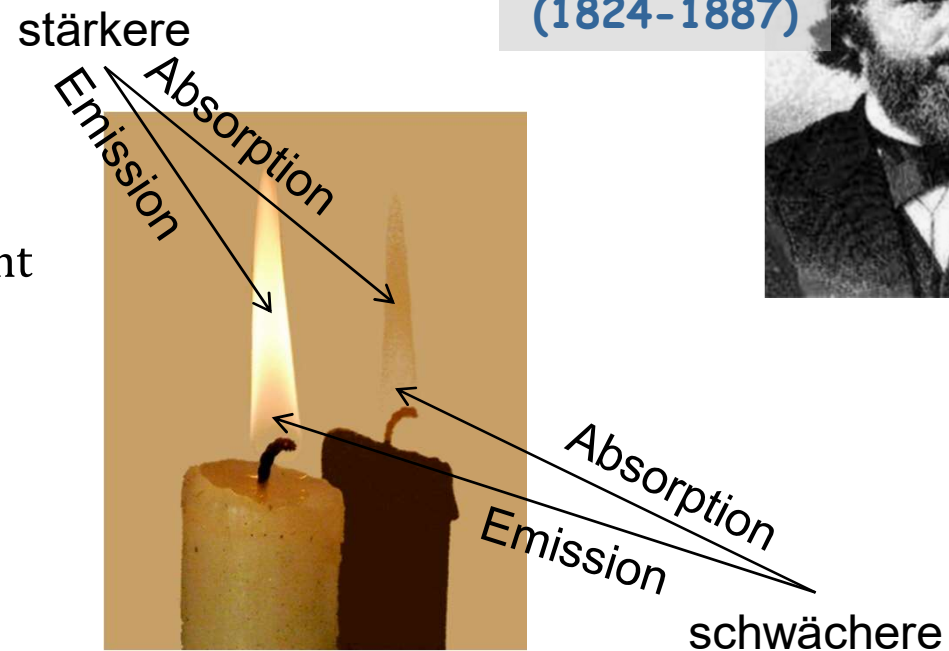
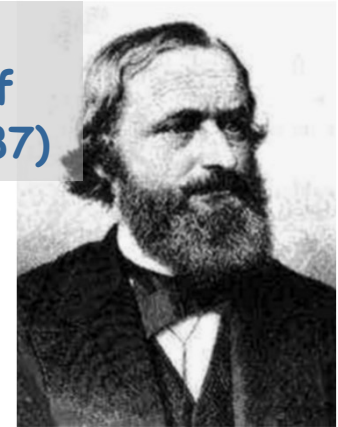
- spektraler Absorptionskoeffizient ( $\alpha$ ):  $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

### c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz:

$$\frac{M_{\lambda, \text{Körper1}}}{\alpha_{\text{Körper1}}} = \frac{M_{\lambda, \text{Körper2}}}{\alpha_{\text{Körper2}}} = \text{konstant}$$

Gustav  
Kirchhoff  
(1824-1887)



stärkere  
Absorption  
und  
Emission



schwächere  
Absorption  
und  
Emission



Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

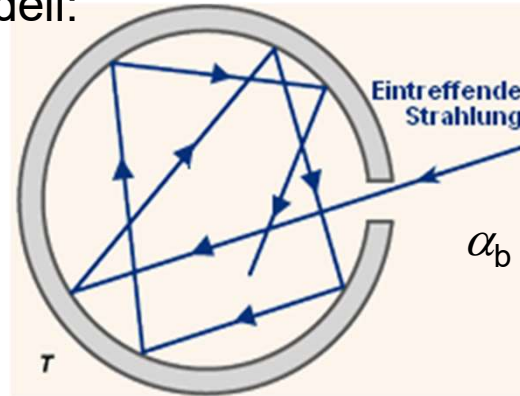
absolut schwarzer Körper/Strahler

$$\alpha = 1 (= \alpha_b)$$

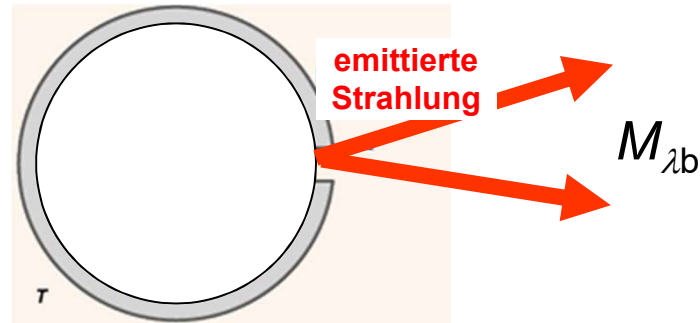
(„black body” = b)

Absorption:

Modell:

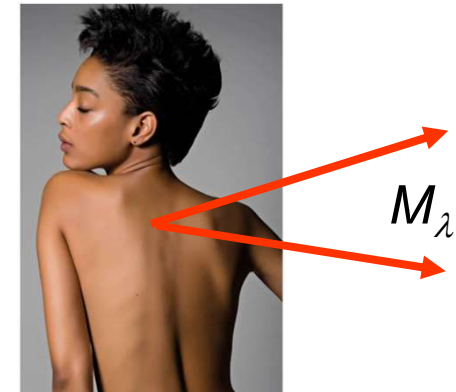
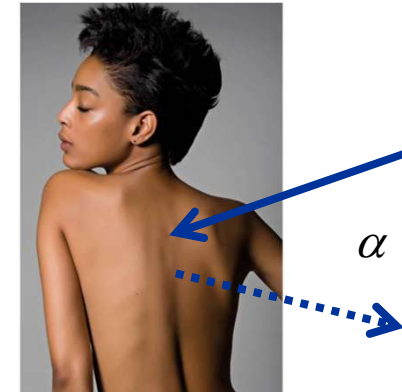


Emission:



ein reeller Körper

$$\alpha < 1$$



Vergleichen wir einen realen Körper  
mit dem absolut schwarzen Körper  
mithilfe des kirchhoffschen

Gesetzes:

$$\frac{M_\lambda}{\alpha} = \frac{M_{\lambda b}}{\alpha_b} = \frac{M_{\lambda b}}{1} = M_{\lambda b}$$

$$M_\lambda = \alpha \cdot M_{\lambda b}$$

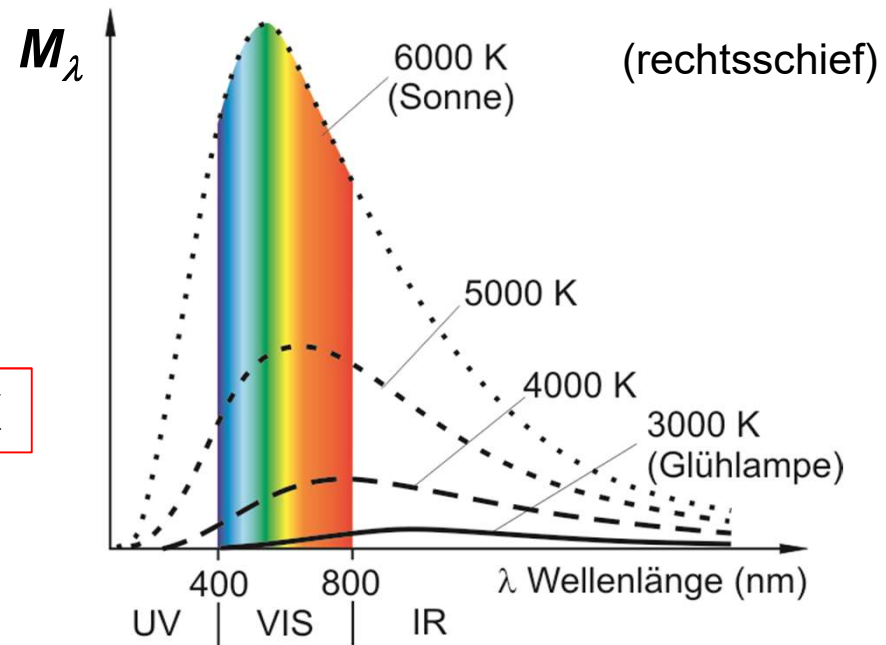
Wenn  $\alpha$  des Körpers bekannt ist kann  $M_\lambda$   
aus  $M_{\lambda b}$  berechnet werden.

