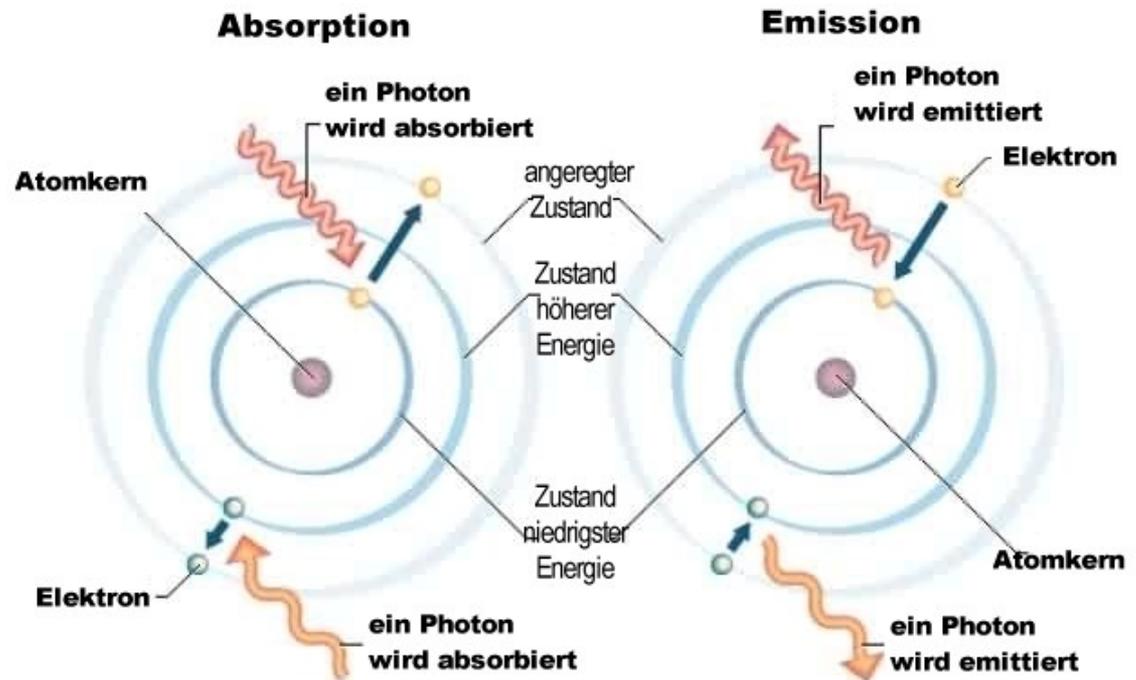


**Lumineszenz:** Lichtemissionsüberschuss eines Körpers im Vergleich zu seiner Temperaturstrahlung. Angeregte Elektronen kehren zum Grundzustand zurück und emittieren Photonen.

## Atomare Grundlagen der Absorption und Emission



ohne Anregung ist der Grundzustand am meisten bevölkert

„angeregter Zustand“: alle Zustände höherer Energie

durch Aufnahme eines entsprechenden Energiequantens kann das Elektron in den angeregten Zustand gelangen



# Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

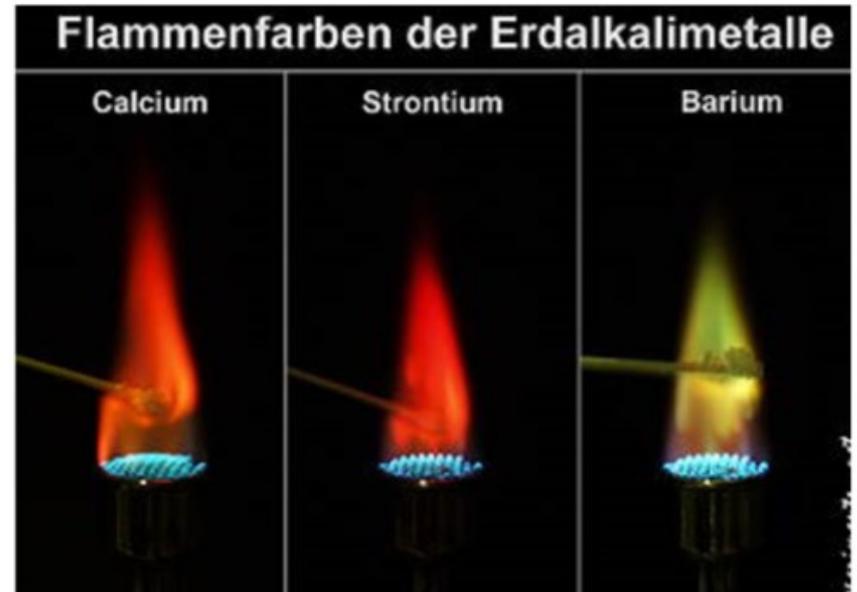
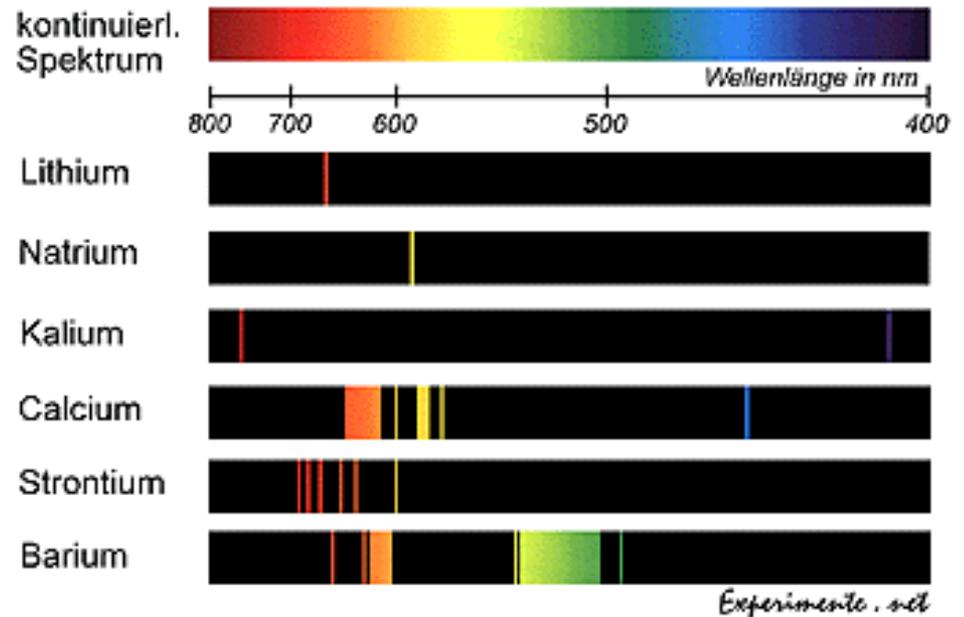
Art der Anregung	Name (-lumineszenz)	Beispiel
Licht	Photo-	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Wärme	Thermo-	CaSO <sub>4</sub> (Dy)
Röntgenstrahlung	Röntgen-	NaI (Tl)
radioaktive Strahlung	Radio-	NaI (Tl)
elektrisches Feld	Elektro-	Quecksilberdampf-lampen, Leuchtdioden
Beschuss mit Elektronen	Kathodo-	Leuchtschicht einer Kathodenstrahlröhre
mechanische Wirkung	Tribo-	bei Zuckerkristallen
chemische Reaktion	Chemi-	Luminol zum Nachweis von Blut
chemische Reaktion in lebenden Organismen	Bio-	Glühwürmchen, Oxidation von Luciferin im Leuchtkäfer



