

Strahlungsarten. Temperaturstrahlung, Lumineszenz.

Balázs Kiss

kissb3@gmail.com



**Institut für Biophysik und Strahlenbiologie,
Myofilament-Mechanobiophysik Forschungsgruppe,
Semmelweis Universität**

25. September 2024.

Energietransport: physikalische Größen

Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (\text{W})$$



Strahlenquelle



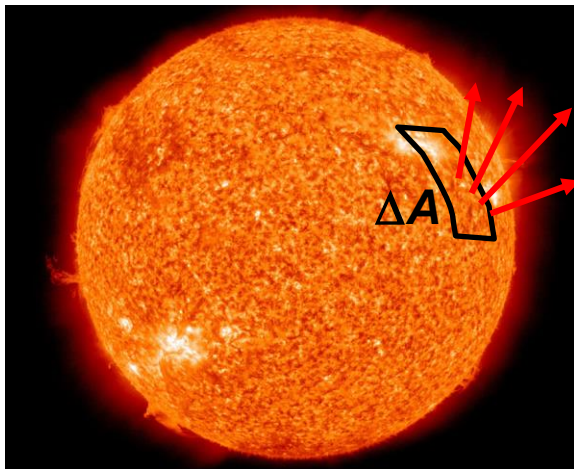
Strahlung



bestrahlter Körper

Spezifische Ausstrahlung (M):

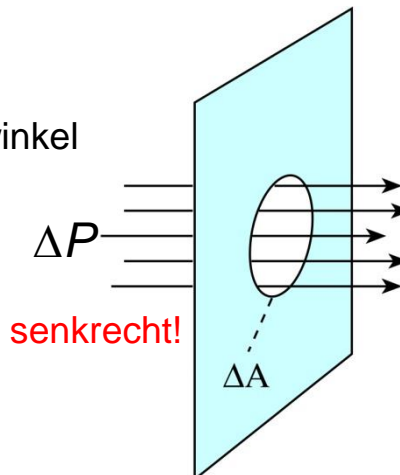
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



ΔP
in 2π
Raumwinkel

Strahlungsintensität (J):

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



Bestrahlungsstärke (E):

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

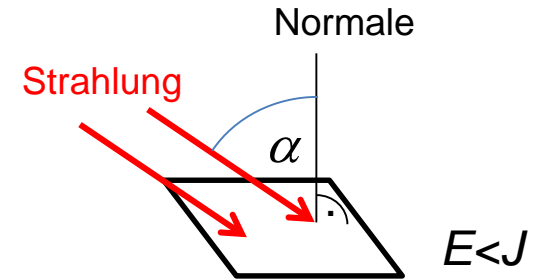
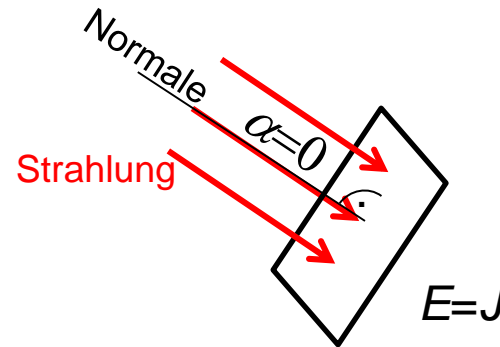
ΔP

aus 2π
Raumwinkel

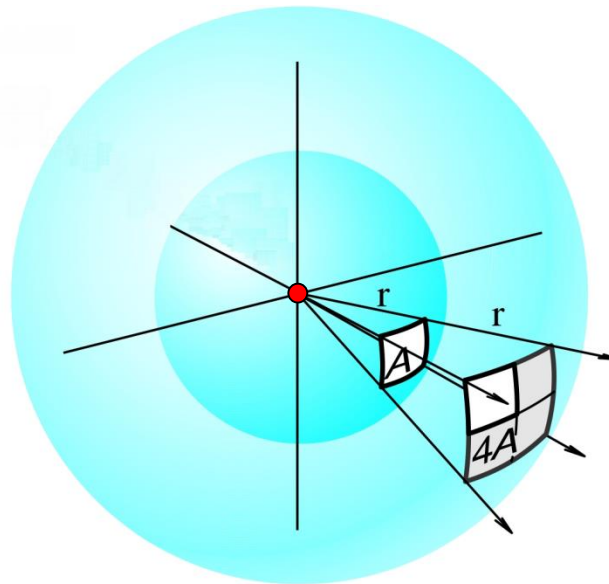


Geometrie der Strahlungsquellen

- Zusammenhang zwischen J und E :