Wir beschäftigen uns nur mit den Gesetzen  
für den absolut schwarzen Strahler.

absolut schwarzer Körper/Strahler:

- kontinuierliches Spektrum:
- wiensches Verschiebungsgesetz:

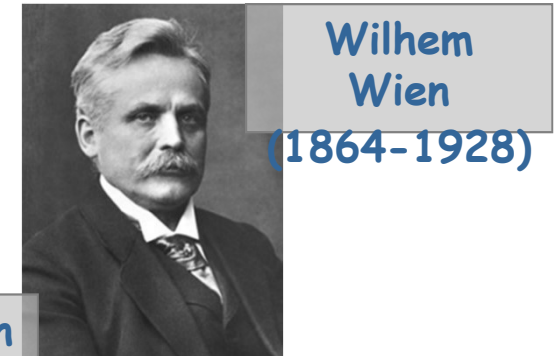
$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstant} = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$



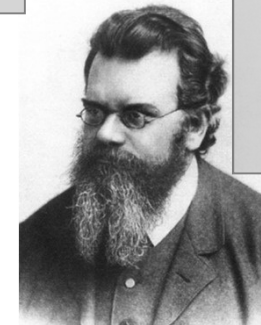
- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$



Jozef Stefan  
(1835-1893)

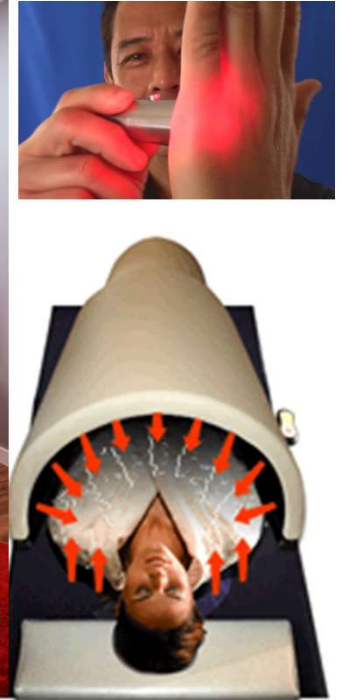


Ludwig Boltzmann  
(1844-1906)



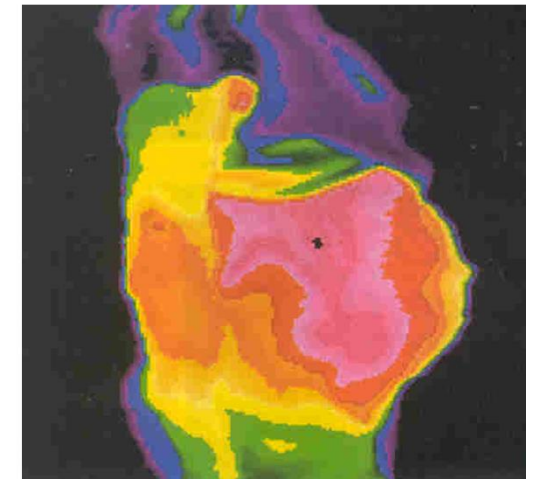
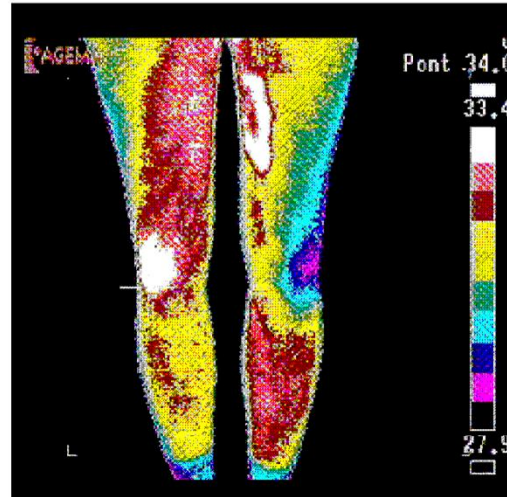
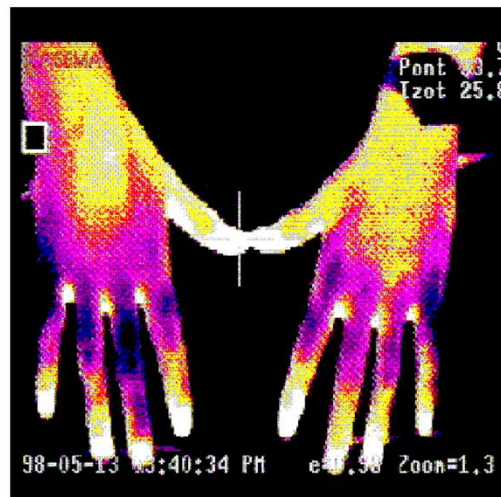
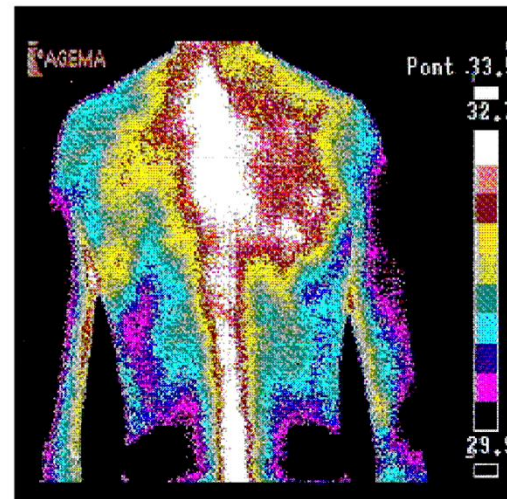
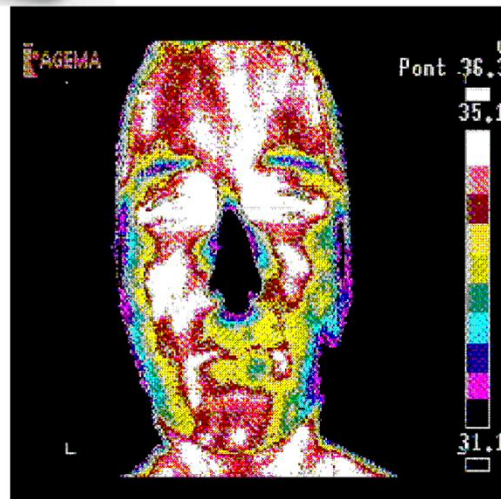
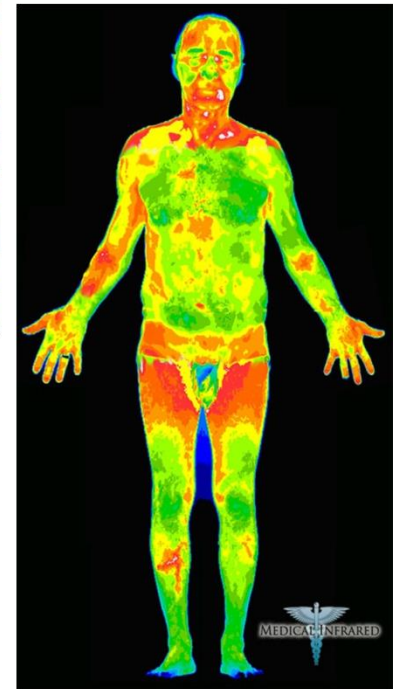
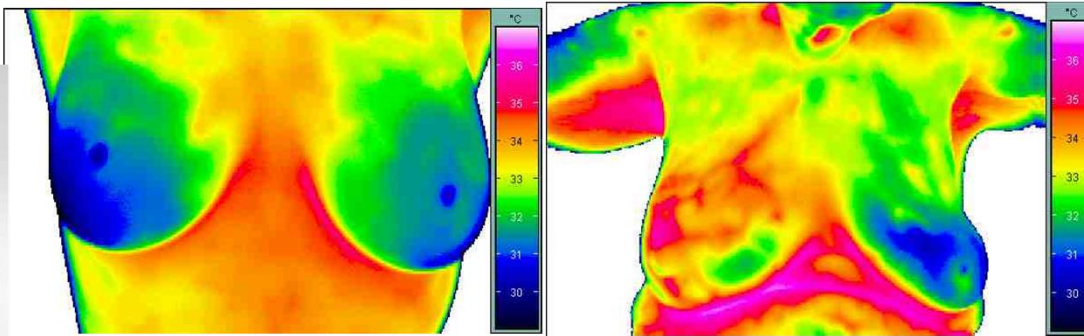
## d) Anwendungen:

- IR-Therapie:

