

# Medizinische Biophysik

6. Vorlesung  
2016.10.10.

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

## Lichtquellen

„warmes“ Licht  
kontinuierliches Spektrum



Temperaturstrahler

„kaltes“ Licht  
Linien- oder Bandenspektrum



Lumineszenzstrahler

2

## 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 ( $M_\lambda$ ):  $M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \left( \frac{W}{m^2 \cdot nm} \right)$

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

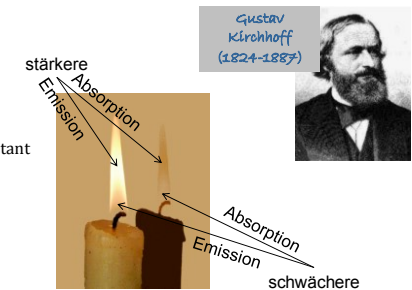
- spektraler Absorptionskoeffizient ( $\alpha$ ):  $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

3

### c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz:

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



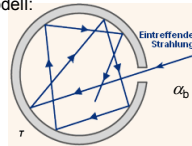
➔ Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

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:

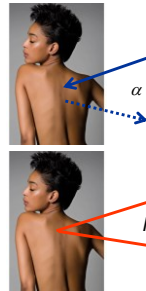
$$\frac{M_\lambda}{\alpha} = \frac{M_{\lambda b}}{\alpha_b} = \frac{M_{\lambda b}}{1} = M_{\lambda b}$$

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

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:

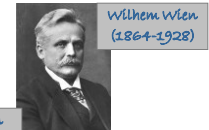
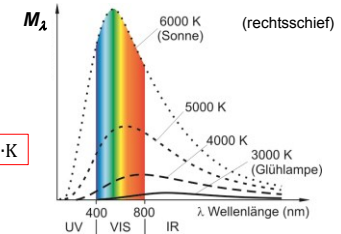
- kontinuierliches Spektrum:
- Wien'sches Verschiebungsgesetz:

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

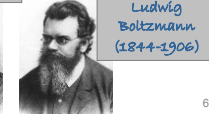
- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

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



Jozef Stefan  
 (1835-1893)



6

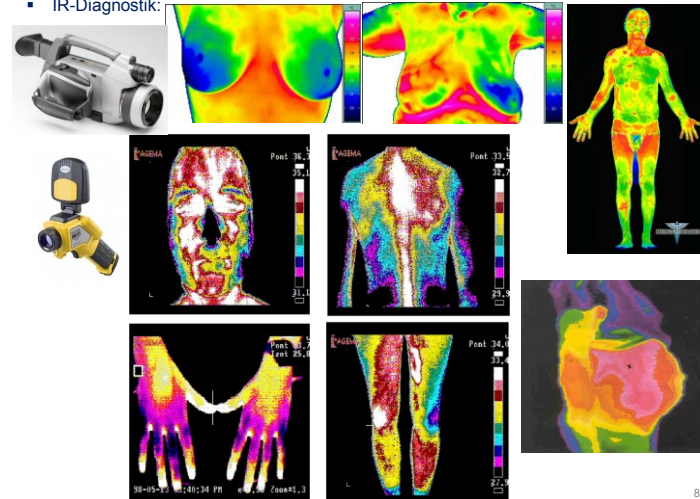
#### d) Anwendungen:

- IR-Therapie:

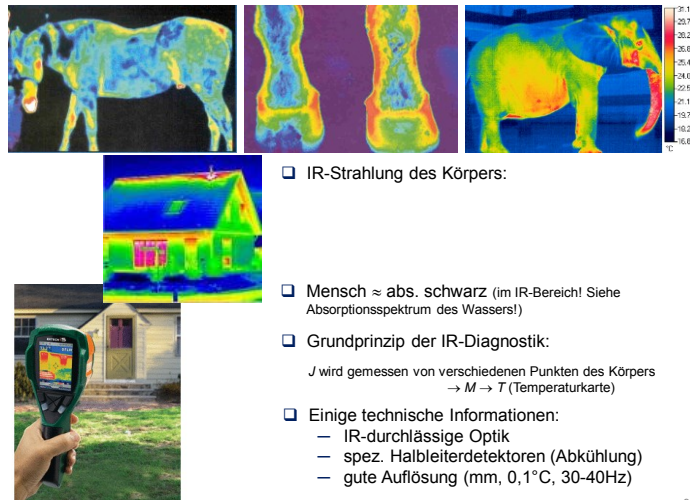


7

- IR-Diagnostik:



8



□ IR-Strahlung des Körpers:

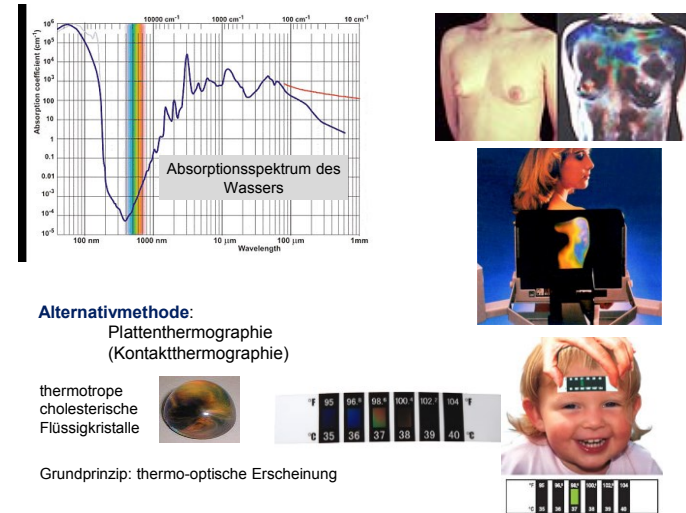
□ Mensch  $\approx$  abs. schwarz (im IR-Bereich! Siehe Absorptionsspektrum des Wassers!)

□ Grundprinzip der IR-Diagnostik:  
J wird gemessen von verschiedenen Punkten des Körpers  
 $\rightarrow M \rightarrow T$  (Temperaturkarte)

□ Einige technische Informationen:

- IR-durchlässige Optik
- spez. Halbleiterdetektoren (Abkühlung)
- gute Auflösung (mm, 0,1°C, 30-40Hz)

9



Absorptionsspektrum des Wassers

Alternativmethode:  
Plattenthermographie  
(Kontaktthermographie)

thermotrope  
cholesterische  
Flüssigkristalle

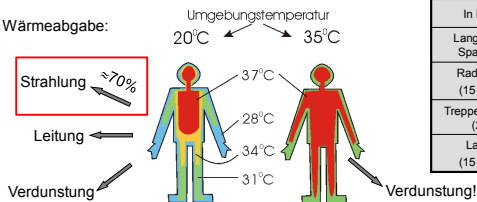
Grundprinzip: thermo-optische Erscheinung

10

### 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 ( $\Delta E$ ):

11

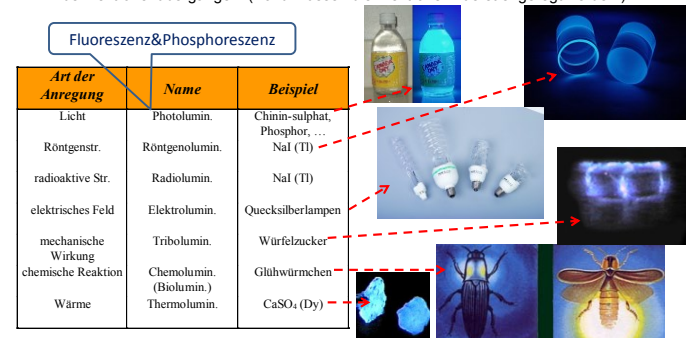
### 3. Lumineszenz

#### 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

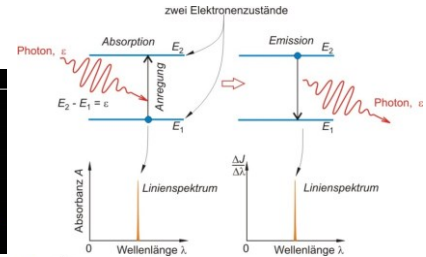
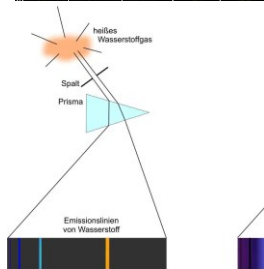
Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	Nal (Tl)
radioaktive Str.	Radiolumin.	Nal (Tl)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelzucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen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