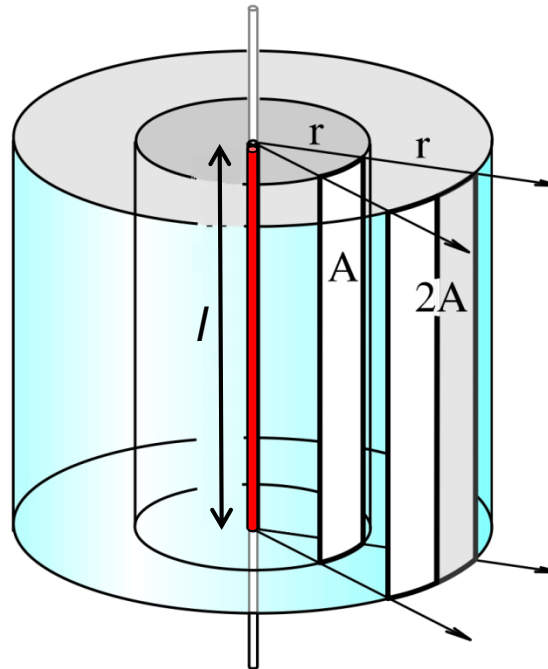


Punktstrahler

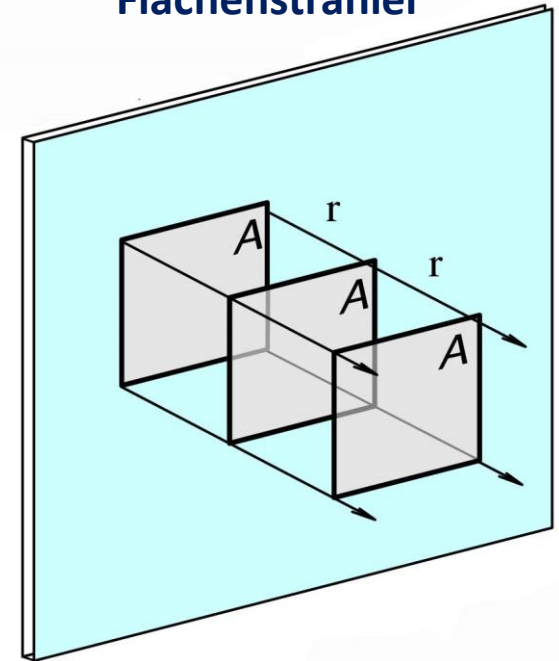


$J(r)$

Linienstrahler



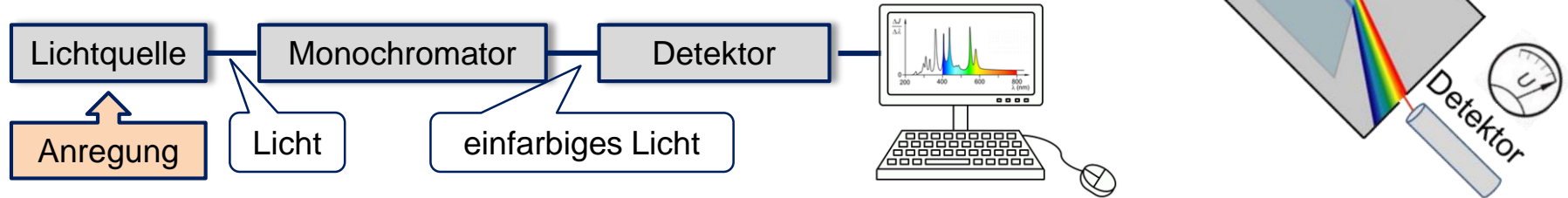
Flächenstrahler



Untersuchung der Lichtemission

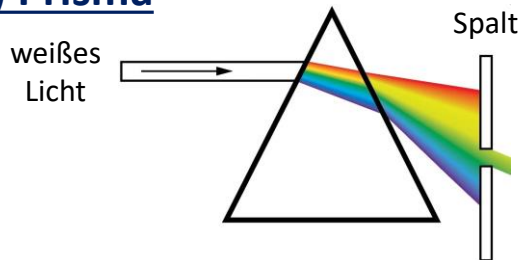
Emissionsspektrometrie:

Analyse des ausgestrahlten (emittierten) Lichts



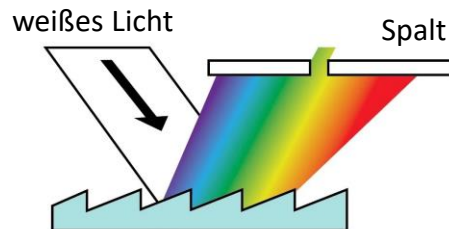
Monochromator:

a) Prisma



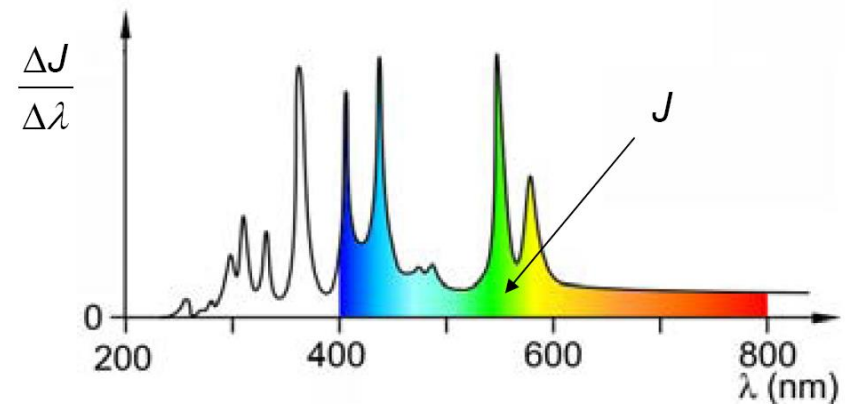
- **Dispersion**
- blau wird stärker gebrochen, als rot
- nichtlinear

b) Reflexionsgitter



- **Diffraktion** (Beugung)
- rot wird stärker gebeugt, als blau
- (quasi)linear

Emissionsspektrum:



Spektrumtypen:

- Linienspektrum
- Bandenspektrum
- kontinuierliches Spektrum

Temperaturstrahlung

Qualitative Beschreibung:

- jeder Körper emittiert Temperaturstrahlung, wenn $T_{\text{Körper}} > 0 \text{ K}$
- **Auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen!**
- elektromagnetische Strahlung
- Spektrum:
 - stark temperaturabhängig
 - **kontinuierlich**

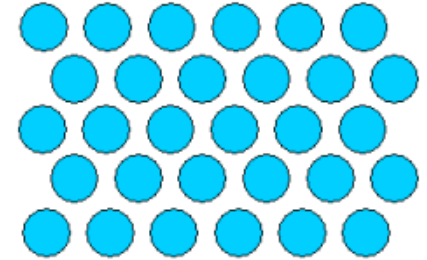
Größen zur quantitativen Beschreibung:

- spezifische Ausstrahlung (M):
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$
- spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ):
$$M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda} = \frac{\Delta P}{\Delta A \cdot \Delta \lambda} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{nm}} \right)$$
- spektraler Absorptionskoeffizient (α):
$$\alpha = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

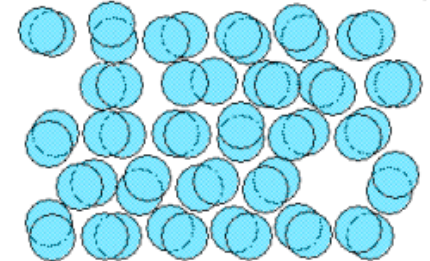
3 Gesetze:

- kirchhoffsches Gesetz
- Stefan-Boltzmann Gesetz
- wiensches Verschiebungsgesetz