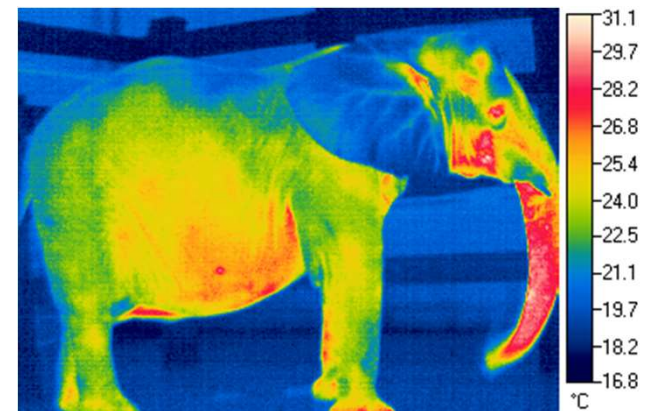
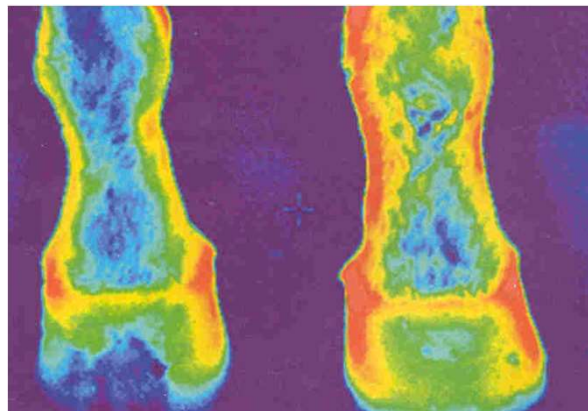
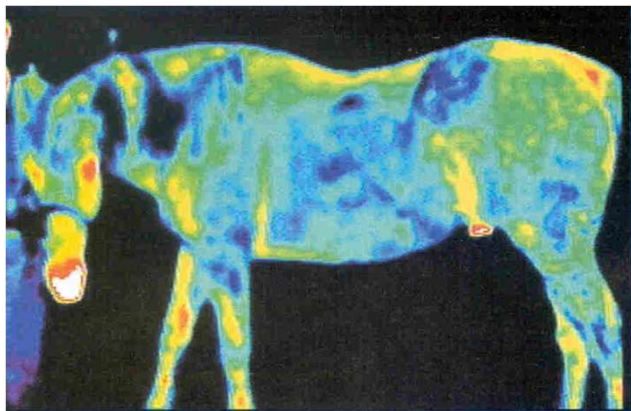




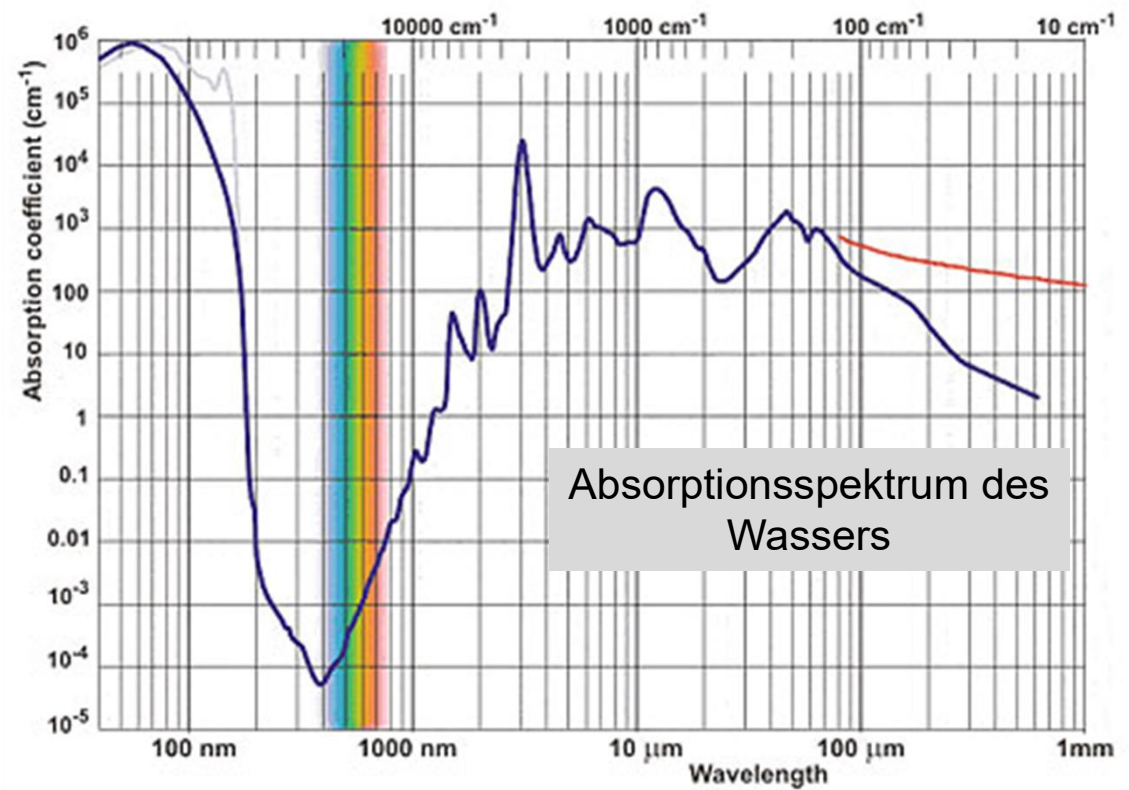
■ IR-Diagnostik:







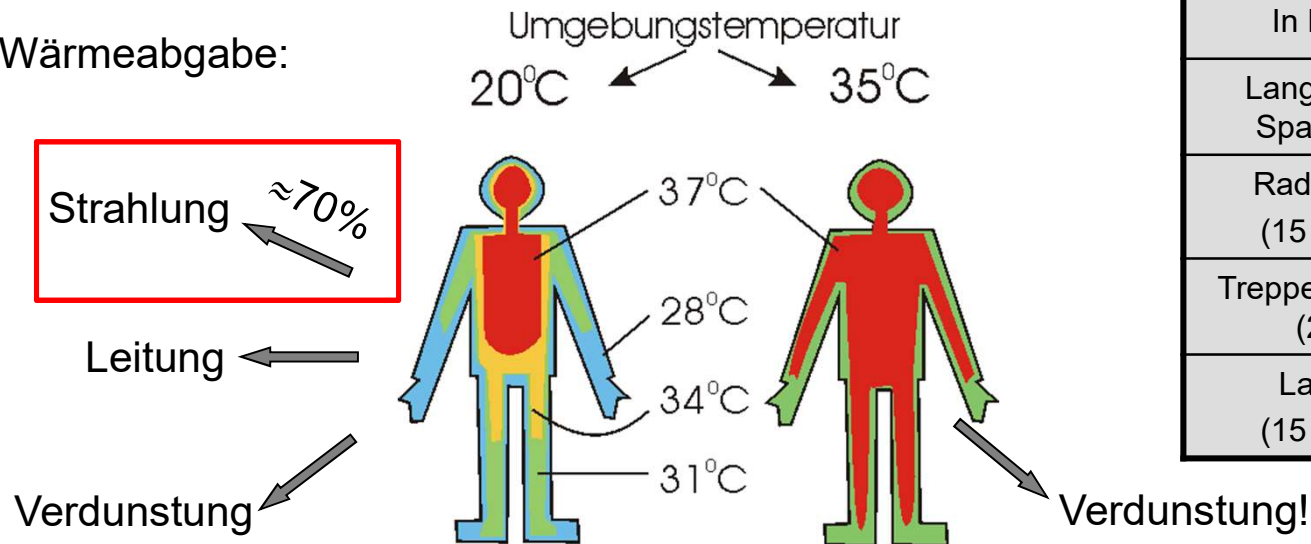
□  $\lambda_{\text{max}}$  der IR-Strahlung des Körpers:



- **Wärmehaushalt des Körpers:**

- Problem: Stoffwechsel  $\Rightarrow$  Wärmebildung  $\Rightarrow$  Wärmeabgabe ist nötig zur konstanten Körpertemperatur

- **Wärmeabgabe:**



| Aktivität            | Wärmebildung (W) |
|----------------------|------------------|
| In Ruhe              | 115              |
| Langsames Spazieren  | 260              |
| Radfahren (15 km/h)  | 420              |
| Treppensteigen (2/s) | 700              |
| Laufen (15 km/h)     | 1150             |

- **Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes:**

Netto-Abstrahlung ( $\Delta E$ ):

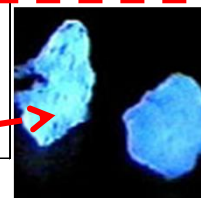
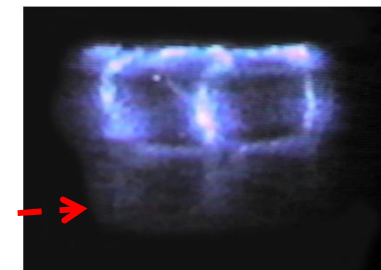
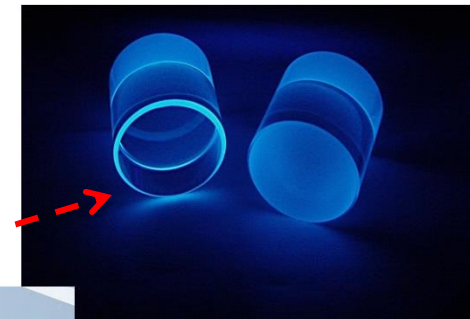
### 3. Lumineszenz

#### a) Qualitative Beschreibung:

- Überschussstrahlung über die Temperaturstrahlung
- nur schwach temperaturabhängig (mit Ausnahme der Thermolumineszenz)
- Linien/Bandenspektrum
- Aus Elektronenübergängen! (Dazu müssen die Elektronen zuerst angeregt werden.)