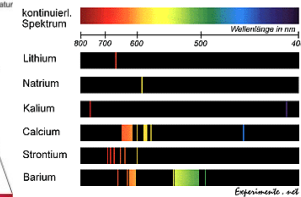
12

## b) Mechanismus:

### ▪ Lumineszenz von Atomen:



Linienpektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

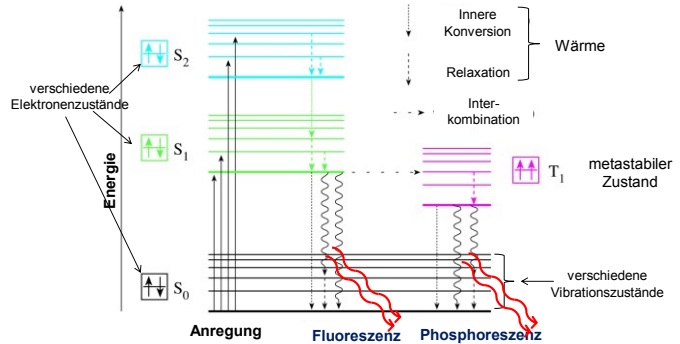


13

## ▪ Lumineszenz von Molekülen:

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

### Jablonski-Diagramm:



14

## c) Gesetze:

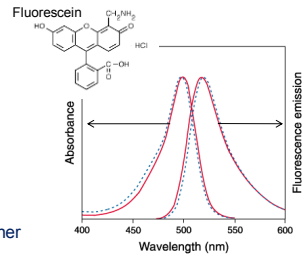
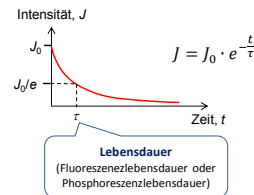
### ▪ Linien/Bandspektrum

### ▪ 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:



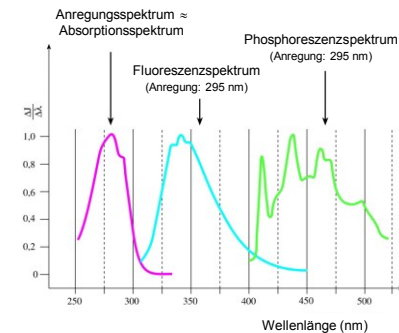
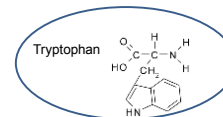
$$\tau_{\text{flu}} < \tau_{\text{phos}}$$

≈ ns      ≈ μs - s

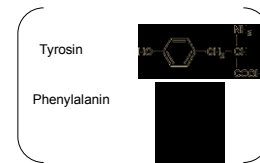
15

## d) Anwendungen:

### ▪ Fluoreszenzspektroskopie z.B. Proteinforschung

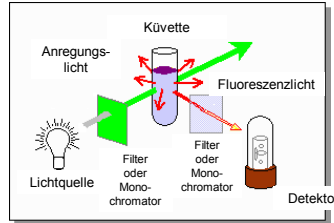


Die Eigenschaften des Lumineszenzlichtes (Intensität, spektrale Verteilung, Stokes-Verschiebung, Lebensdauer, ...) sind sehr empfindlich gegen der Umgebung, Molekülkonformation, Änderungen in diesen, ...