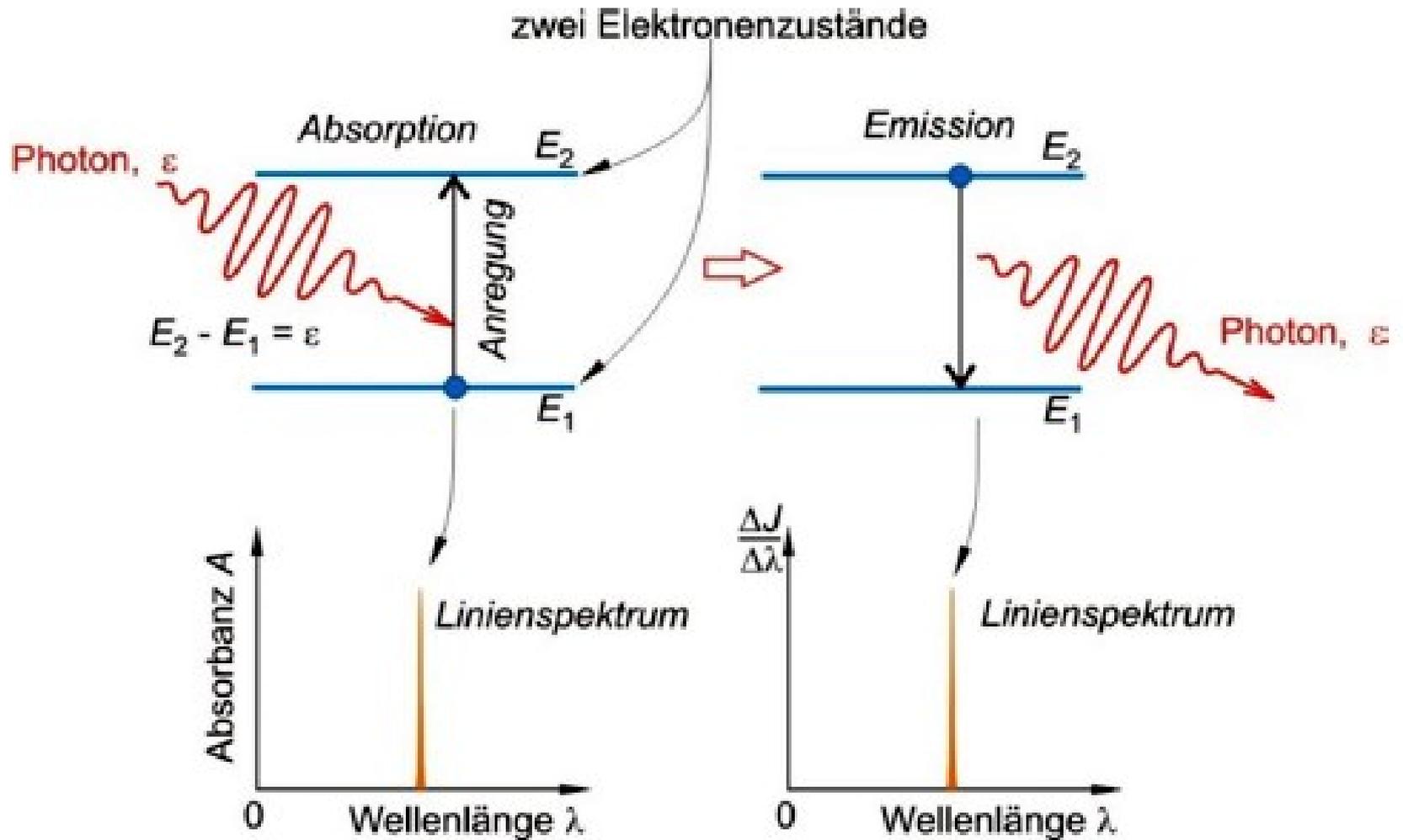
# Thermolumineszenz, Flammenfärbung

Energieumwandlung kommt durch Valenzelektronen zustande, die durch die Wärmeenergie in einen angeregten Zustand gehoben werden und unter der Abgabe von Licht wieder zurückfallen.

## Linienspektren der Alkali- und Erdalkalimetalle



# Photolumineszenz

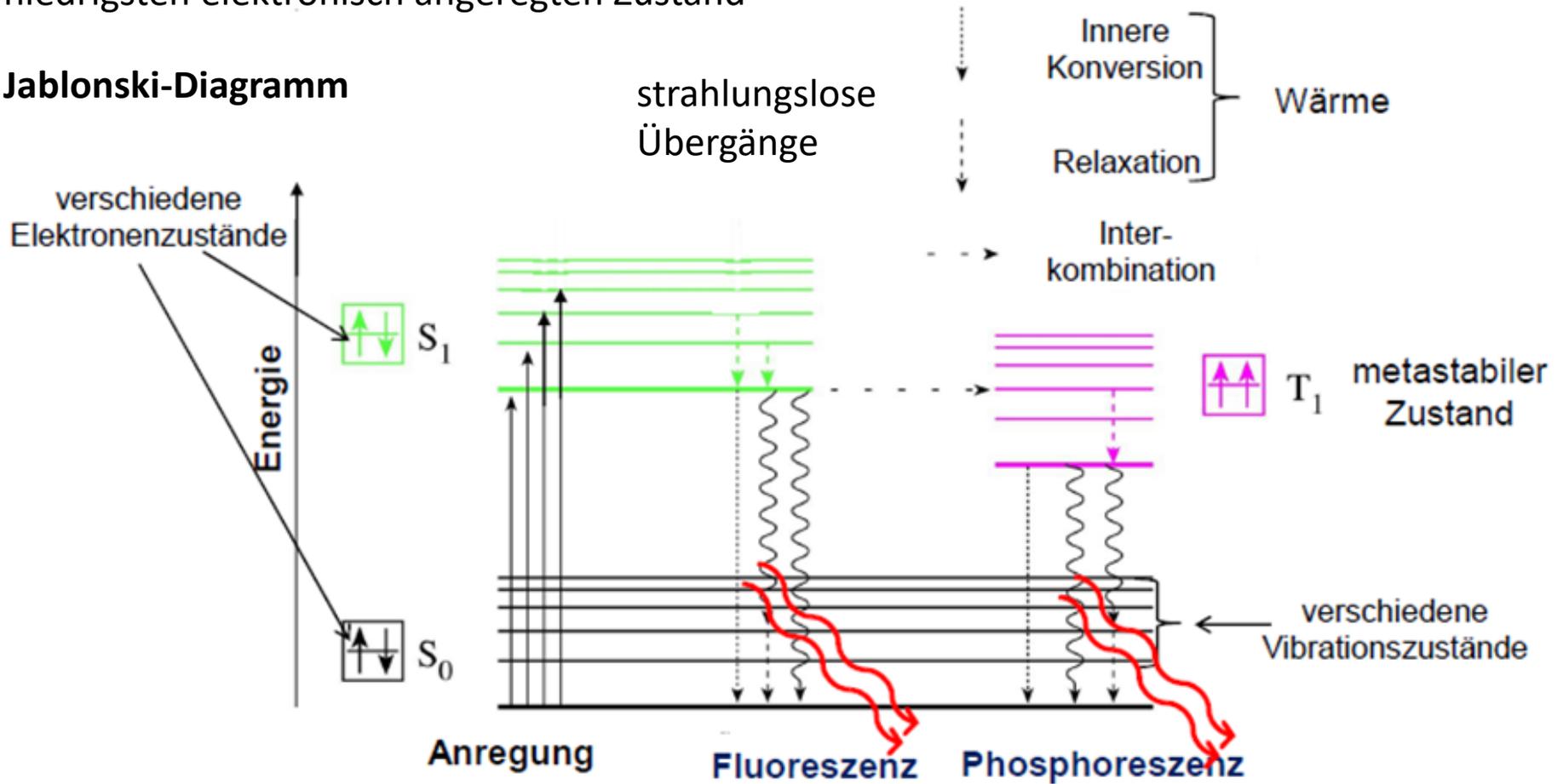


# Photolumineszenz von Molekülen

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

**Kasha-Regel:** das Elektron gelangt immer auf das niedrigste Vibrationsniveau des ersten angeregten Zustands und die Emission eines Photons stammt aus diesem niedrigsten elektronisch angeregten Zustand

## Jablonski-Diagramm



$S_i$ : Singulettzustand

$T_i$ : Triplettzustand

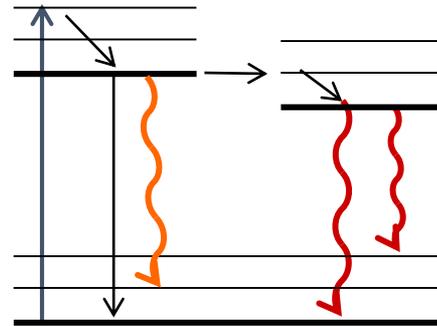
# Photolumineszenz: Fluoreszenz und Phosphoreszenz

angeregter Zustand

Anregung

z.B. Absorption

Grundzustand



← **metastabiler Zustand**

← **Übergang mit geringer Wahrscheinlichkeit**

**Fluoreszenz**      **Phosphoreszenz**

z. B. Tryptophan:

Stokes-Verschiebung

$$\bar{\epsilon}_{\text{phos}} \leq \bar{\epsilon}_{\text{fluo}} \leq \bar{\epsilon}_{\text{abs}}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{fluo}} = 340 \text{ nm}$$