#### Fluoreszenz&Phosphoreszenz

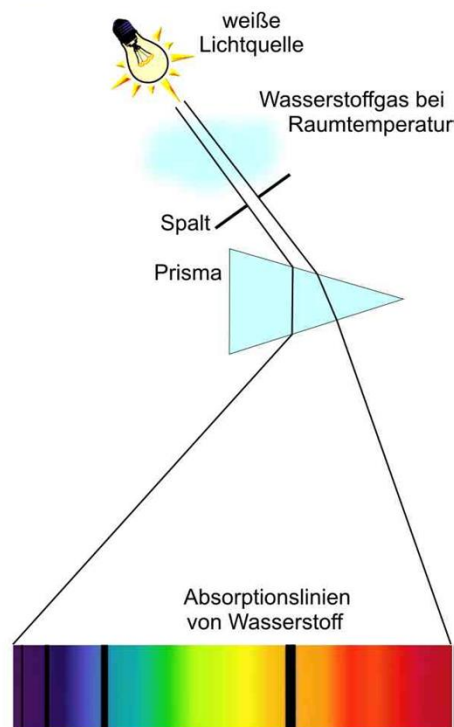
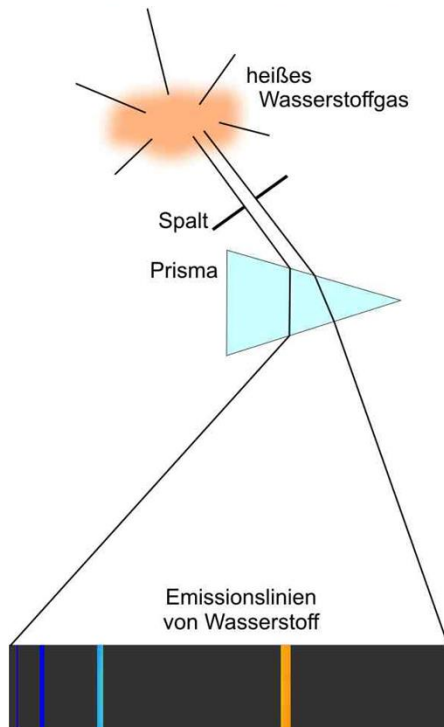
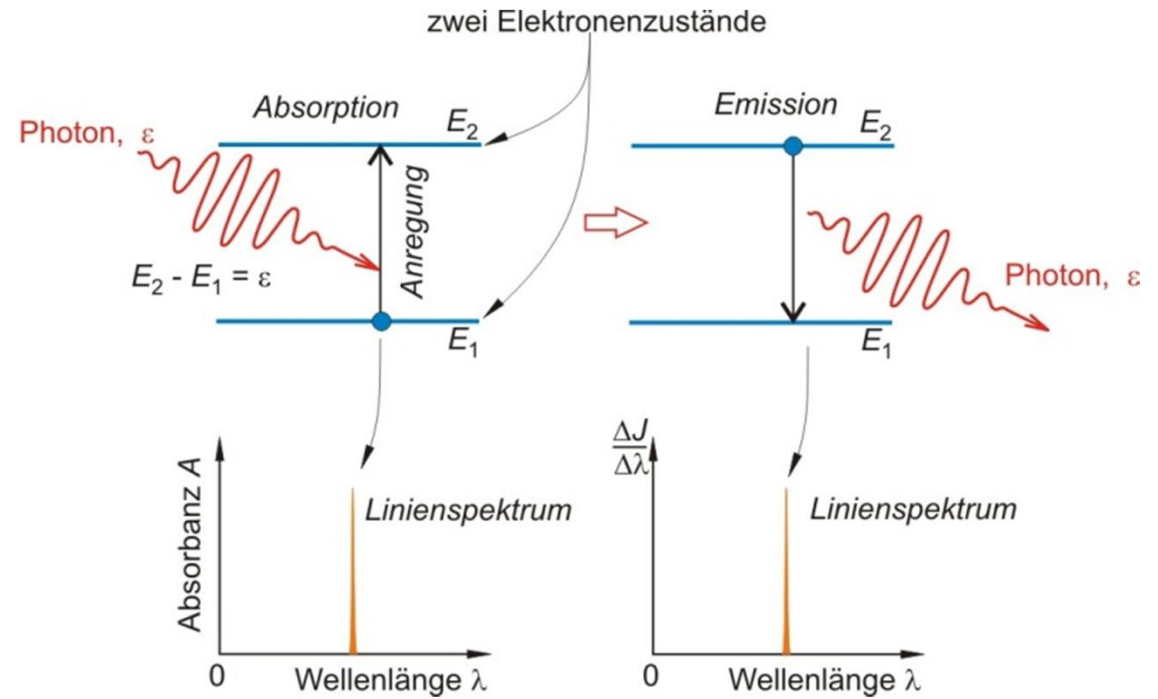
| <i>Art der Anregung</i> | <i>Name</i>                      | <i>Beispiel</i>  |
|-------------------------|----------------------------------|--|
| Licht                   | Photolumin.                      | Chinin-sulphat, Phosphor, ...                              |
| Röntgenstr.             | Röntgenolumin.                   | NaI (Tl)   |
| radioaktive Str.        | Radiolumin.                      | NaI (Tl)   |
| elektrisches Feld       | Elektrolumin.                    | Quecksilberlampen  |
| mechanische Wirkung     | Tribolumin.                      | Würfelsucker   |
| chemische Reaktion      | Chemolumin. (Biolumin.)          | Glühwürmchen   |
| Wärme                   | Flammenphotometrie, Thermolumin. | $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ Ionen<br>$\text{CaSO}_4$ (Dy) |



