

Medizinische Biophysik

6. Vorlesung
2017.10.18.

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

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

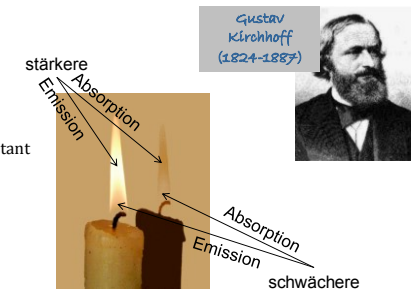
- spektraler Absorptionskoeffizient (α): $\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$

3

c) Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz:

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



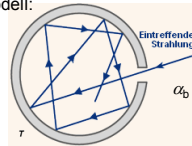
➡ Abstraktion: absolut schwarzer Körper/Strahler

4

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

Absorption:

Modell:



Emission:

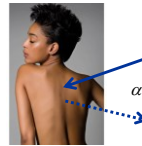


Vergleichen wir einen realen Körper mit dem absolut schwarzen Körper mithilfe des Kirchhoffschen Gesetzes:

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

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

ein realer Körper
 $\alpha < 1$



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

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

5

d) Anwendungen:

- IR-Therapie:



7

absolut schwarzer Körper/Strahler:

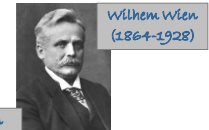
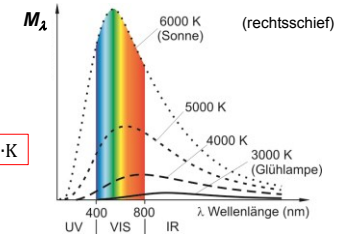
- kontinuierliches Spektrum:
- Wien'sches Verschiebungsgesetz:

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

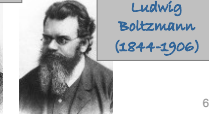
- Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$M = \sigma T^4$$

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

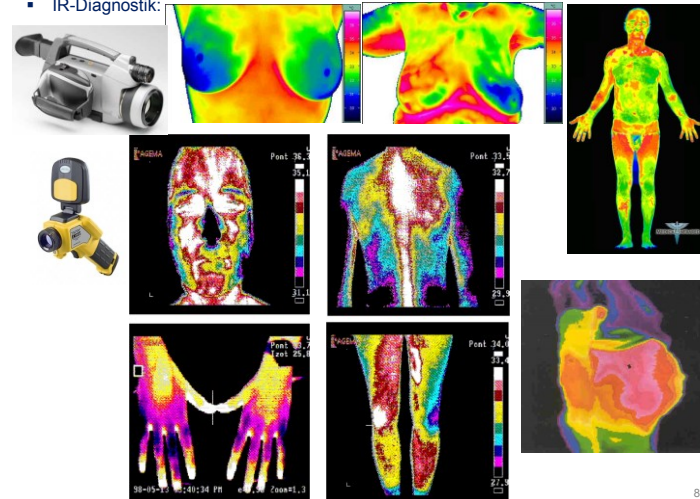


Jozef Stefan
 (1835-1893)

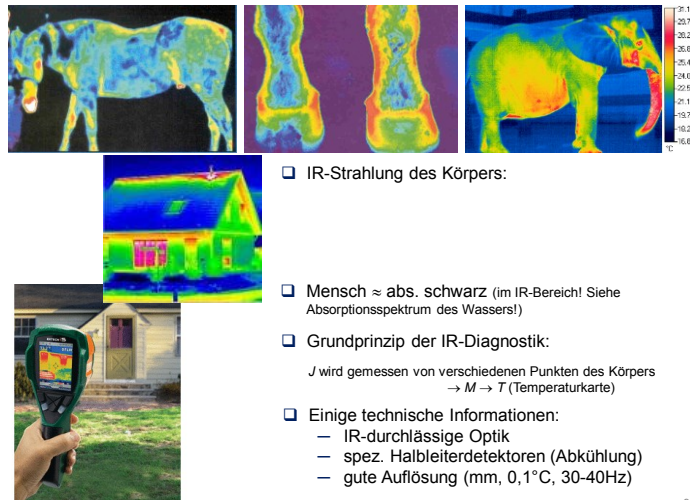


6

- IR-Diagnostik:



8



□ IR-Strahlung des Körpers:

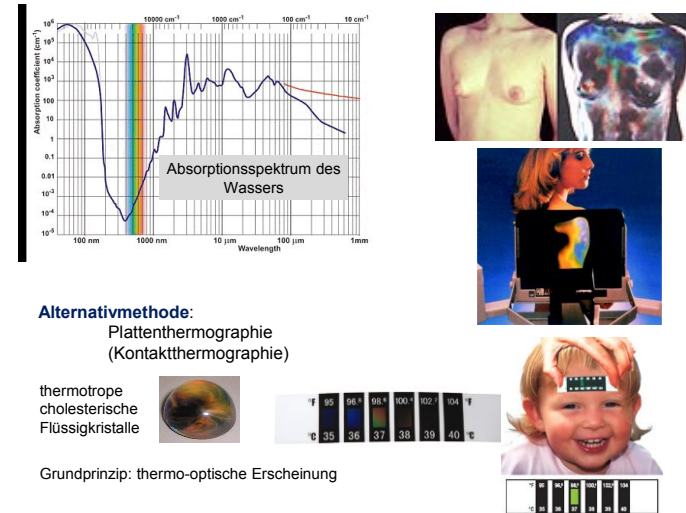
□ Mensch \approx abs. schwarz (im IR-Bereich! Siehe Absorptionsspektrum des Wassers!)