Atome bei 0 K



Atome über 0 K

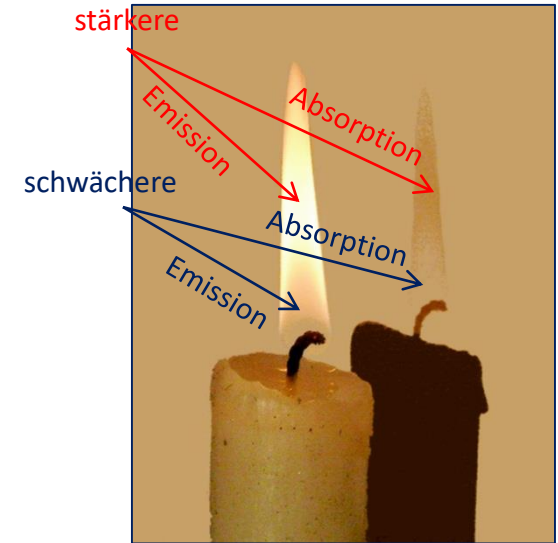


schwingende Dipole → EM-Strahlung

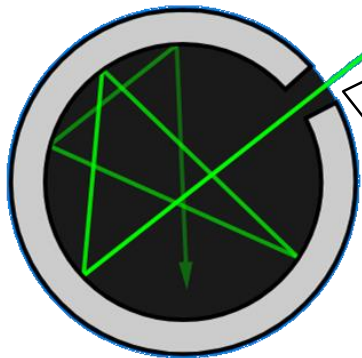


Die Gesetze der Temperaturstrahlung

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



- **absolut schwarzer Körper: $\alpha = 1$**
- reeller Körper: $\alpha < 1$



Fällt Strahlung durch die Öffnung, wird es durch wiederholte diffuse Reflexionen geschwächt.

Die hier austretende Strahlung kann also nur vom Körper selbst kommen und enthält keinen reflektierten Anteil mehr.

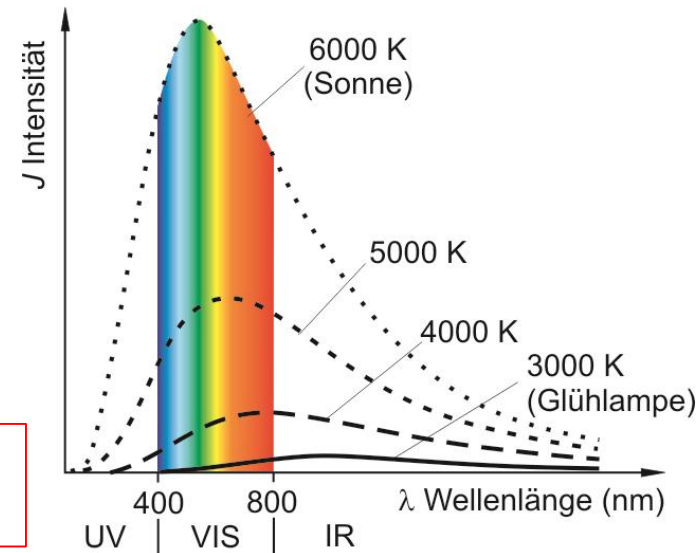
Stefan-Boltzmann Gesetz

$$M = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

wiensches Verschiebungsgesetz

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



Anwendungen der Temperaturstrahlung

- IR-Diagnostik:

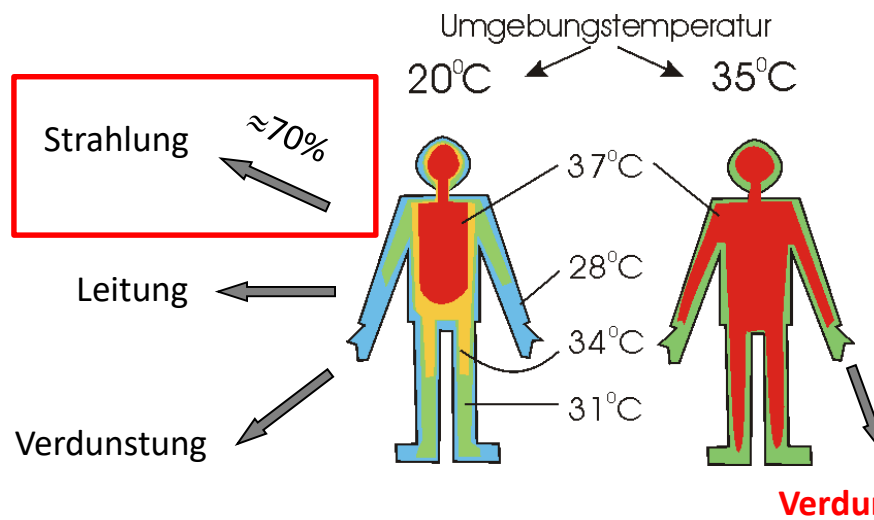


- IR-Therapie:



- Wärmehaushalt des Körpers:

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



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

$$\Delta E = \sigma \cdot (T_{\text{Körper}}^4 - T_{\text{Umgebung}}^4) \cdot A \cdot t$$

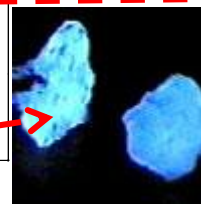
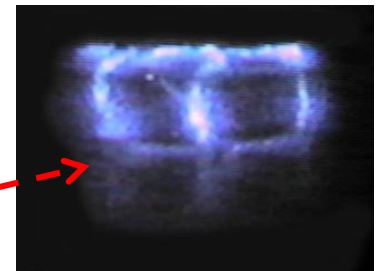
Lumineszenz

Qualitative Beschreibung:

- **Überschussstrahlung über die Temperaturstrahlung**
- **aus Elektronenübergängen! (1. Anregung → 2. Relaxation)**
- nur schwach temperaturabhängig
- **Linien-/Bandenspektrum**

Fluoreszenz & Phosphoreszenz

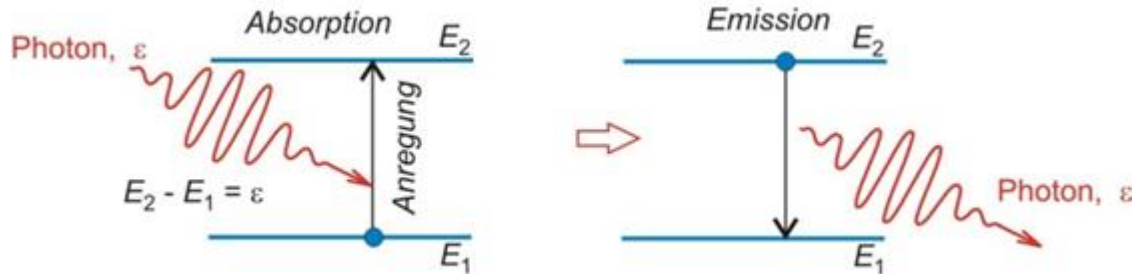
<i>Art der Anregung</i>	<i>Name</i>	<i>Beispiel</i>
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	NaI (Tl)
radioaktive Str.	Radiolumin.	NaI (Tl)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelzucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)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