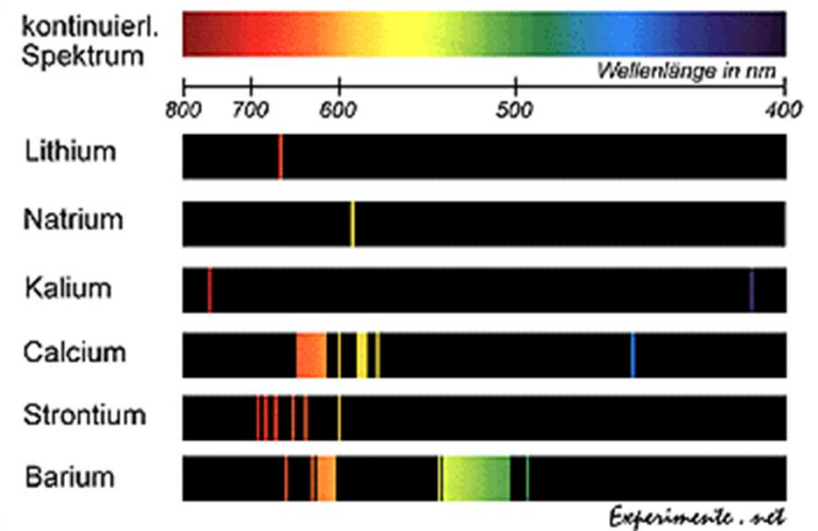


## b) Mechanismus:

### ■ Lumineszenz von Atomen:



### Linienpektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

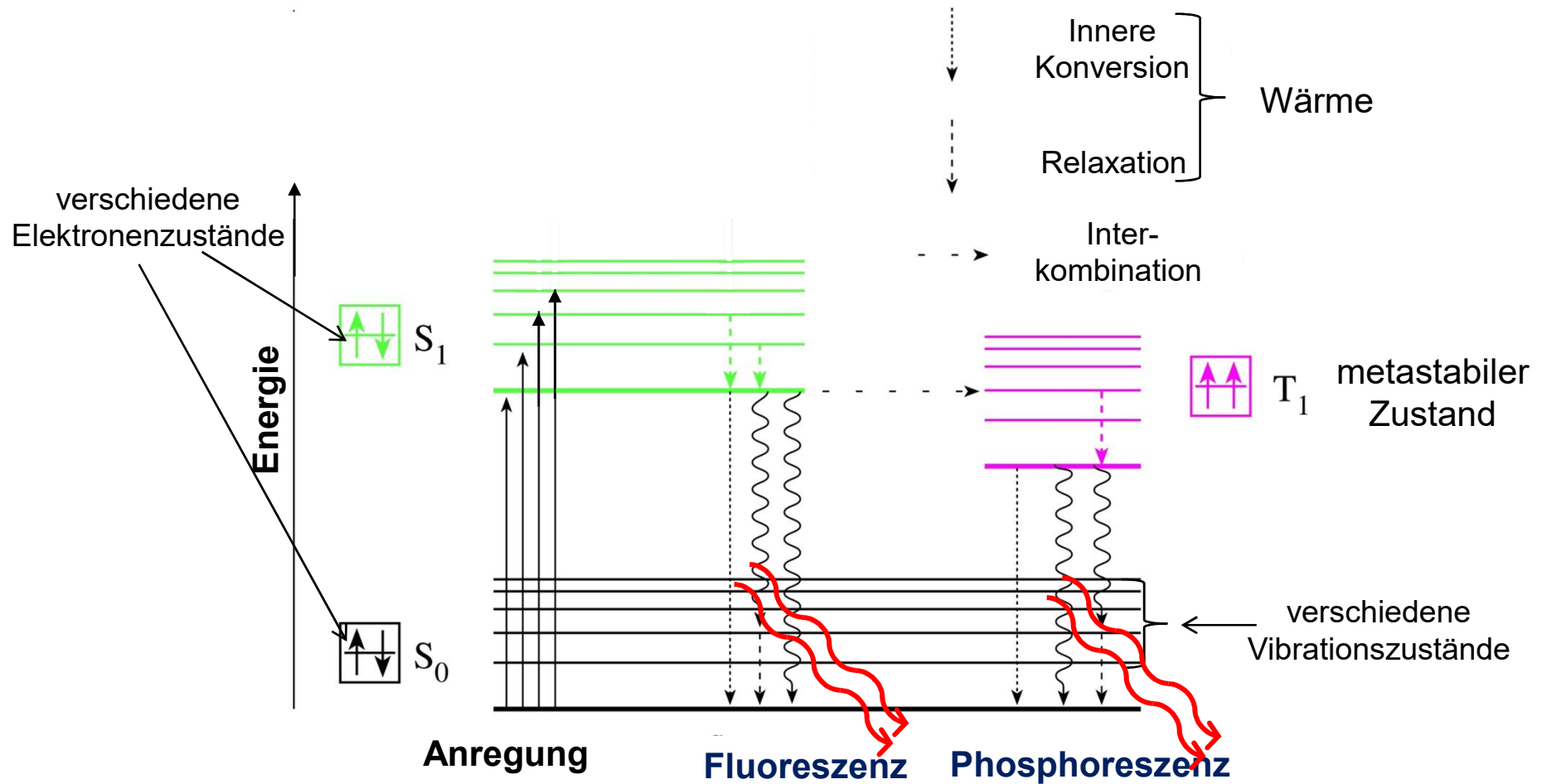




- Lumineszenz von Molekülen:

$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} (+ E_{\text{Rotation}})$$

Jablonski-Diagramm:



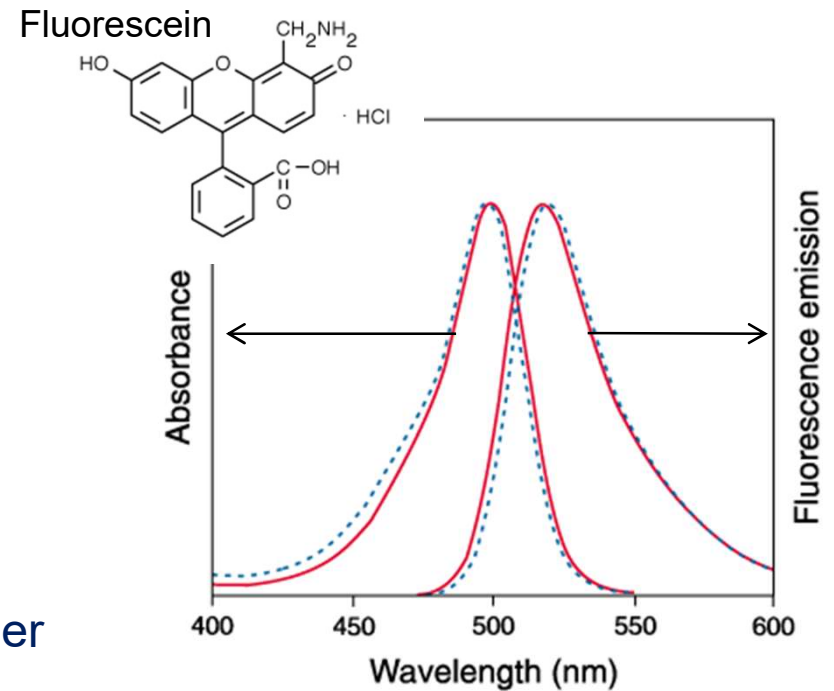
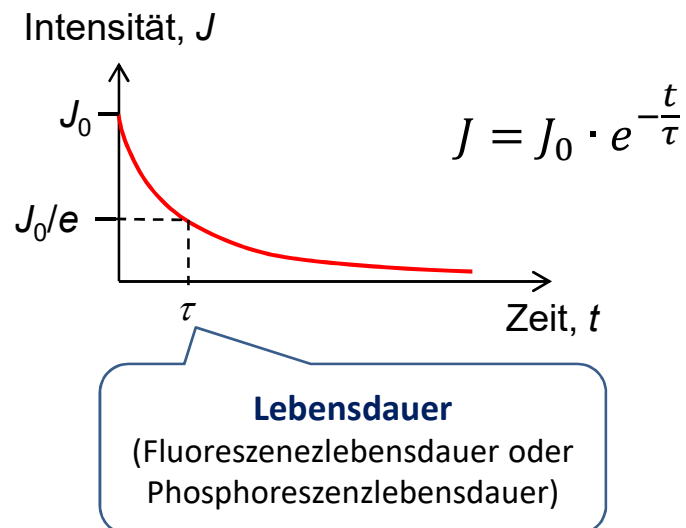
### c) Gesetze:

- Linien/Bandenspektrum
- Stokes-Verschiebung:

$$\varepsilon_{\text{phos}} < \varepsilon_{\text{fluo}} < \varepsilon_{\text{abs}}$$

$$\lambda_{\text{abs}} < \lambda_{\text{fluo}} < \lambda_{\text{phos}}$$

- exponentielles Abklingen in der Zeit nach einer kurzzeitigen impulsförmigen Anregung:



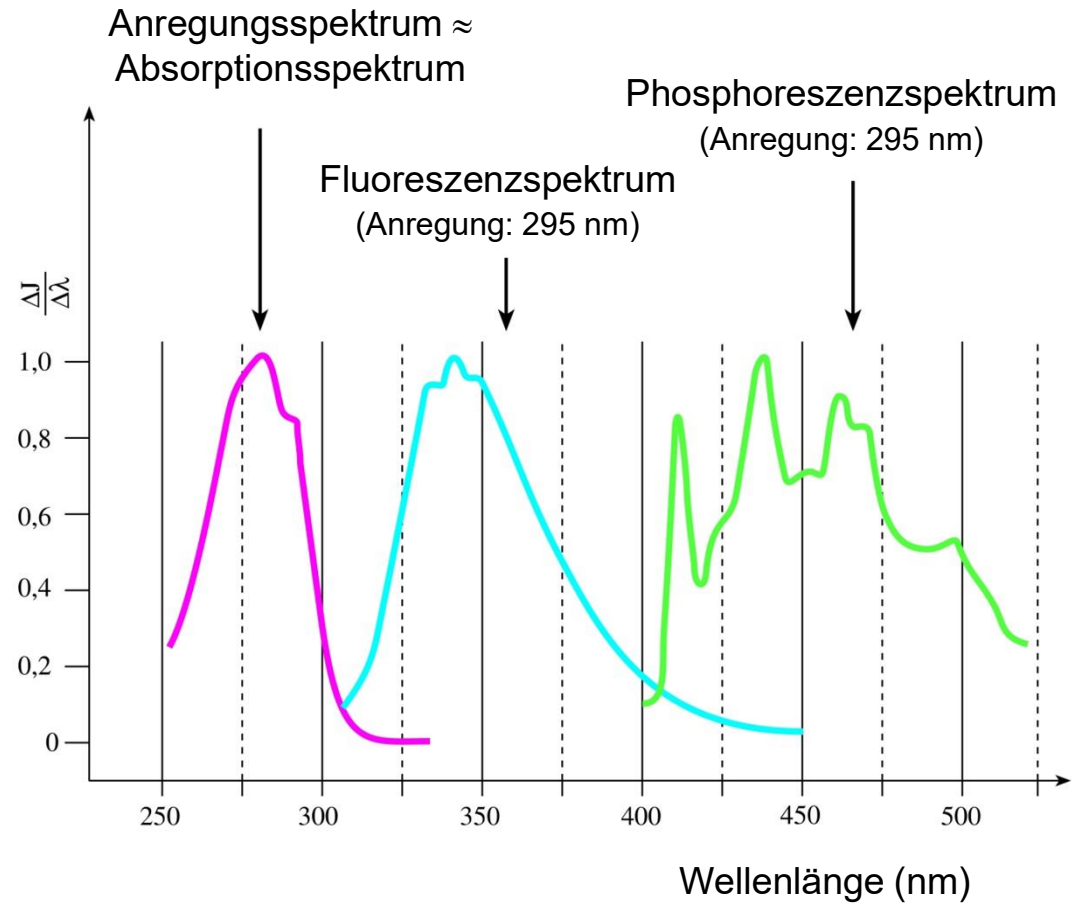
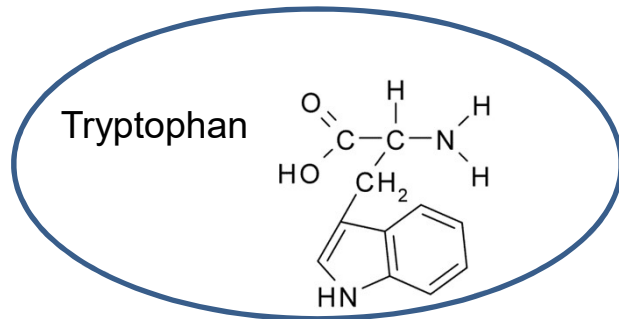
$$\tau_{\text{fluo}} < \tau_{\text{phos}}$$

