

# Medizinische Biophysik 6. Vorlesung

Licht in der Medizin.

Temperaturstrahlung, Lumineszenz

## V. Lichtemission

### 2. Temperaturstrahlung

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

### 3. Lumineszenz

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

1

## 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 ( $M$ ):  $M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left( \frac{W}{m^2} \right)$
- spektrale spezifische Ausstrahlung ( $M_\lambda$ ):  $M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \left( \frac{W}{m^2 \cdot nm} \right)$   
 $\left( \Rightarrow M = \int M_\lambda d\lambda, \text{ d. h. das Flächenstück unter der } M_\lambda(\lambda) \text{ Kurve} \right)$
- spektraler Absorptionskoeffizient ( $\alpha$ ):  $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

3

## Lichtquellen

„warmes“ Licht  
kontinuierliches Spektrum



Temperaturstrahler

„kaltes“ Licht  
Linien- oder Bandenspektrum

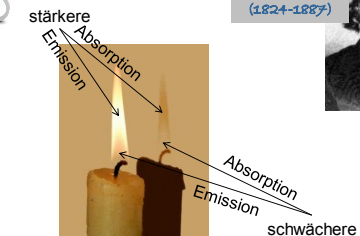


Lumineszenzstrahler

2

### c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz ?



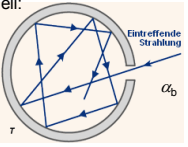
➡ Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

4

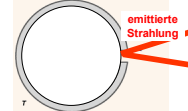
**absolut schwarzer Körper/Strahler**  
 $\alpha = 1$  ( $= \alpha_b$ )  
 („black body“ = b)

**Absorption:**

**Modell:**



**Emission:**



Vergleichen wir einen realen Körper mit dem absolut schwarzen Körper mithilfe des Kirchhoffschen Gesetzes:

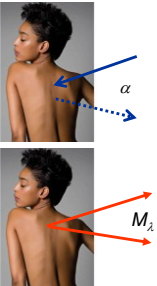
$$\frac{M_\lambda}{\alpha} = \frac{M_{\lambda b}}{\alpha_b} = \frac{M_{\lambda b}}{1} = M_{\lambda b}$$

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

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.

ein realer Körper  
 $\alpha < 1$



**absolut schwarzer Körper/Strahler:**

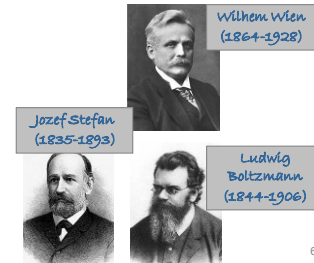
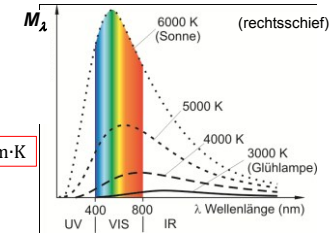
- kontinuierliches Spektrum:
- Wiensches Verschiebungsgesetz:

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

- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

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

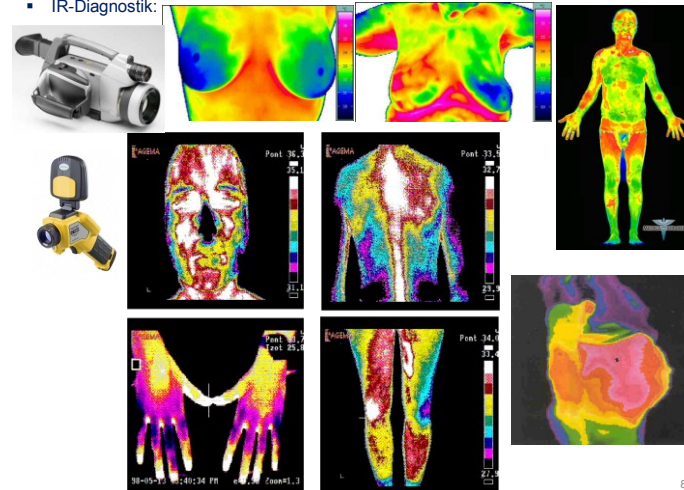


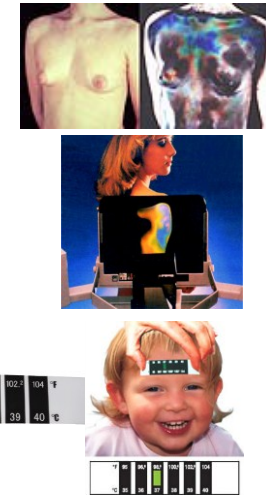
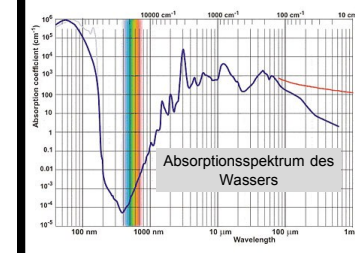
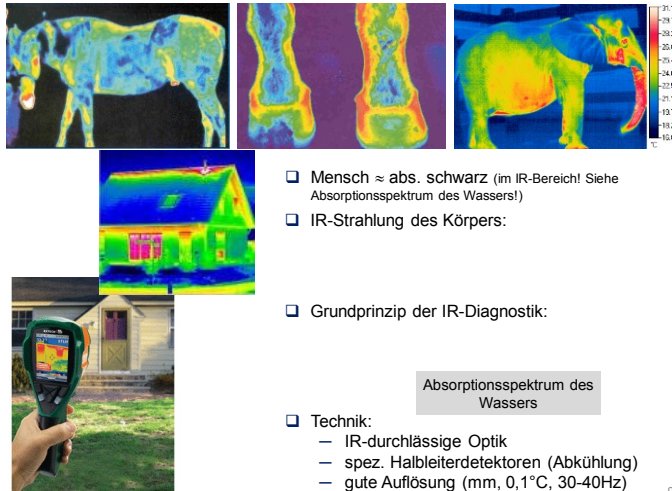
#### d) Anwendungen:

- IR-Therapie:



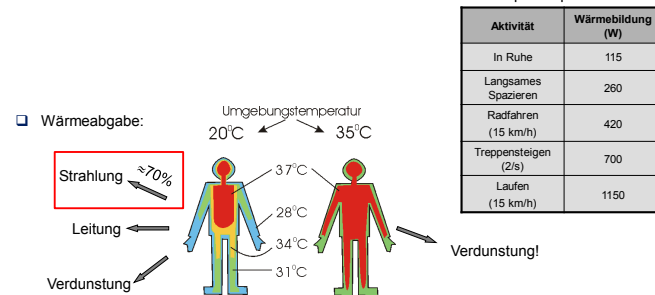
- IR-Diagnostik:





### Wärmehaushalt des Körpers:

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



- Anwendung des Stefan-Boltzmann-Gesetzes:
- Netto-Abstrahlung ( $\Delta E$ ):

### 3. Lumineszenz

#### a) Qualitative Beschreibung:

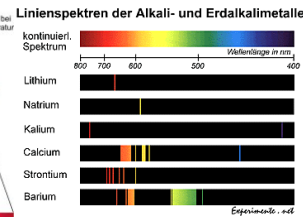
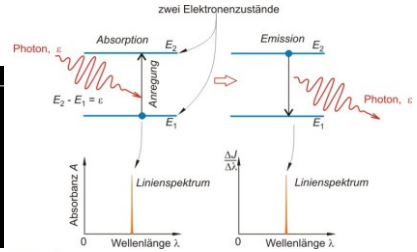
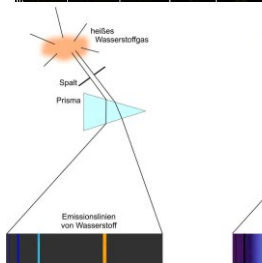
- Überschussstrahlung über die Temperaturstrahlung
- nur schwach temperaturabhängig (mit Ausnahme der Thermolumineszenz)
- Linien/Bandenspektrum
- Aus Elektronenübergängen! (Dazu müssen die Elektronen zuerst angeregt werden.)