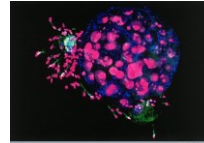
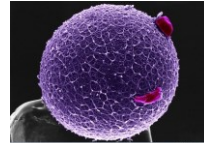
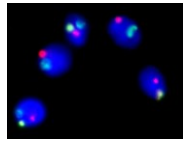
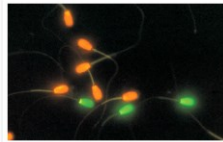


16

## Aufbau eines Fluorimeters



## Fluoreszenzmikroskopie



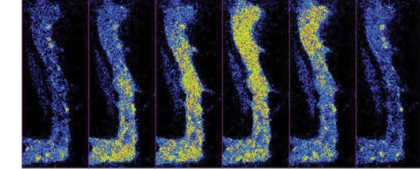
17

## Sensoren

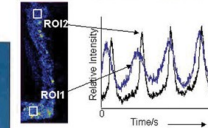
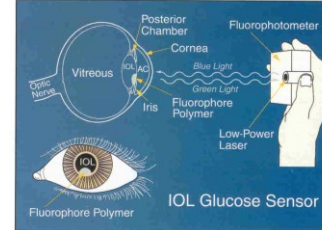
### Sauerstoffsensoren



### Calciumsensoren → Calciumwellen



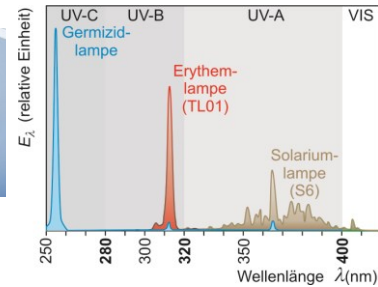
### Glukosesensoren



18

## Lampen

Germizidlampen —  
Niederdruckquecksilberdampfampel

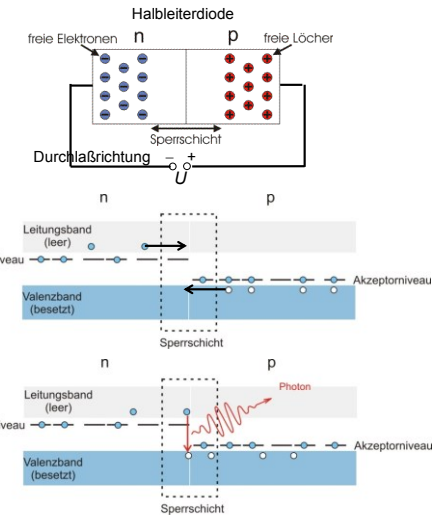
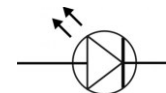
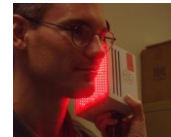


Blaulichttherapie von  
Neugeborengelbsucht



19

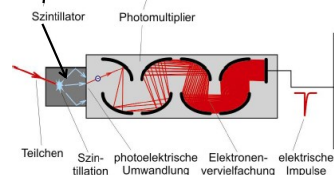
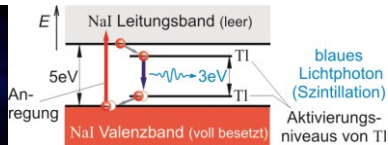
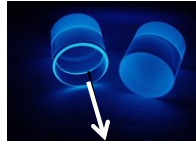
## Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



20

▪ Strahlungsdetektoren  
(Röntgenstrahlung, radioaktive Strahlungen, ...)

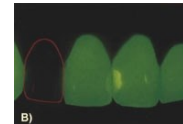
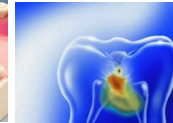
z. B. NaI(Tl)



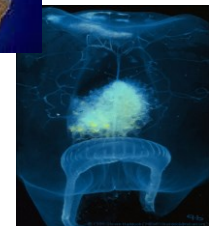
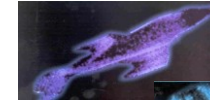
(s. noch Thermolumineszenzdosimeter)

21

▪ Zahnheilkunde



▪ Biolumineszenz



▪ Laser (s. später)

22

Hausaufgaben: Aufgabensammlung  
2.47, 49, 51, 53, 60, 61  
10.4, 6



23