$\approx \text{ns}$

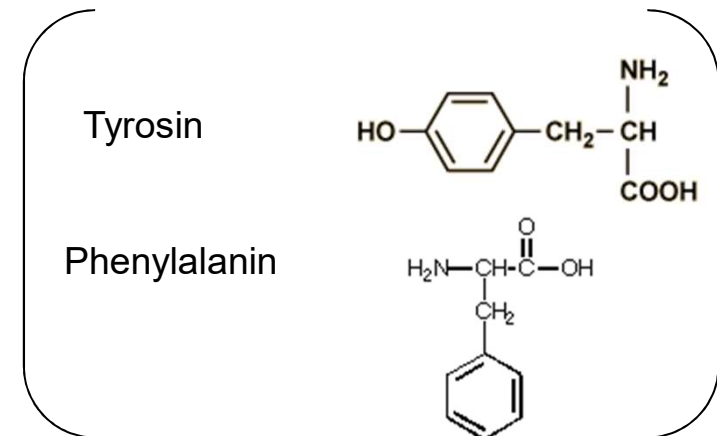
$\approx \mu\text{s} - \text{s}$

## d) Anwendungen:

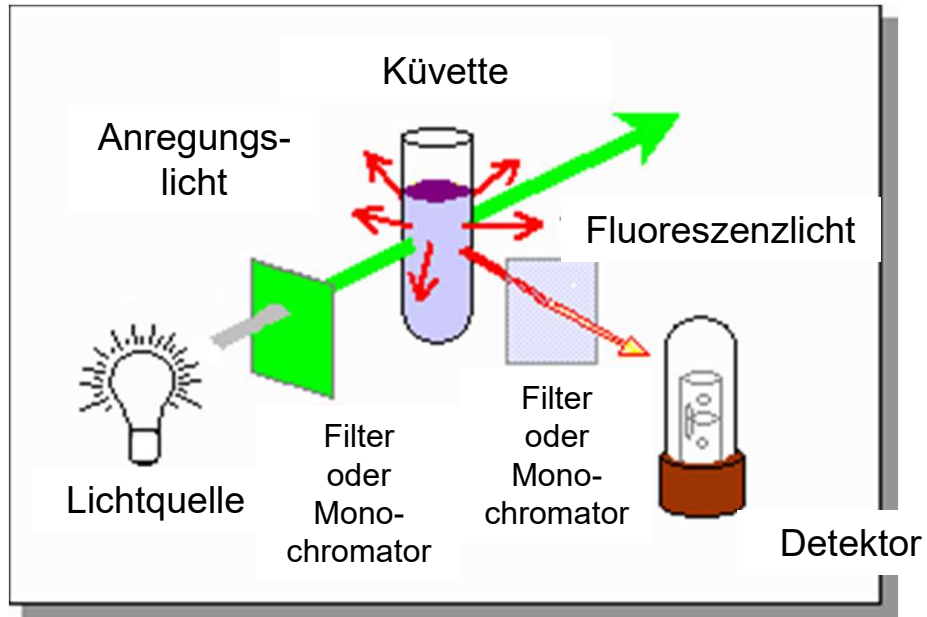
- Fluoreszenzspektroskopie  
z.B. Proteinforschung



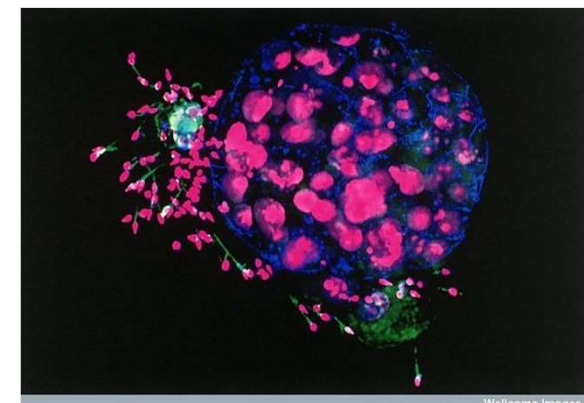
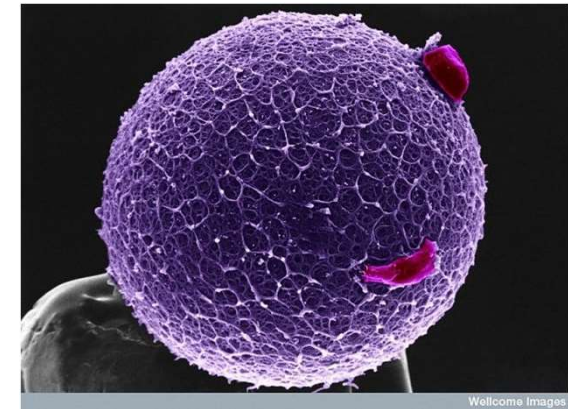
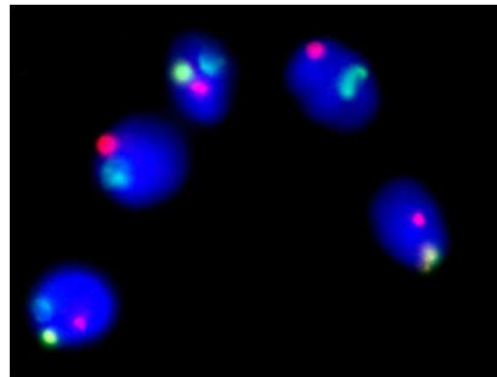
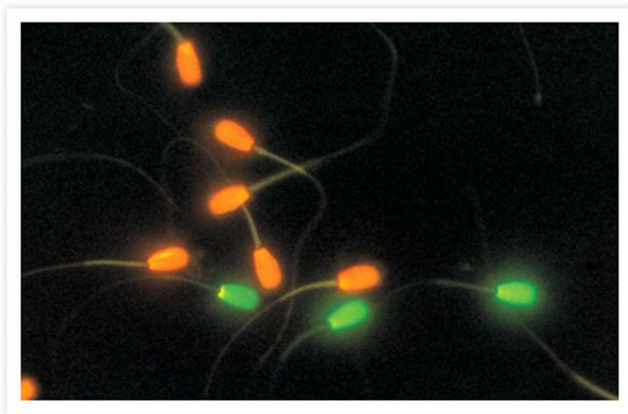
Die Eigenschaften des Lumineszenzlichtes (Intensität, spektrale Verteilung, Stokes-Verschiebung, Lebensdauer, ...) sind sehr empfindlich gegen der Umgebung, Molekülkonformation, Änderungen in diesen, ...