Mechanismus von Lumineszenz

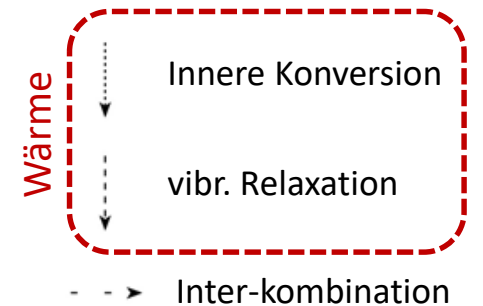
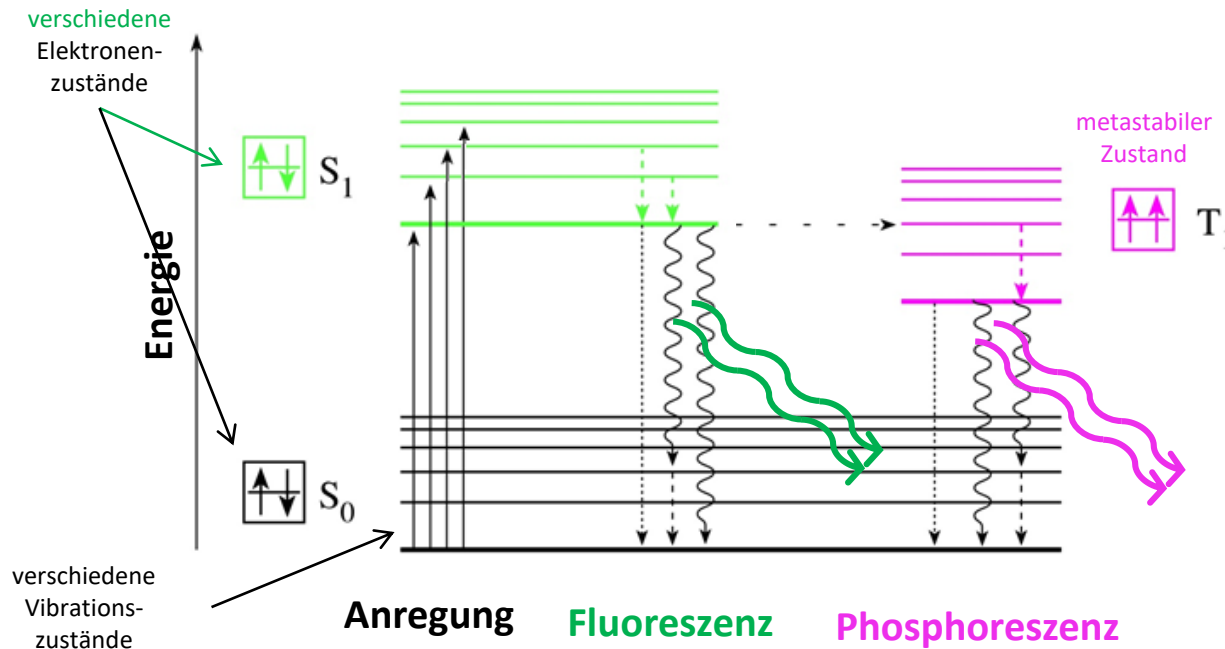
Lumineszenz von Atomen:

Linienpektrum!



Lumineszenz von Molekülen:

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



(Jablonski-Diagramm)

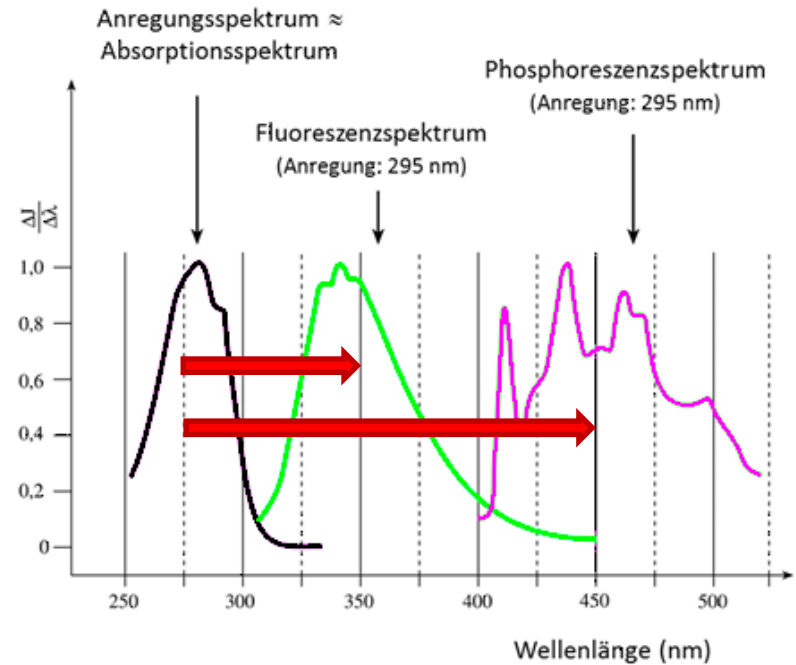
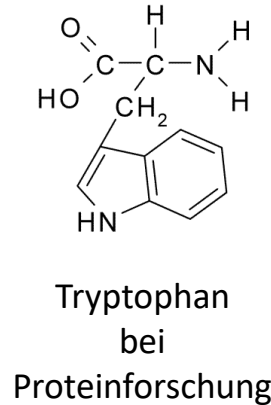
**Linien- /
Bandenspektrum!**