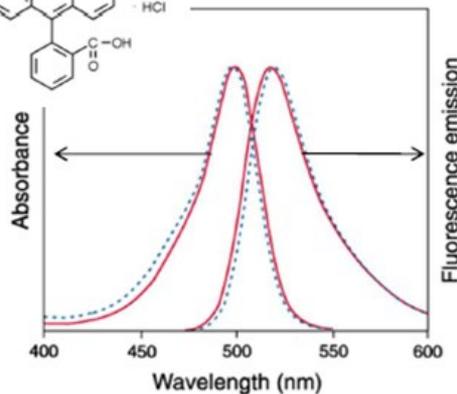
$$\bar{\lambda}_{\text{abs}} \leq \bar{\lambda}_{\text{fluo}} \leq \bar{\lambda}_{\text{phos}}$$

$$\bar{\lambda}_{\text{phos}} = 440 \text{ nm}$$

$$\bar{\tau}_{\text{fluo}} \ll \bar{\tau}_{\text{phos}}$$

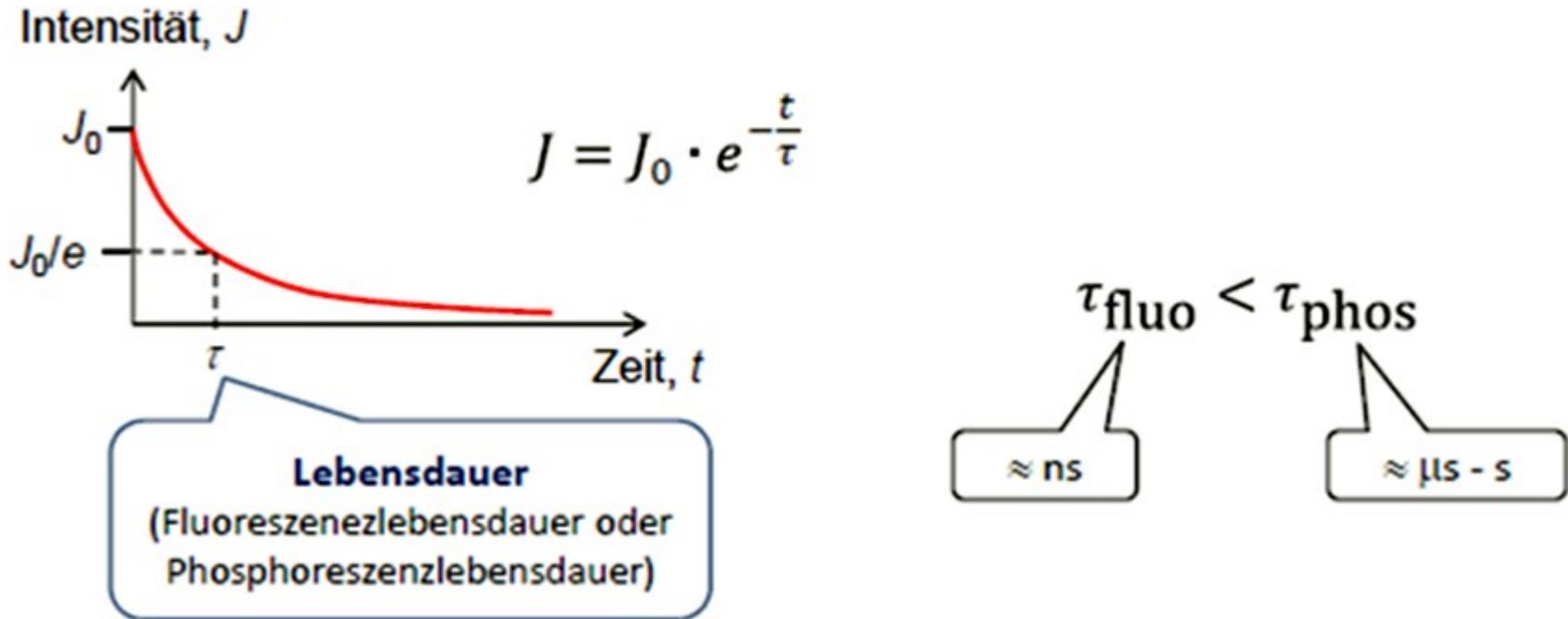
$$\tau_{\text{fluo}} = 0,1 - 5 \text{ ns}$$

$$\tau_{\text{phos}} = \mu\text{s-s}$$



# Eigenschaften des Lichtes

exponentielles Abklingen in der Zeit nach einer kurzzeitigen impulsförmigen Anregung

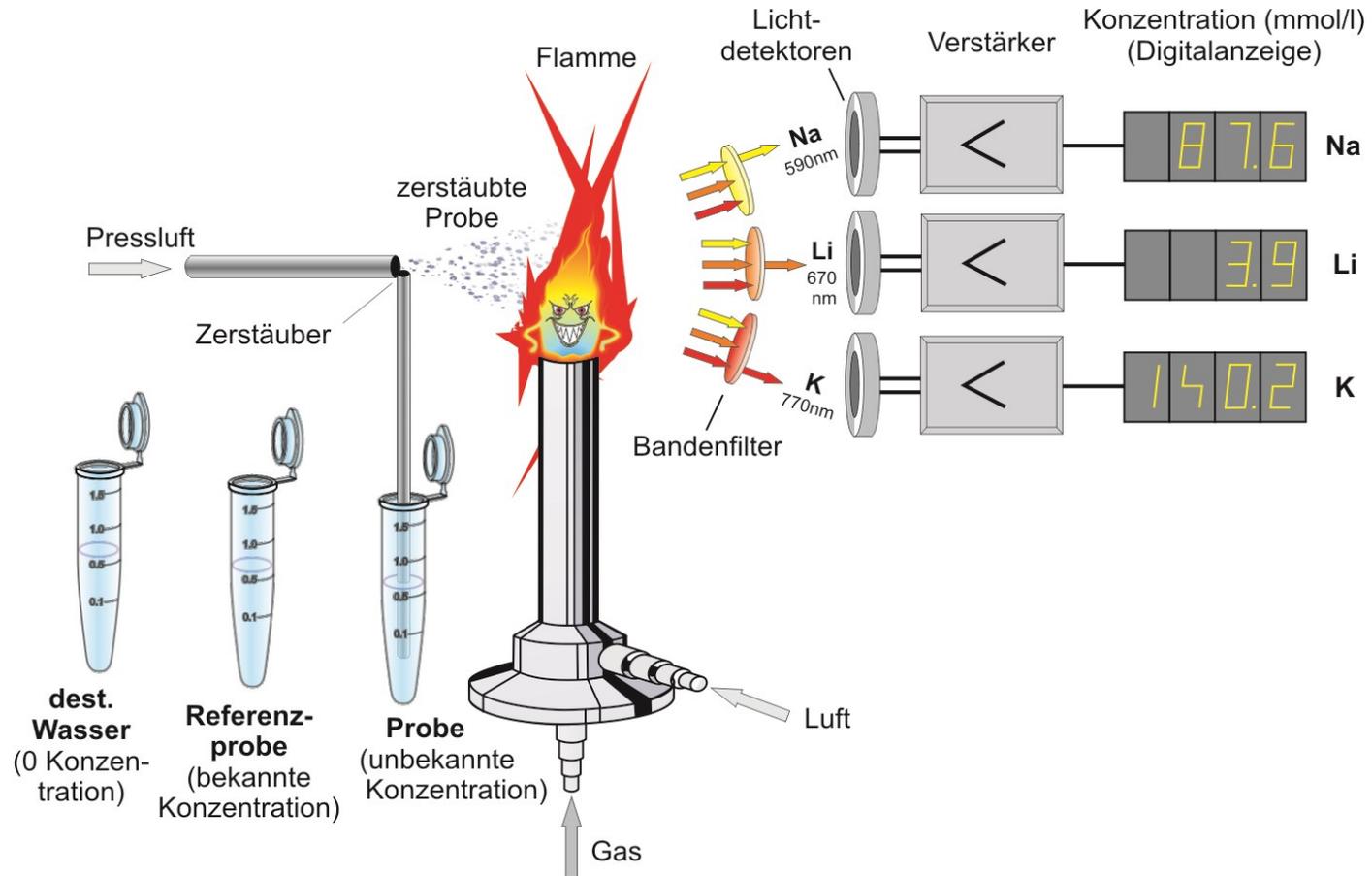


**Quantenausbeute:** das Verhältnis zwischen der Anzahl der emittierten Photonen und der Anzahl der absorbierten Photonen

$$Q_{\text{Fluoreszenz}} = \frac{n_{\text{Photonen,emittiert}}}{n_{\text{Photonen,absorbiert}}} \leq 1$$