Fluoreszenz & Phosphoreszenz

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

## b) Mechanismus:

### ■ Lumineszenz von Atomen:



13

## c) Gesetze:

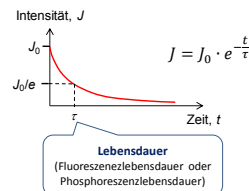
### ■ Linien/Bandspektrum

### ■ Stokes-Verschiebung:

$$\epsilon_{\text{phos}} < \epsilon_{\text{flu}} < \epsilon_{\text{abs}}$$

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

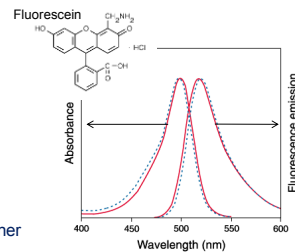
### ■ exponentielles Abklingen in der Zeit nach einer kurzzeitigen impulsförmigen Anregung:



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

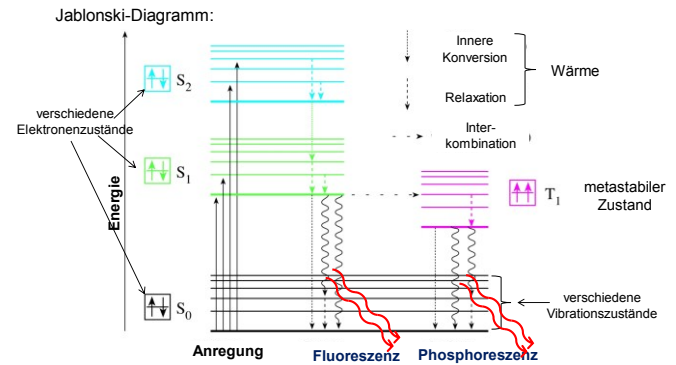
$\approx \text{ns}$        $\approx \mu\text{s} - \text{s}$

15



## ■ Lumineszenz von Molekülen:

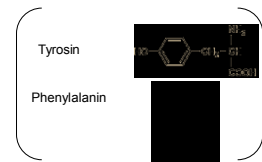
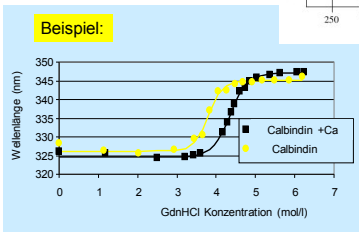
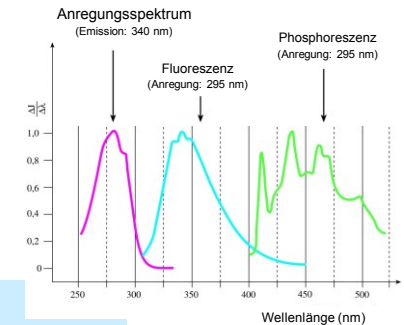
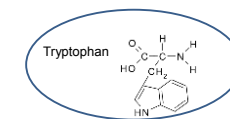
$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} (+ E_{\text{Rotation}})$$



14

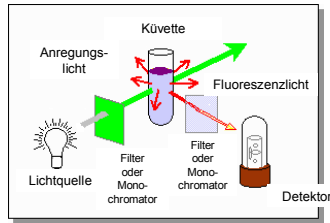
## d) Anwendungen:

### ■ Fluoreszenzspektroskopie z.B. Proteinforschung

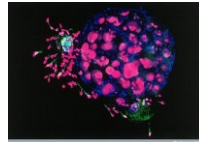
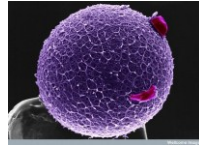
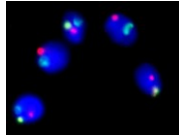
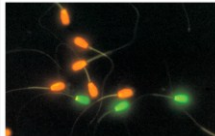


16

## Aufbau eines Fluorimeters



## Fluoreszenzmikroskopie



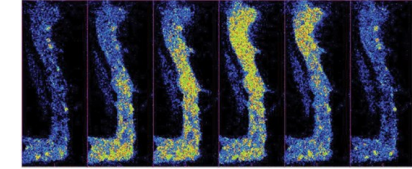
17

## Sensoren

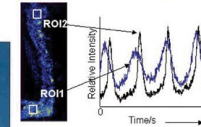
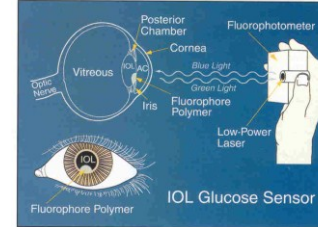
Sauerstoffsensor