Die Gesetze der Lumineszenz

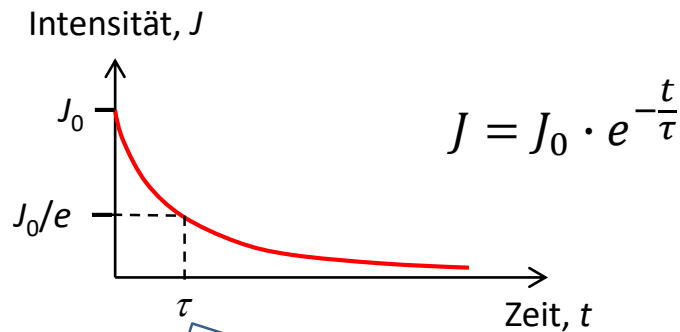
- Stokes-Verschiebung:

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

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



- exponentielles Abklingen der Intensität:



Lebensdauer
(Fluoreszenzlebensdauer oder
Phosphoreszenzlebensdauer)

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

$\approx \text{ns}$

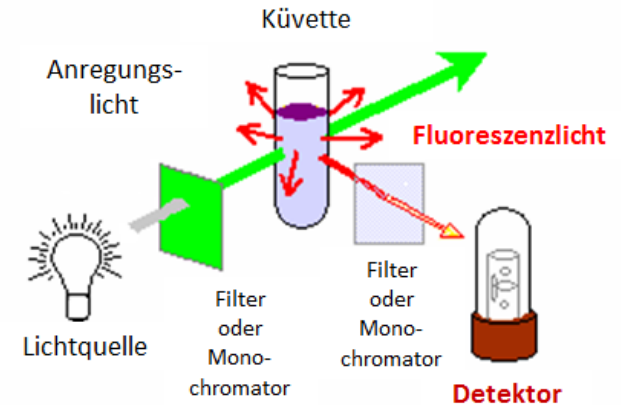
$\approx \mu\text{s} - \text{s}$

Anwendungen der Lumineszenz

- **Fluoreszenzspektroskopie, Fluorimeter**

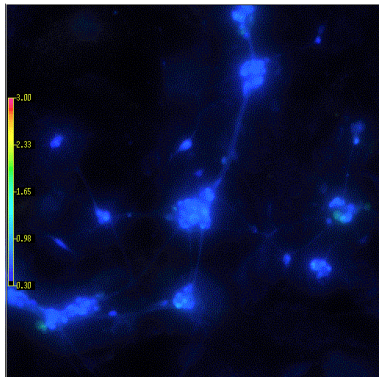
Intensität, Spektrum, Lebensdauer des Lumineszenzlichtes sind stark abhängig von der Konformation der Moleküle.

Detektor: senkrecht zur Richtung des Anregungslichts.



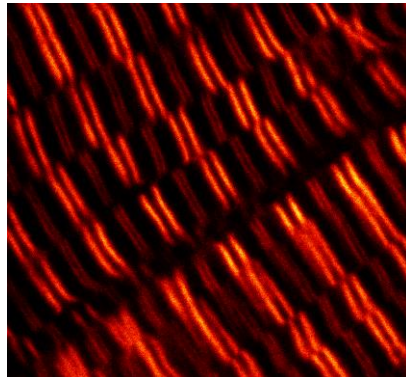
- **Sensoren**

Ca-Wellen in Neuronen



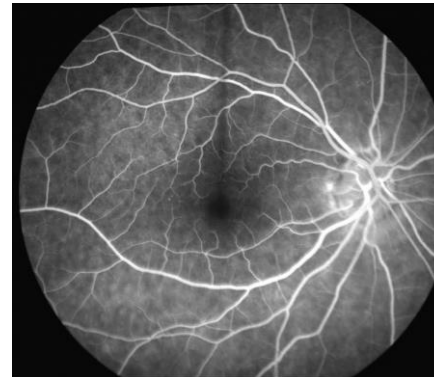
- **Mikroskopie**

Herzmuskel (Human)



- **Angiographie**

Blutgefäße auf Retina



- **Lampen**

Leuchtdiode (LED)



Germizidlampe (UV-C)



- **Strahlungsdetektoren:**

Röntgenstrahlung, Gammastrahlung,...



NaI (Tl)
Szintillationskristall

Hausaufgaben

Aufgabensammlung

2.1, 3-5, 7, 8, 40, 42, 45, 47, 49, 51, 53, 60, 61

10.4, 6

Feedback