# Anwendungen

## Labordiagnostik

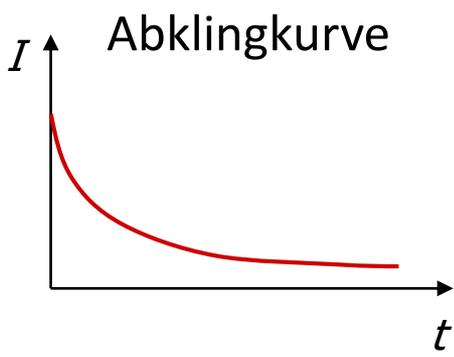
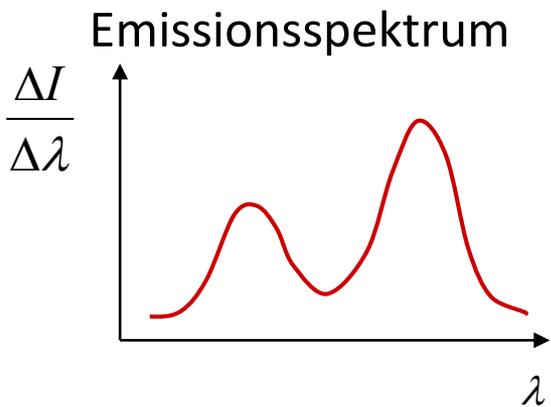
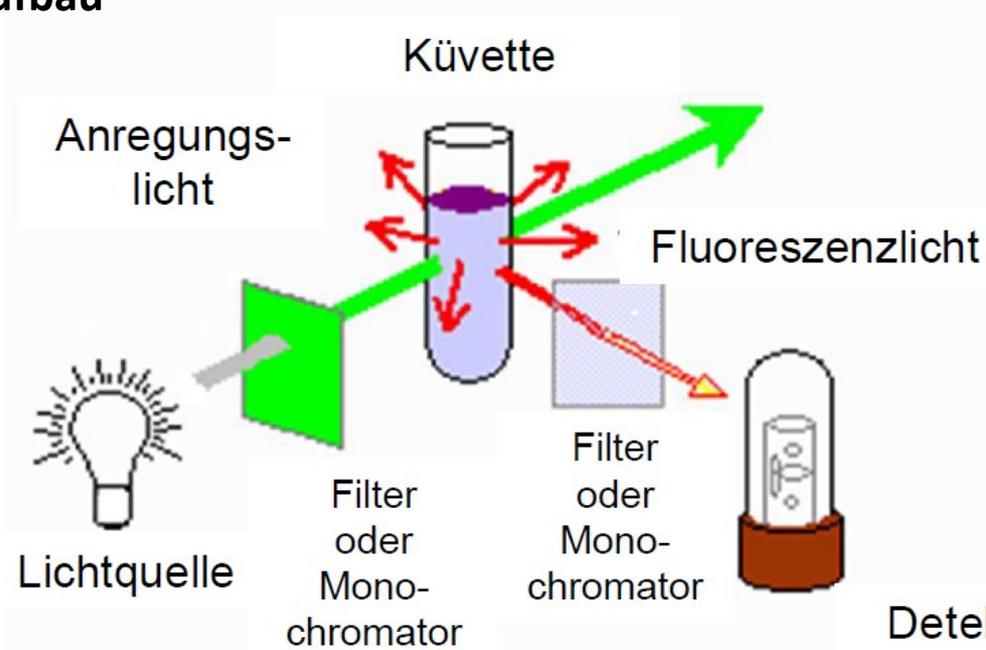


Konzentrationsbestimmung von Na, K, Li, ... mit Hilfe des Flammenphotometers

# Fluorimeter

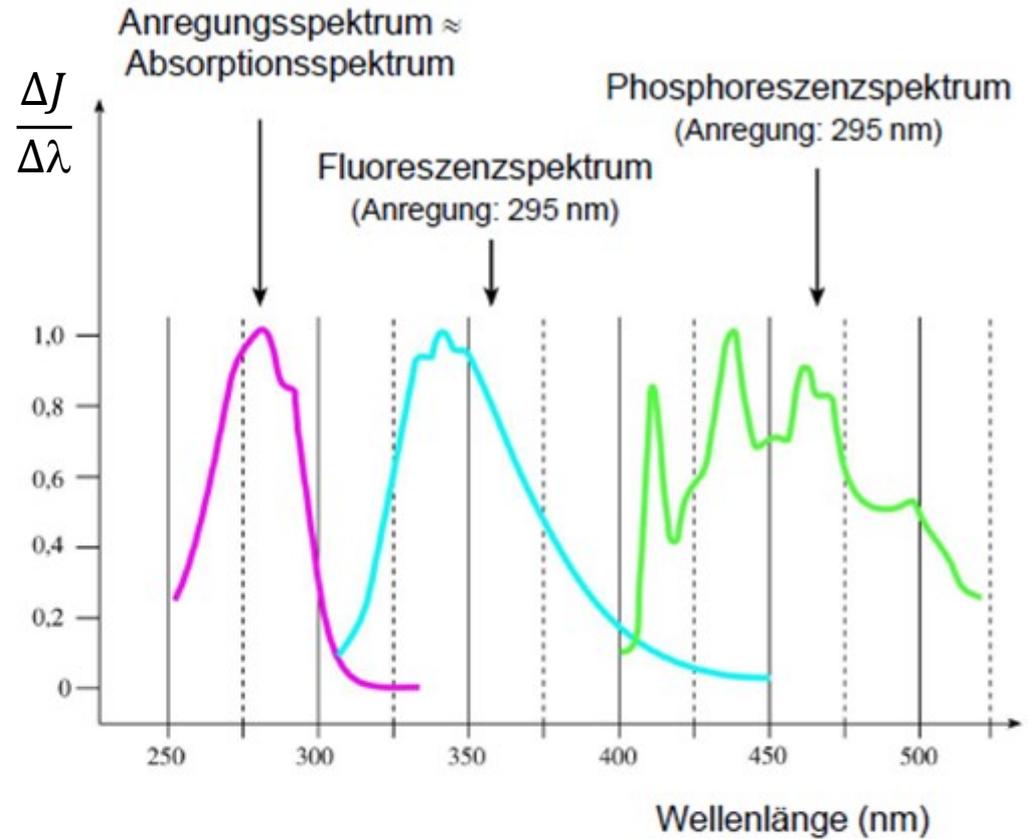
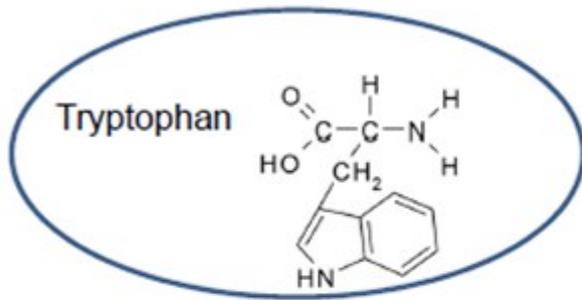
Aufbau

ein Gerät



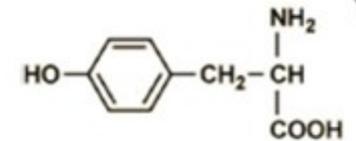
# Fluoreszenzspektroskopie

z.B. Proteinforschung

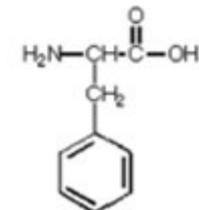


Die Eigenschaften des Lumineszenzlichtes (Intensität, spektrale Verteilung, Stokes-Verschiebung, Lebensdauer, ...) sind sehr empfindlich gegen der Umgebung, Molekülkonformation, Änderungen in diesen, ...

Tyrosin

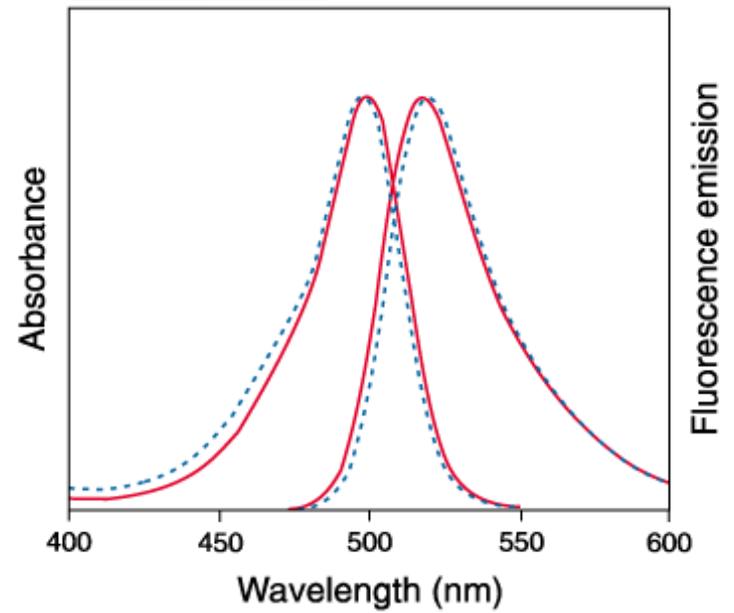
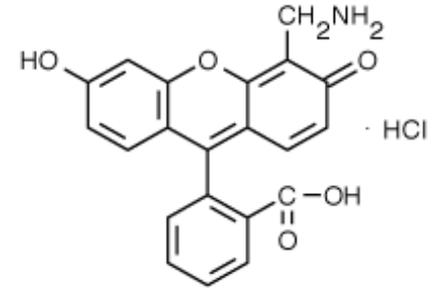
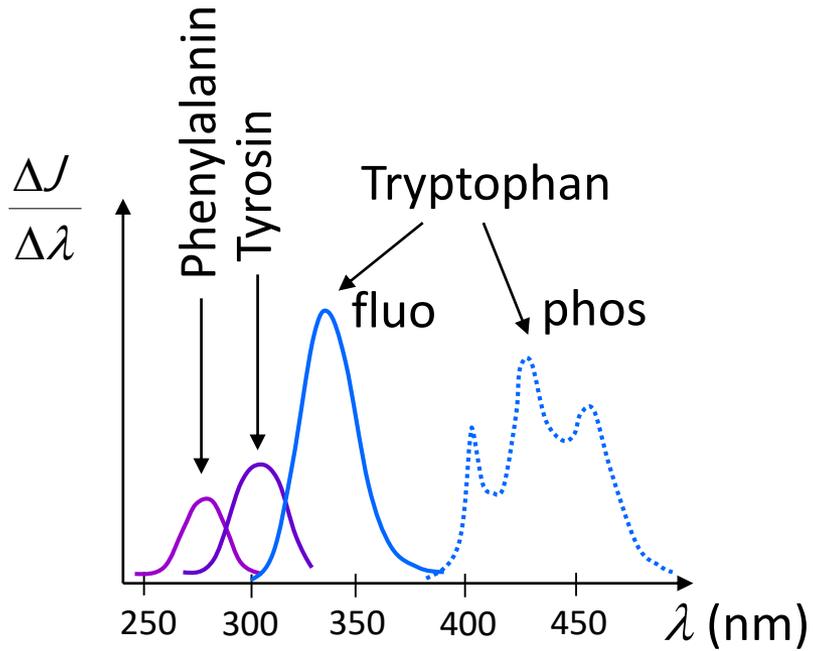