□ 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

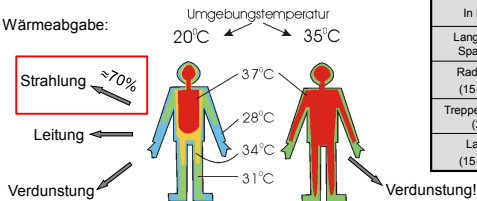
Grundprinzip: thermo-optische Erscheinung

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 (ΔE):

11

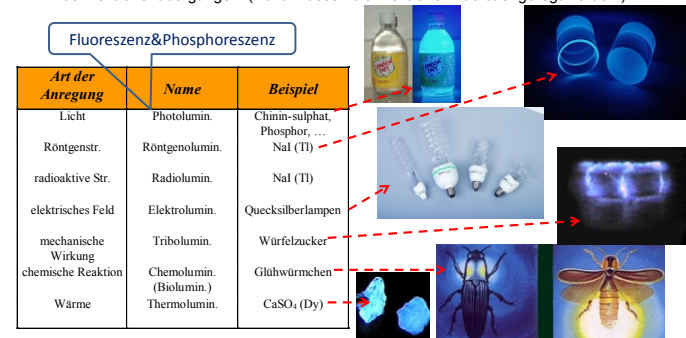
3. Lumineszenz

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

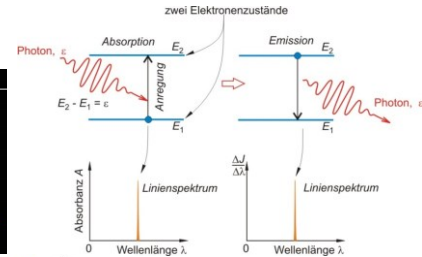
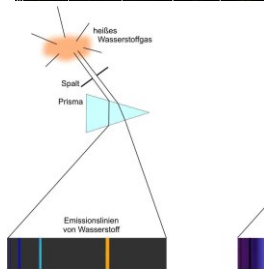
Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenlumin.	Nal (Tl)
radioaktive Str.	Radiolumin.	Nal (Tl)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelzucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen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



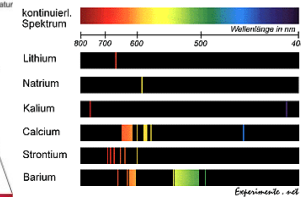
12

b) Mechanismus:

■ Lumineszenz von Atomen:



Linienspektren der Alkali- und Erdalkalimetalle

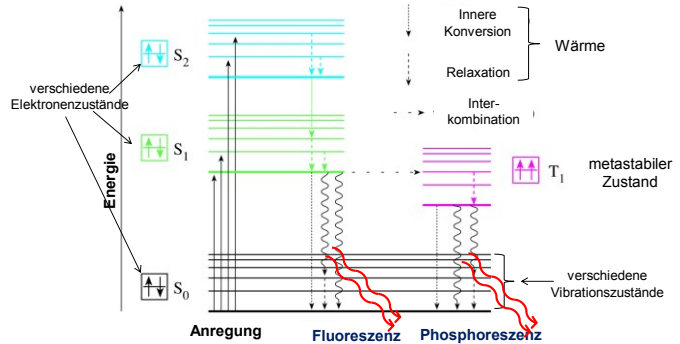


13

■ Lumineszenz von Molekülen:

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

Jablonski-Diagramm:



14

c) Gesetze:

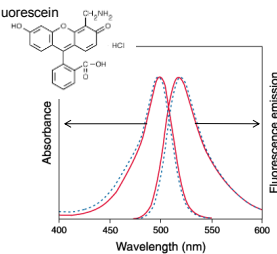
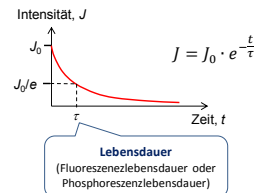
■ Linien/Bandspektrum

■ 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:



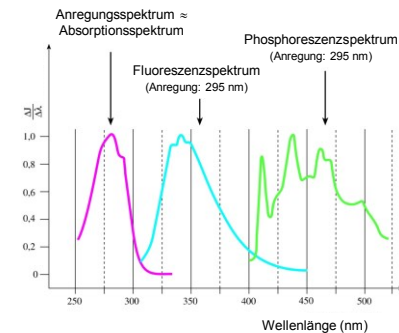
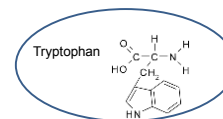
$$\tau_{\text{flu}} < \tau_{\text{phos}}$$

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

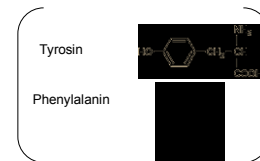
15

d) Anwendungen:

■ Fluoreszenzspektroskopie z.B. Proteinforschung

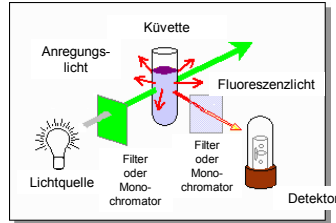


Die Eigenschaften des Lumineszenzlichtes (Intensität, spektrale Verteilung, Stokes-Verschiebung, Lebensdauer, ...) sind sehr empfindlich gegen der Umgebung, Molekülkonformation, Änderungen in diesen, ...

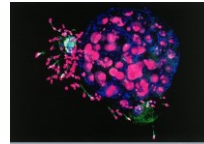
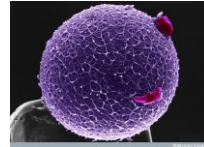
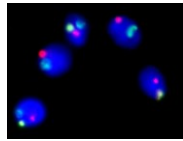
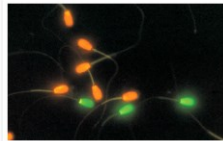


16

Aufbau eines Fluorimeters



Fluoreszenzmikroskopie



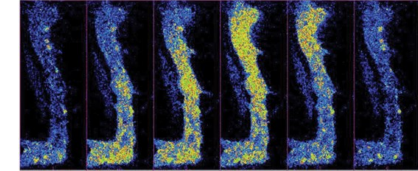
17

Sensoren

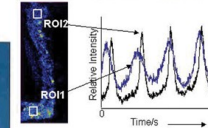
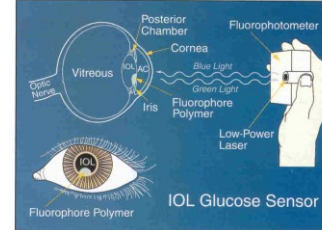
Sauerstoffsensoren



Calciumsensor \Rightarrow Calciumwellen



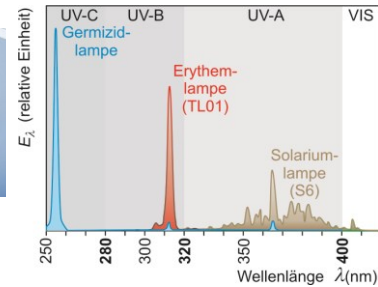
Glukosesensoren



18

Lampen

Germizidlampen —
Niederdruckquecksilberdampflampe

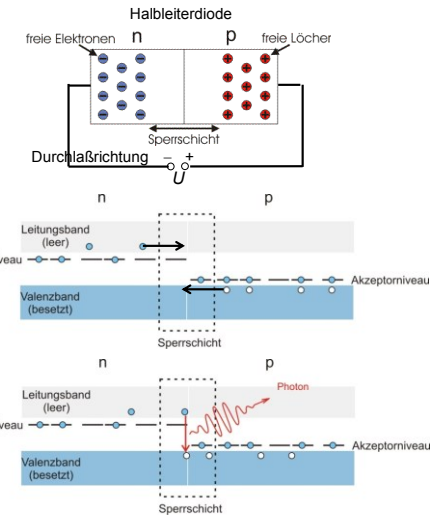
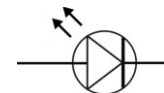


Blaulichttherapie von
Neugeborengelbsucht



19

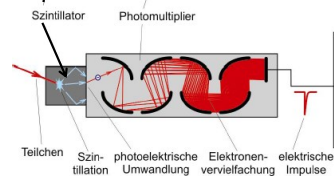
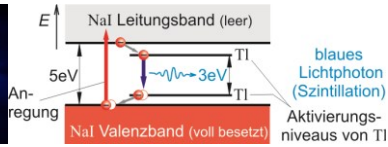
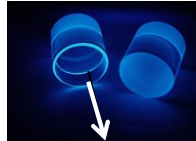
Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



20

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

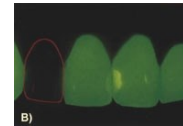
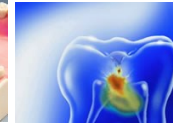
z. B. NaI(Tl)



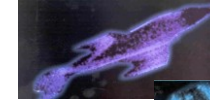
(s. noch Thermolumineszenzdosimeter)

21

- Zahnheilkunde



- Biolumineszenz



- Laser (s. später)

22

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



23