Calciumsensor  $\Rightarrow$  Calciumwellen



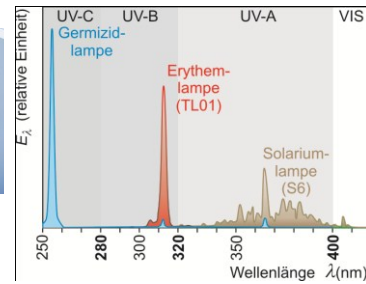
Glukosesensor



18

## Lampen

Germizidlampen —  
Niederdruckquecksilberdampflampen

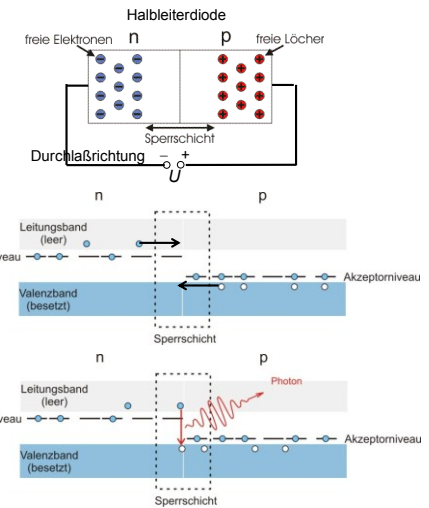
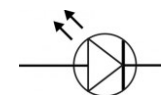
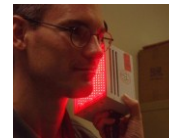


Blaulichttherapie von  
Neugeborengelbsucht



19

Leuchtdiode  
(light emitting diode — LED)

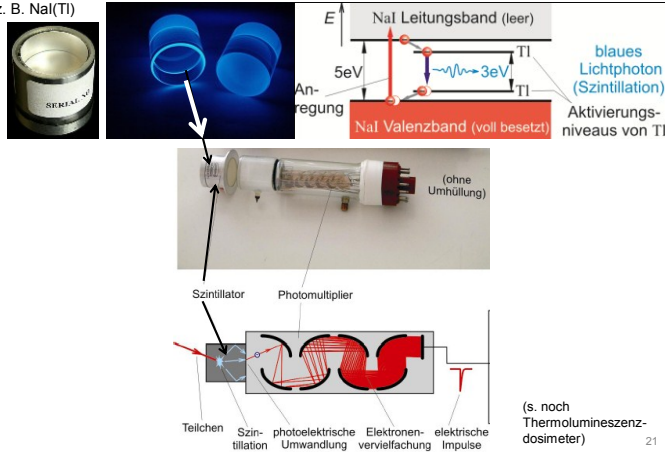


20



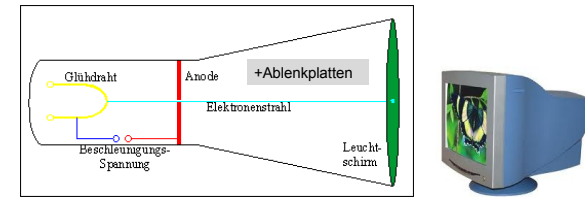
(Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlungen, ...)

z. B.  $\text{NaI}(\text{Tl})$



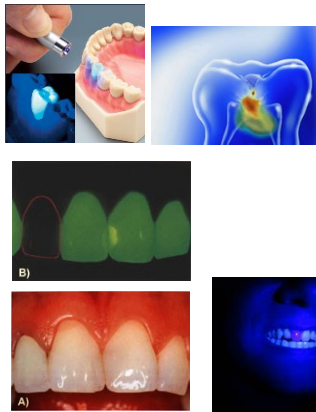
21

- **Monitor**



22

- Zahnheilkunde



- Biolumineszenz



- Laser (s. später)

23

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung 2. Teil  
2.47-52, 56-60 und 10. 5-6



24