Phenylalanin



Beispiele:

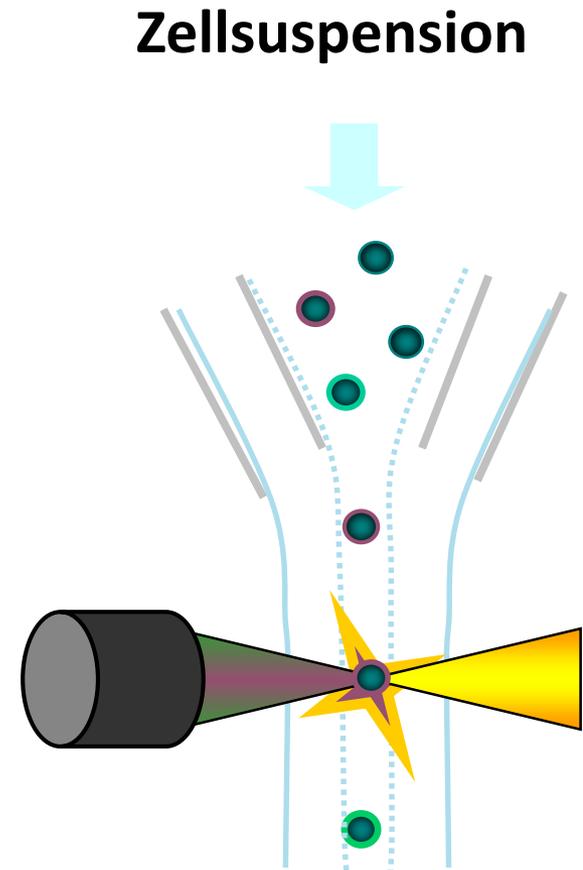
Fluorescein



# FACS: Fluorescence Activated Cell Sorting

eine Art der **Durchflusszytometrie (Flow Cytometry)**

- (meistens) Blutzellen werden fluoreszierend gemacht, und die Fluoreszenz von jeder einzelnen Zelle gemessen
- sehr genaue Bestimmung des Blutbildes, der Weissblutzellenzusammensetzung und des Zustandes des Immunsystems



# FRET: Förster/Fluoreszenz-Resonanzenergietransfer

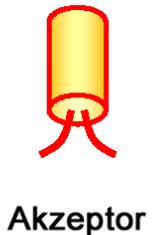
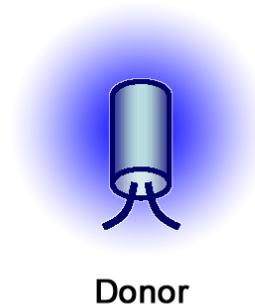
die Energie eines angeregten Farbstoffs (D) wird auf einen zweiten Farbstoff (A) übertragen

die Energie wird dabei strahlungsfrei ausgetauscht

Nachweis der Proximität zwei Moleküle

„molekulares Messband“:

Distanzbestimmung in molekularen Größen möglich

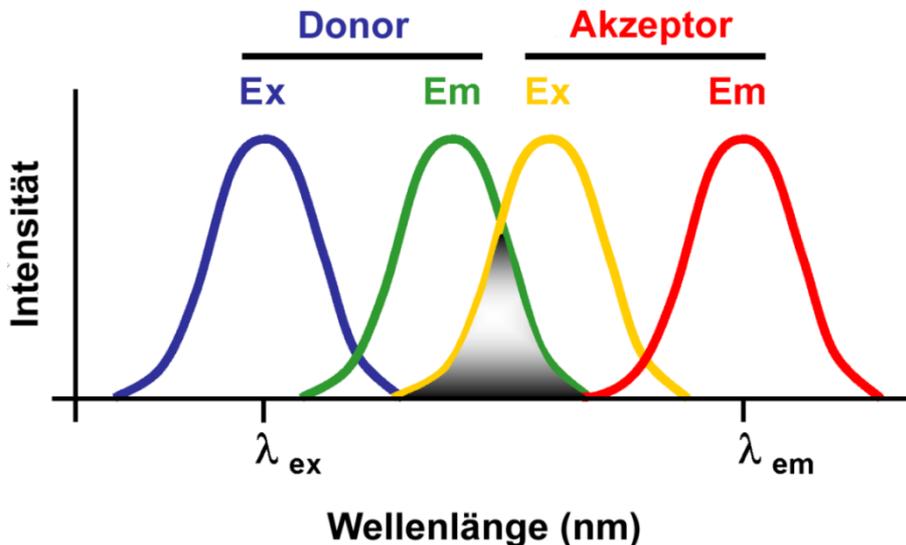


$$\text{Effizienz} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R}{R_0}\right)^6}$$

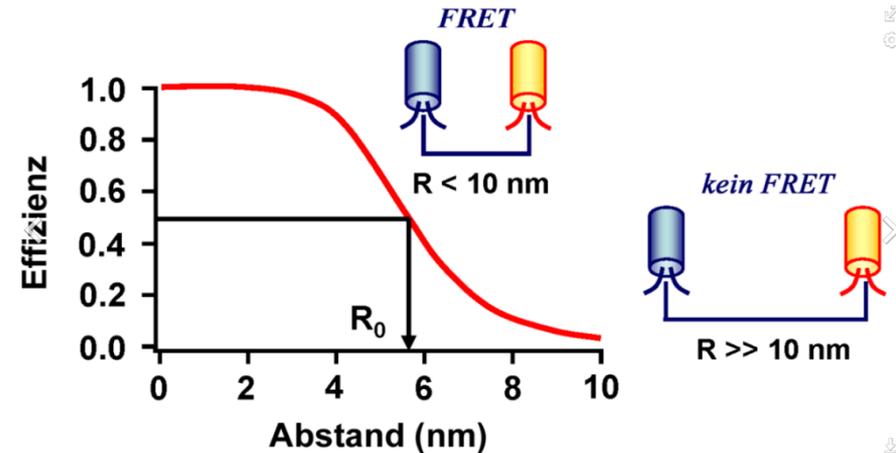
$R_0$  (Förster-Radius) entspricht dem Abstand zwischen beiden Farbstoffen, bei dem die Energieübertragung zu 50 % erfolgt (für jedes Fluorophorpaar anders)