- Aufbau eines Fluorimeters



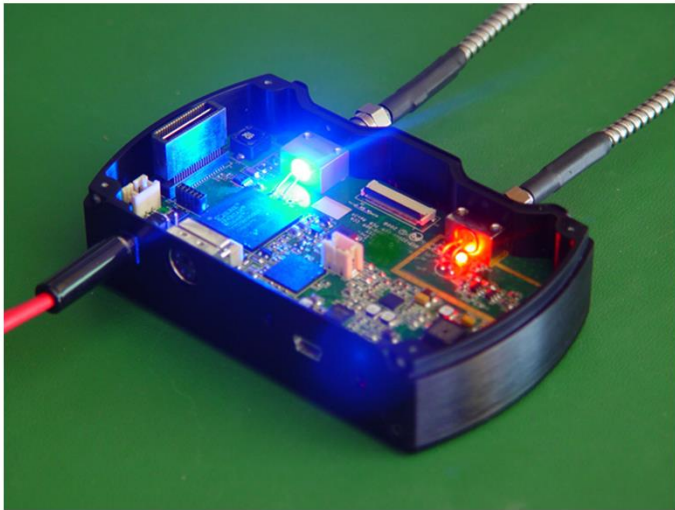
- Fluoreszenzmikroskopie



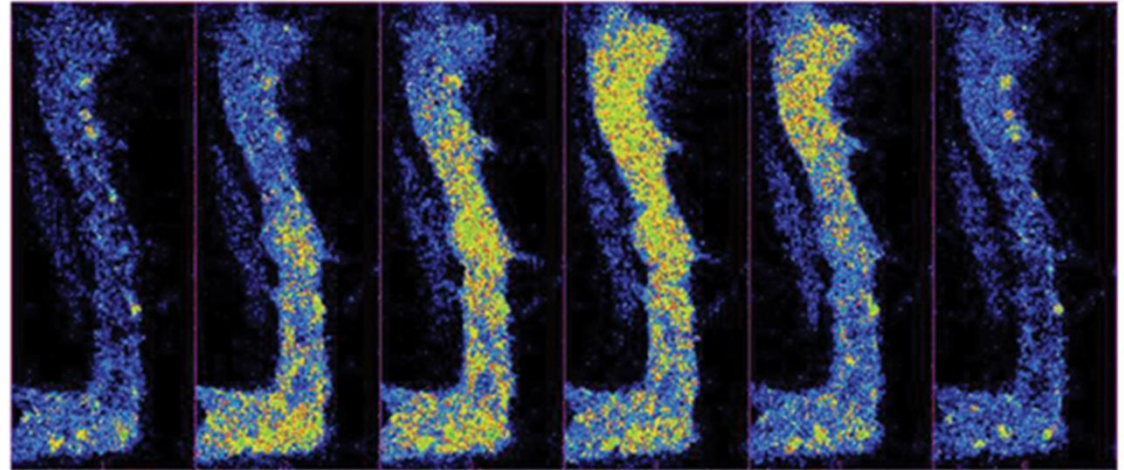


## ■ Sensoren

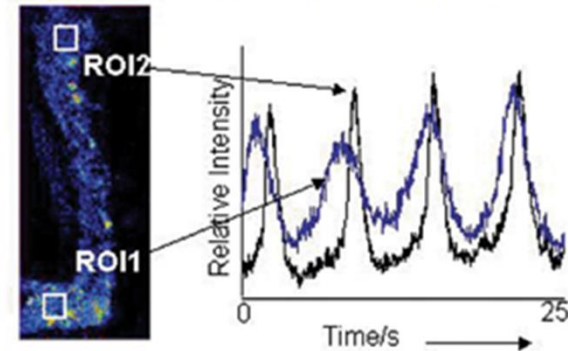
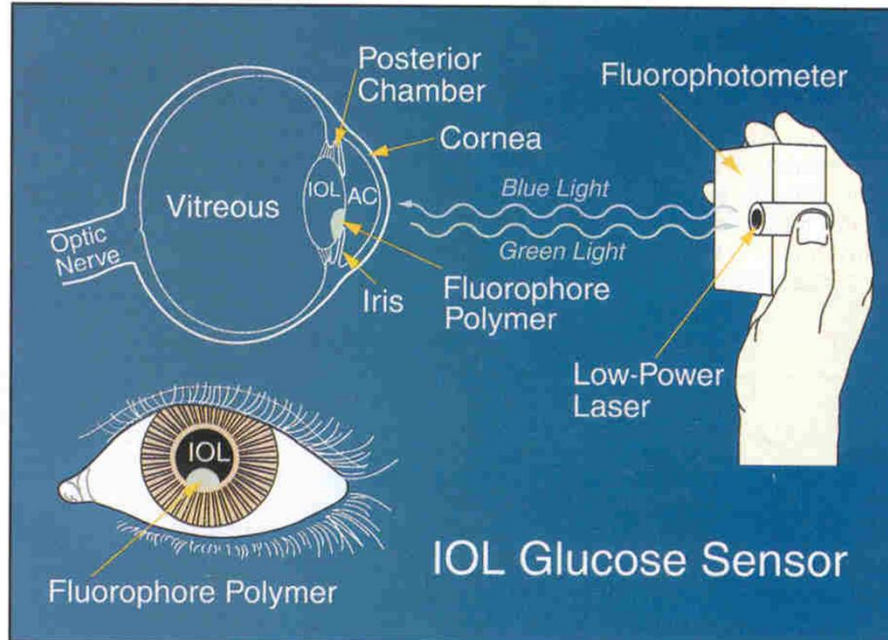
### Sauerstoffsensor