# Voraussetzungen für FRET

**Spektrum.** Überlappung der Spektren von Donoremission und Akzeptorabsorption



**Abstand < 10 nm**

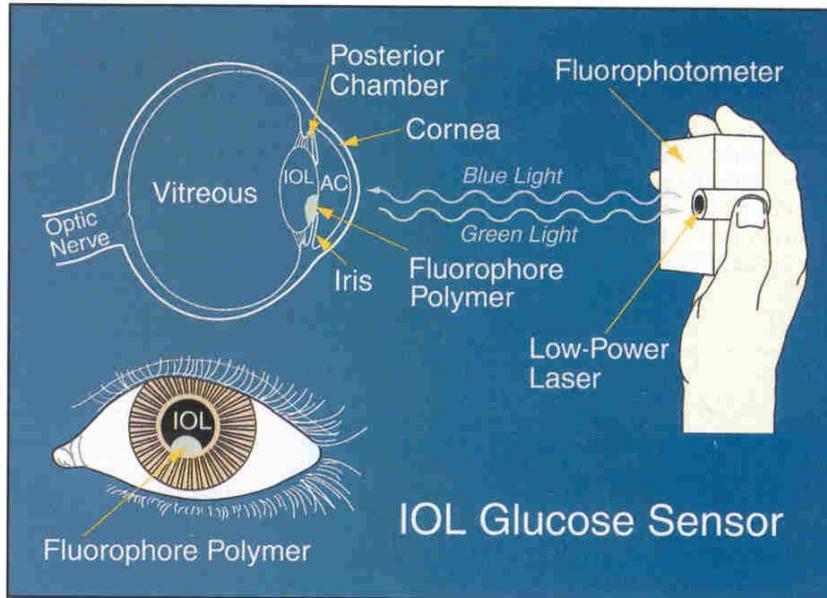


**Orientierung**

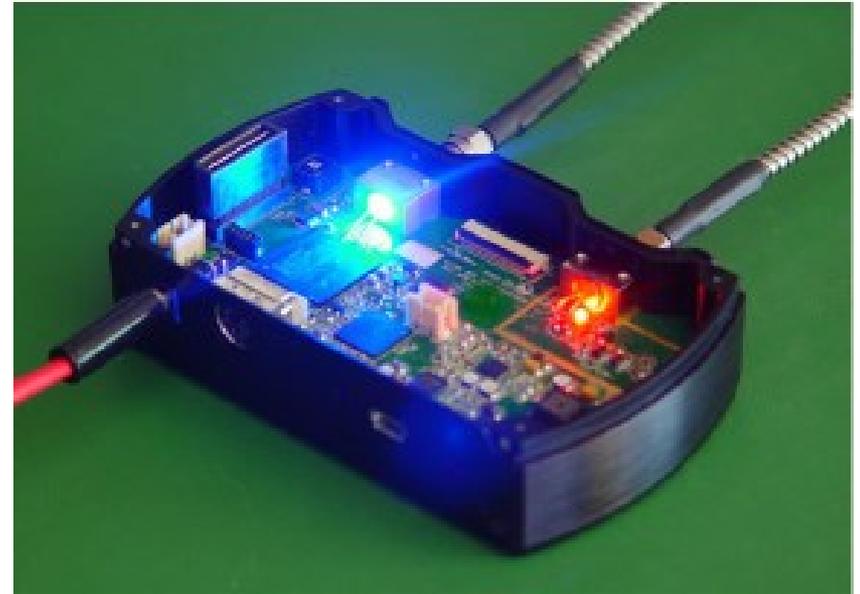
D- und A-Farbstoff sollten möglichst parallele elektronische Schwingungsebenen haben

# Biosensoren

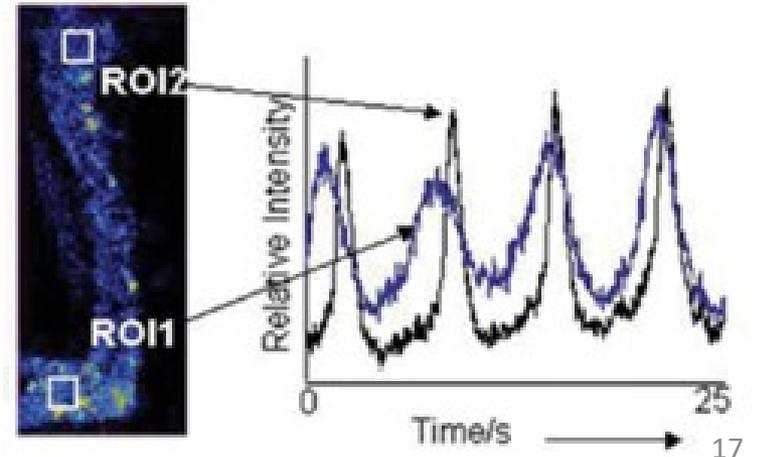
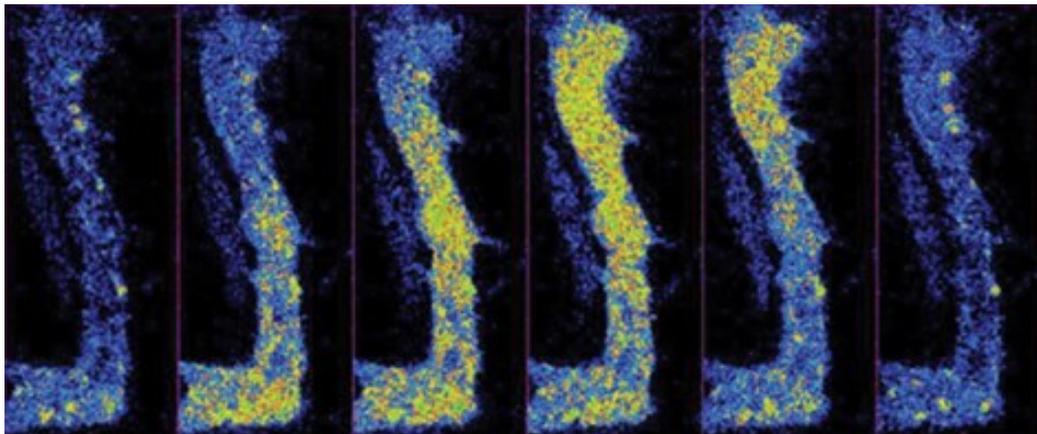
## Glukosesensor



## Sauerstoffsensor



## Calciumsensor, Calciumwelle



# Lumineszenz-Mikroskopie, Fluoreszenzmikroskopie

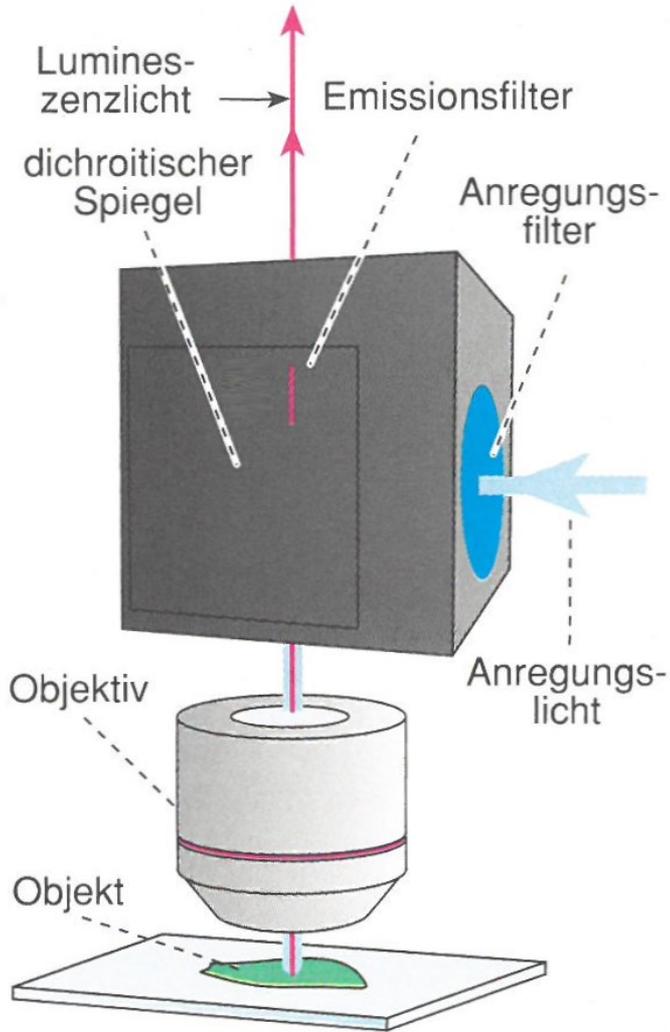


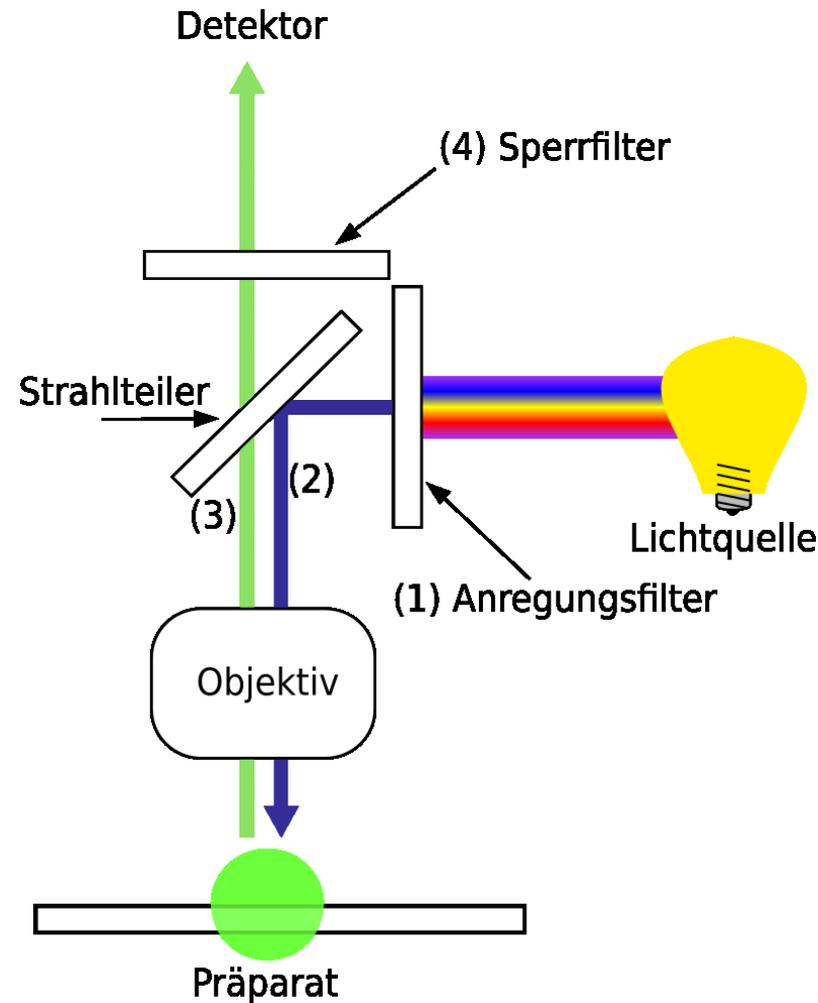
Abb. VI.13. Epifluoreszenz-Anordnung  
(Biophysik Lehrbuch)

UV/VIS Lampe

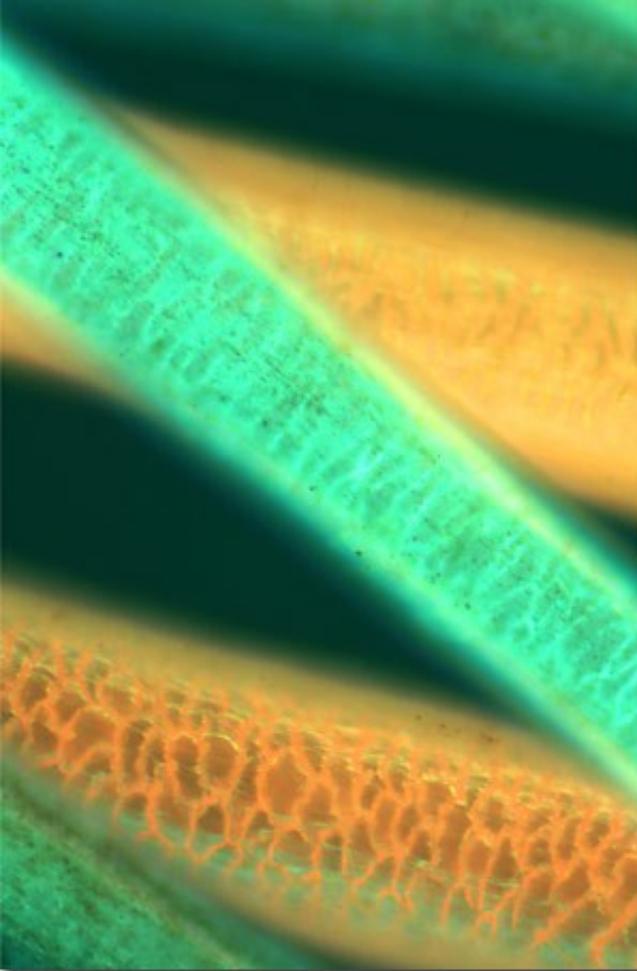
Quartzoptik

Präparat:

- nativ
- gefärbt

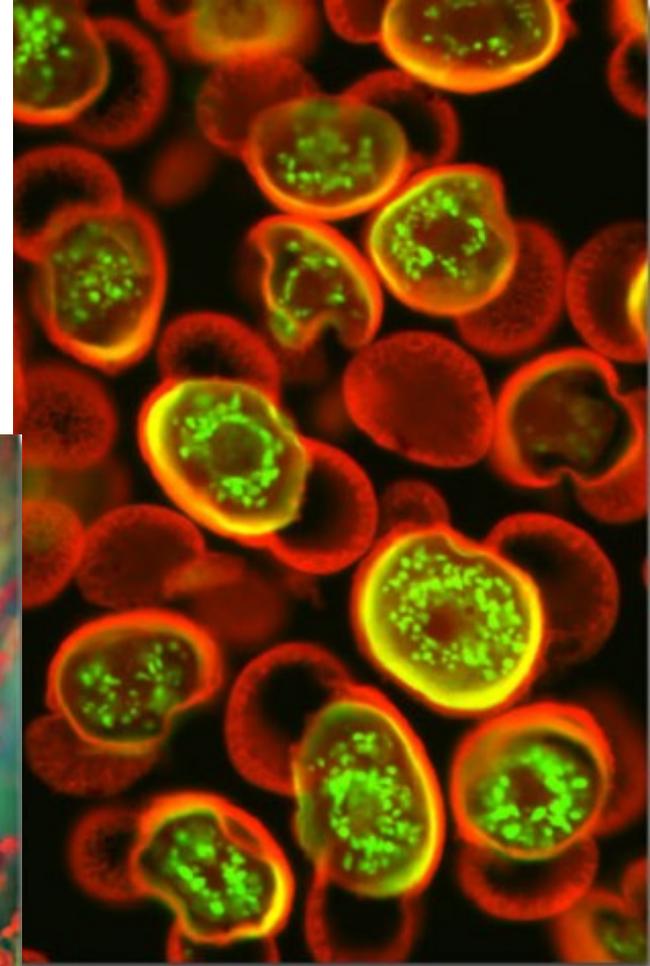
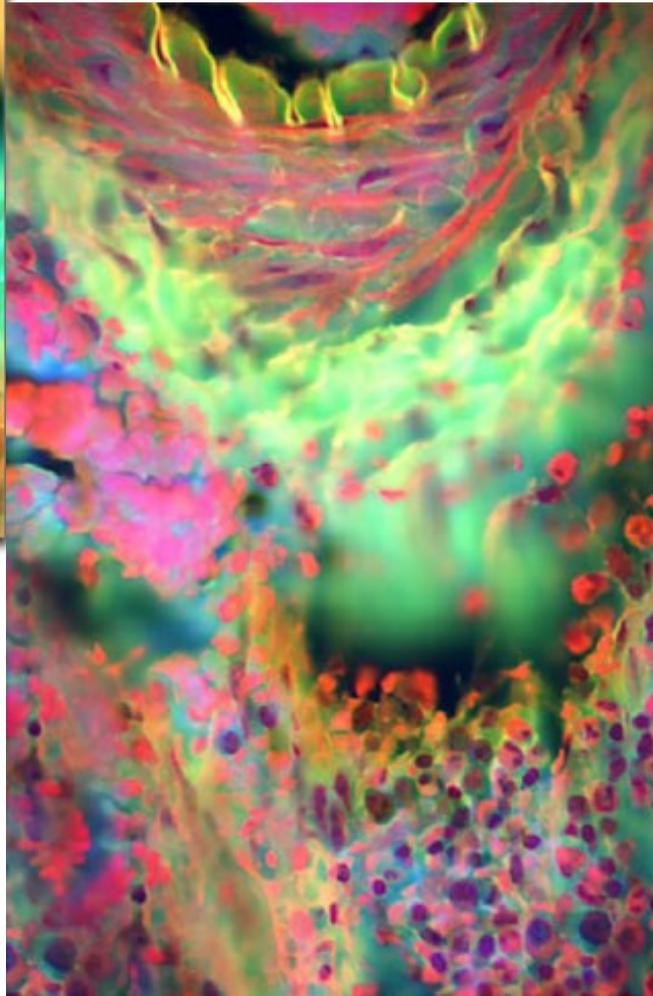


Schema eines Epifluoreszenzmikroskops  
(Wikipedia)