### Calciumsensor $\Rightarrow$ Calciumwellen



### Glukosesensor

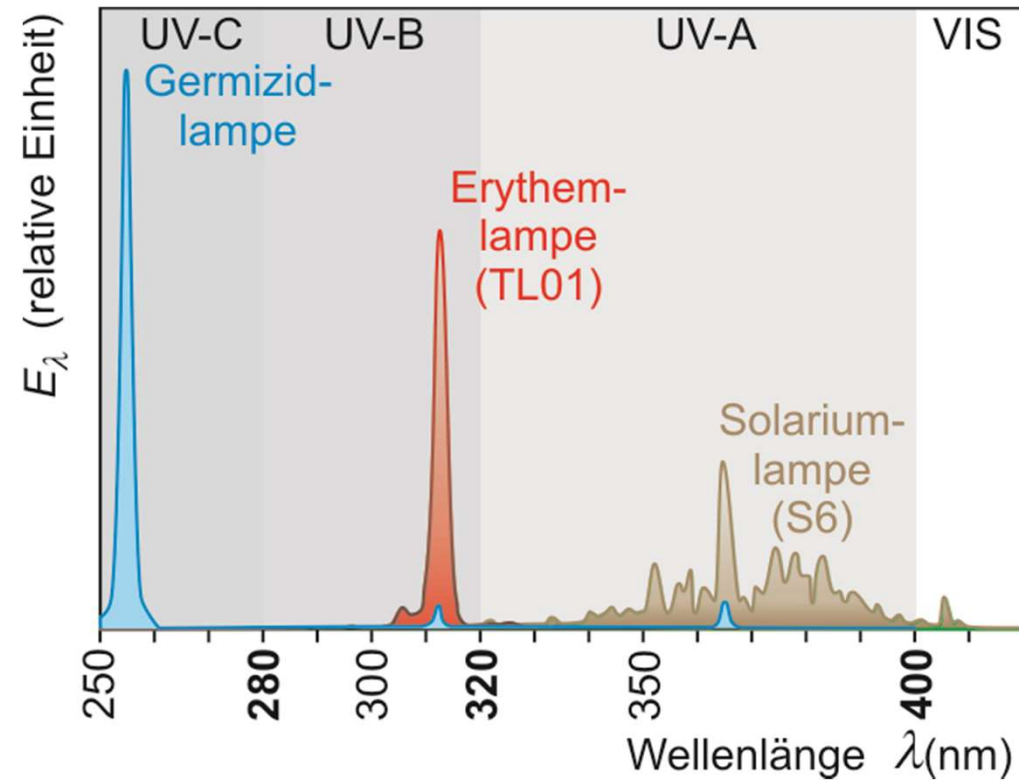


## ■ Lampen

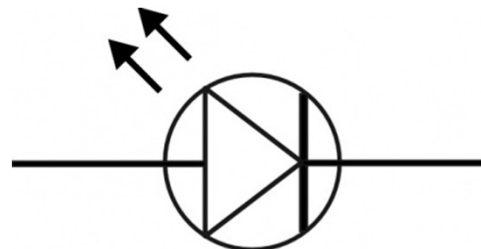
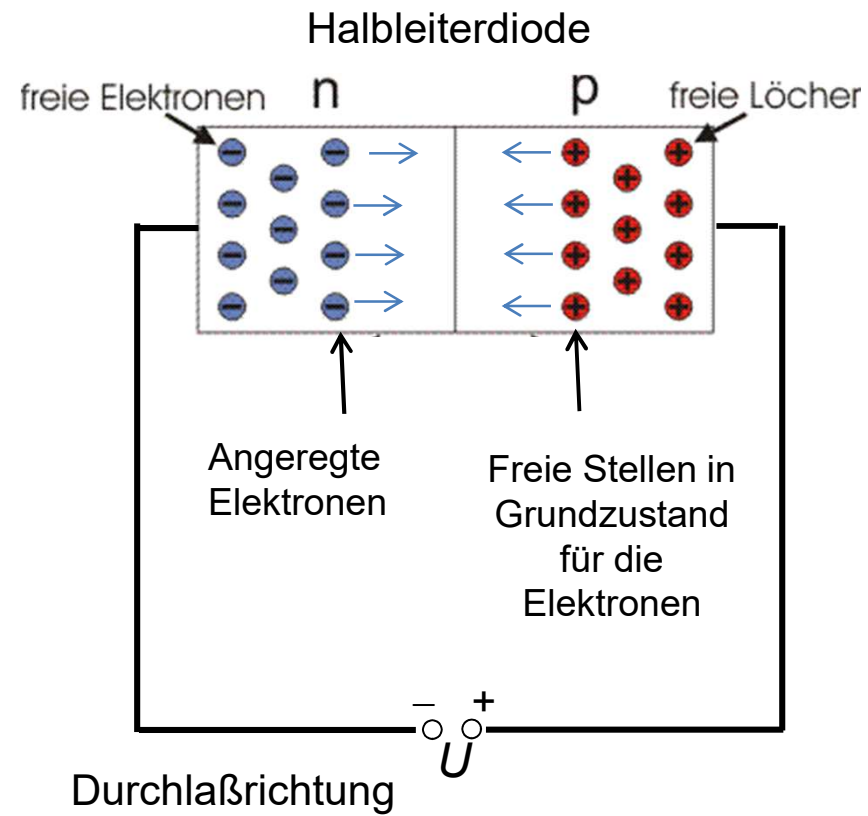
Germizidlampen —  
Niederdruckquecksilberdampf-  
lampe



Blaulichttherapie von  
Neugeborengelbsucht



# Leuchtdiode (light emitting diode — LED)

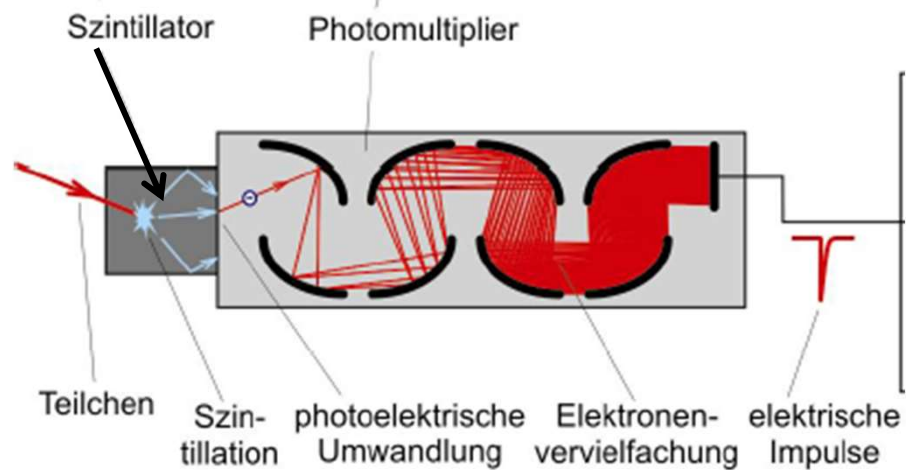
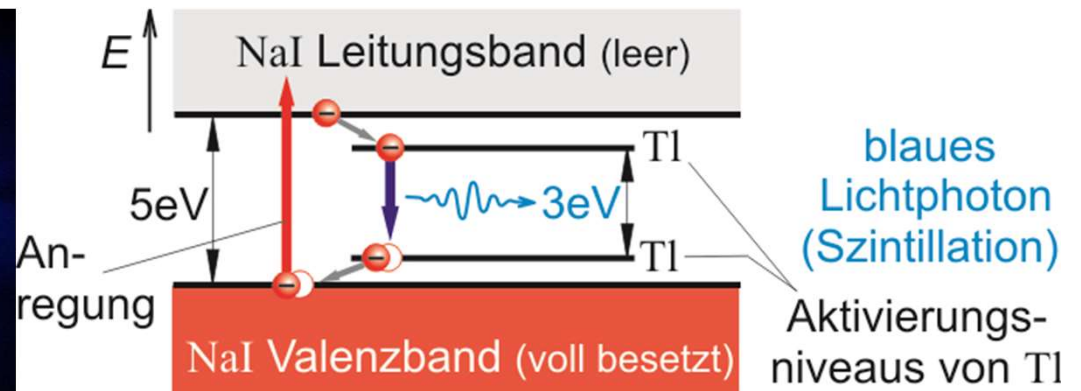
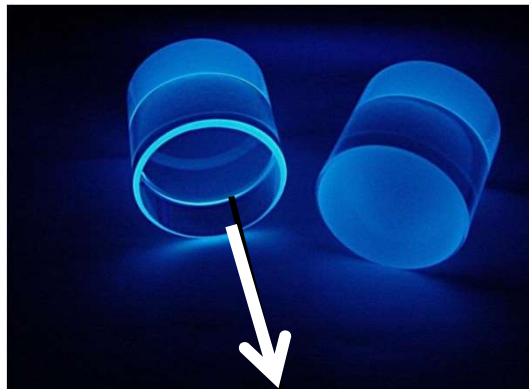




## ■ Strahlungsdetektoren

(Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlungen, ...)

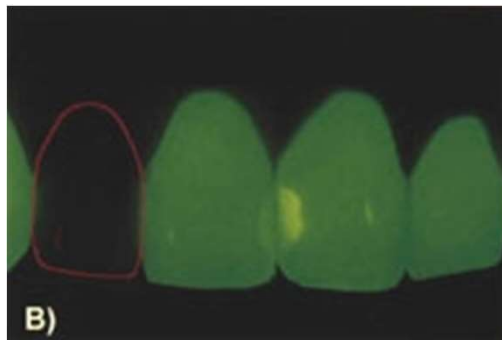
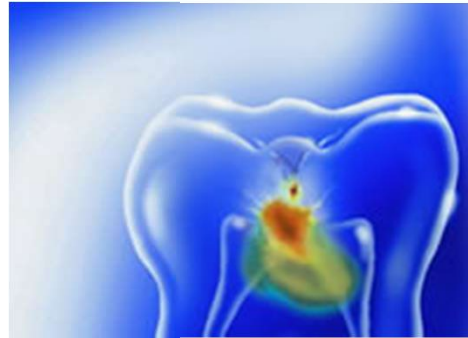
z. B. NaI(Tl)



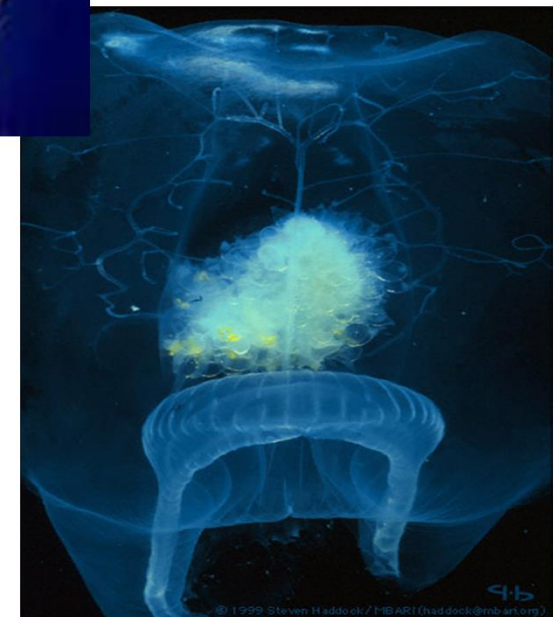
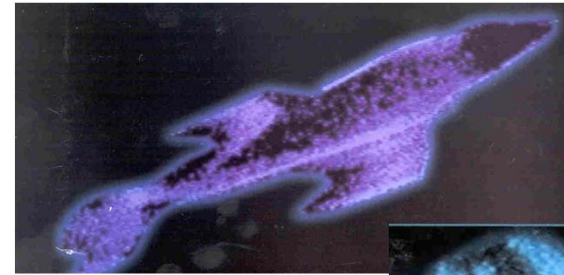
(s. noch Thermolumineszenzdosimeter)



- Zahnheilkunde



- Biolumineszenz



- Laser (s. später)

## Hausaufgaben: Aufgabensammlung

2.47, 49, 51, 53, 60, 61

10.4, 6