Bauchhaar des  
japanischen Ponys

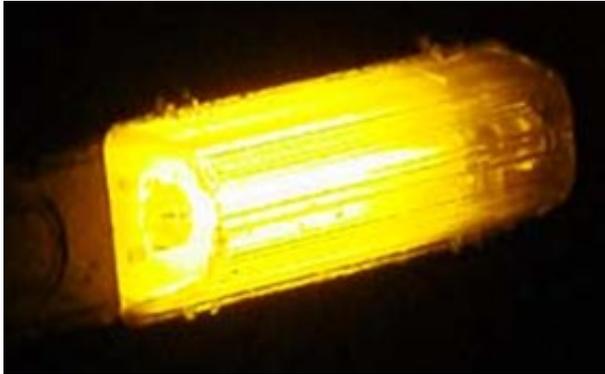
Knochengewebe



Pollen der  
Kiefer

# Lampen

Natriumlampe 590 nm



**Blaulichttherapie** von  
Neugeborengelbsucht

430-490 nm



Leuchtröhren





A Semmelweis Egyetem hallgatóinak és közalkalmazottainak lapja

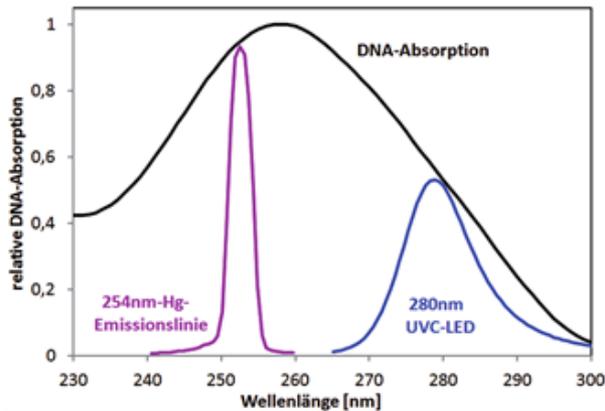
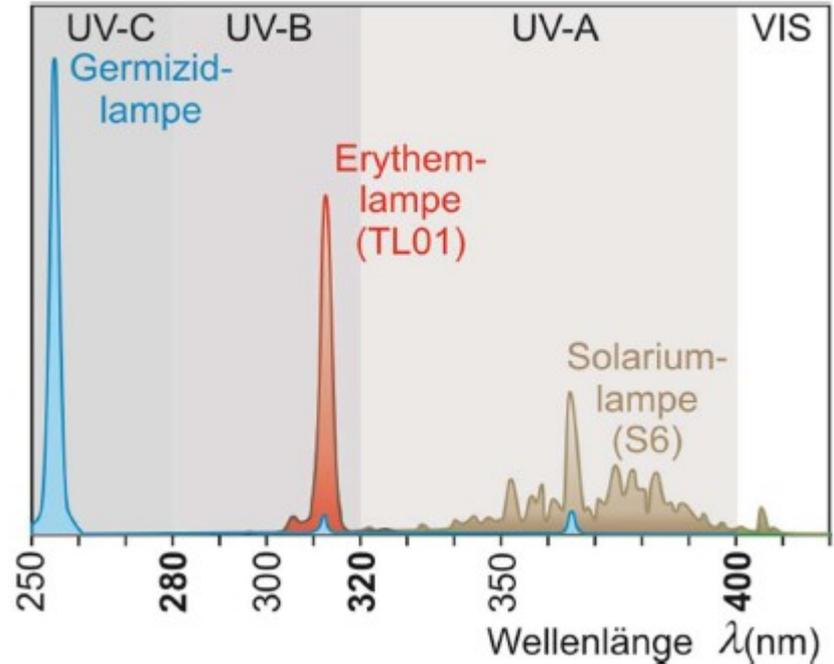


## Germizidlampe



$$\frac{\Delta \nu}{\Delta \lambda}$$

## Germizidlampe

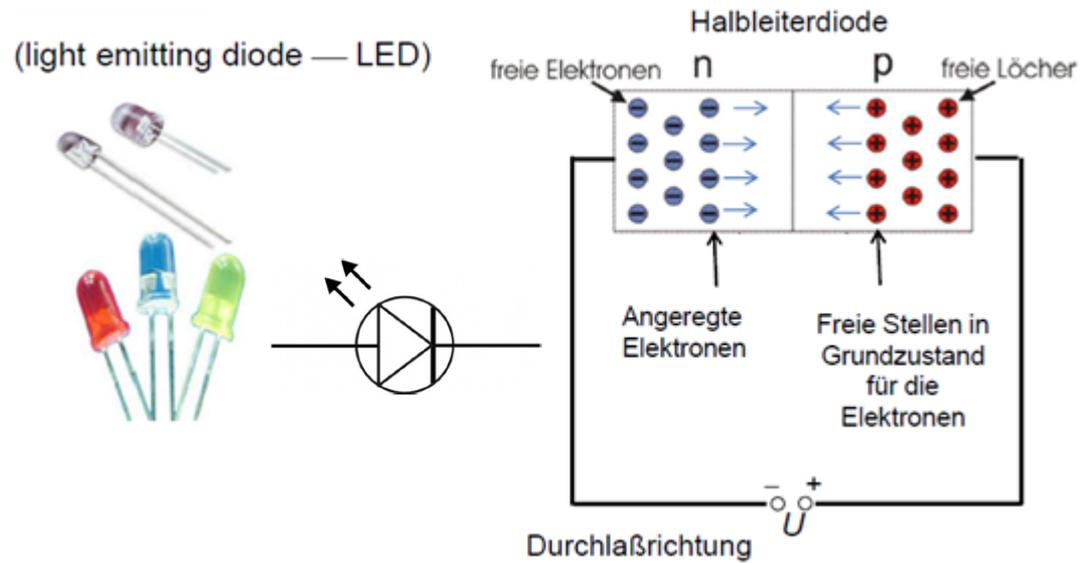


s. Absorptionsspektrum von DNA  $\Rightarrow$  Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)



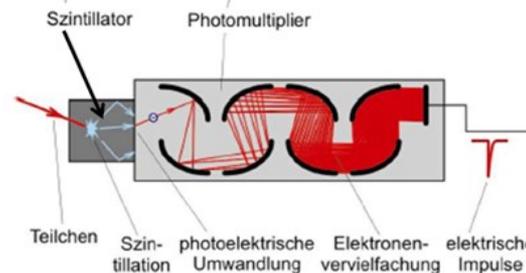
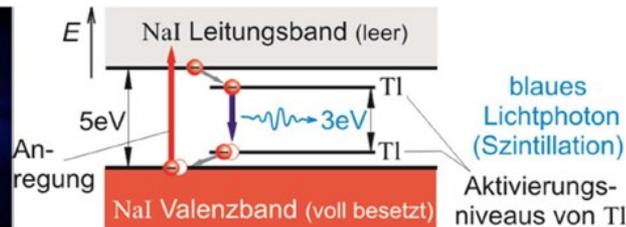
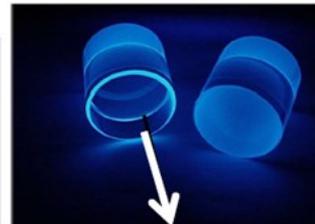
Quartzlampe, Solariumlampe

# Leuchtdioden



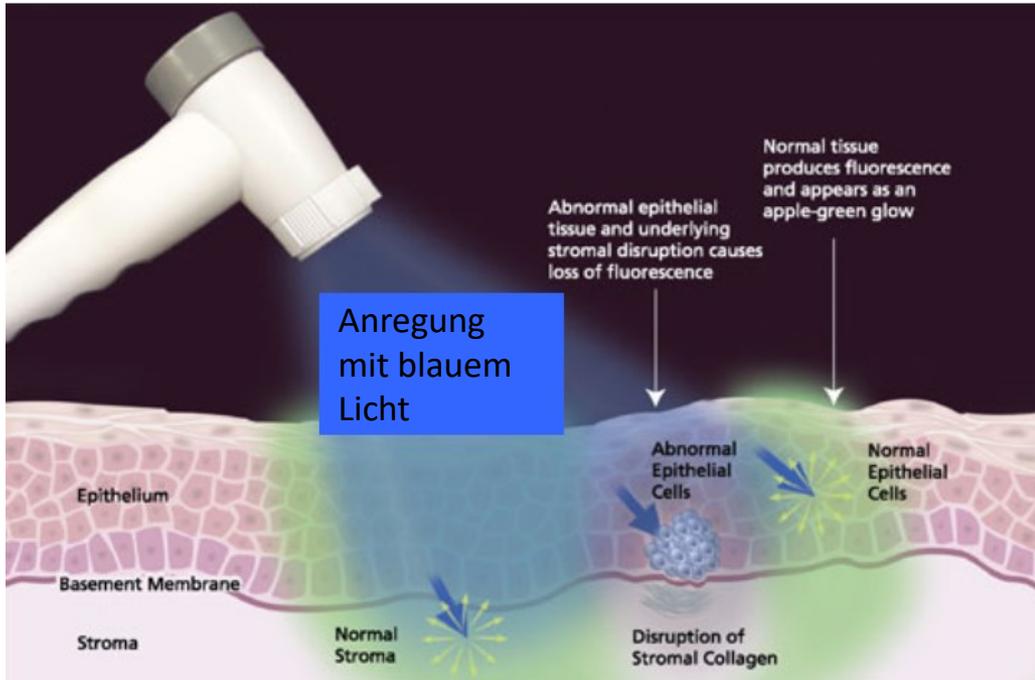
# Strahlungsdetektoren

z. B. NaI(Tl)

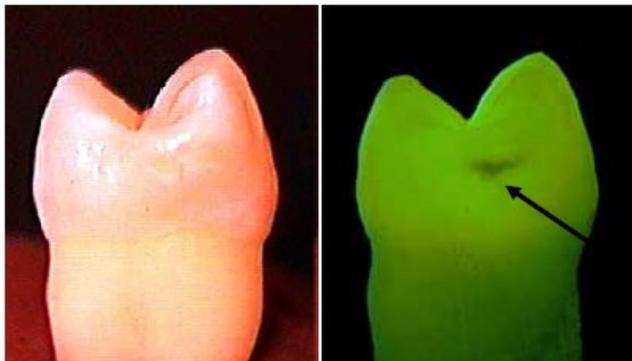


(s. noch Thermolumineszenzdosimeter)

# Anwendungen in der Zahnheilkunde



unterschiedliche Fluoreszenzeigenschaften von gesunden und malignen Geweben



sondierbare Karies

Oberfläche der Milchzähne im nativen Zustand und nach Fluoreszenzfärbung

