

### VI. Wechselwirkungen des Lichts mit der Materie

#### 1. Reflexion

- a) Reflexionsgesetz:
- b) Reflexionskoeffizient (Reflektanz, Reflexionsgrad)
- c) Reflexionsspektrum:

#### 2. Streuung

- a) spektraler Streukoeffizient
- b) elastische Streuung (Rayleigh-Streuung, Mie-Streuung)
- c) dynamische Lichtstreuungsmessung:
- d) unelastische Streuung (Raman-Streuung)

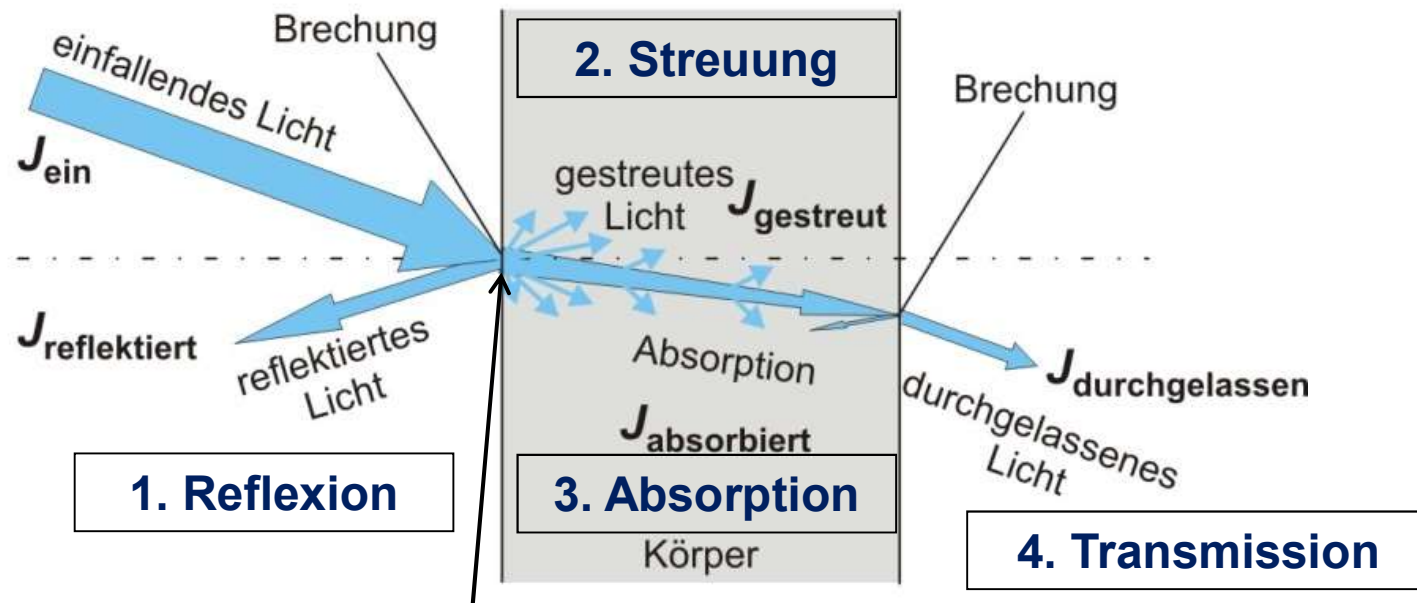
#### 3. Absorption

- a) spektraler Absorptionskoeffizient
- b) Absorptionsspektrum
- c) Mechanismus:
- d) Schwächungsgesetz
- e) Schwächung und Absorption
- f) Anwendungen (Absorptionsspektrometrie, Lambert-Beer-Gesetz), Pulsoximetrie
- g) Aufbau eines Absorptionsspektrophotometers

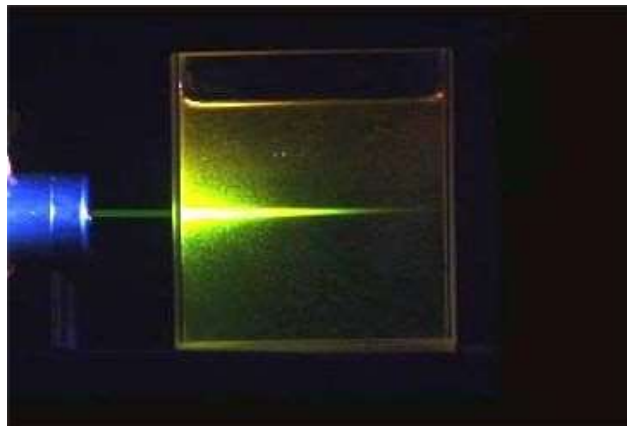
#### 4. Transmission

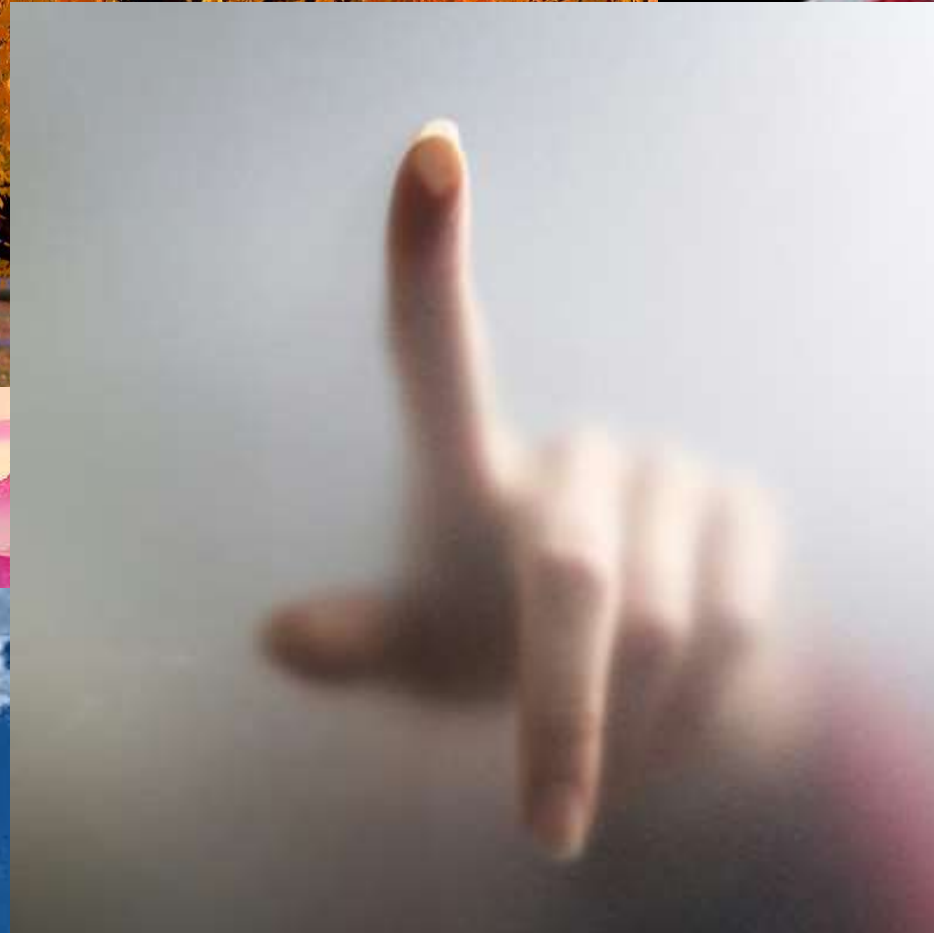
- a) spektraler Transmissionskoeffizient (Transmittar)
- b) Transmissionsspektrum:

# VI. Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie



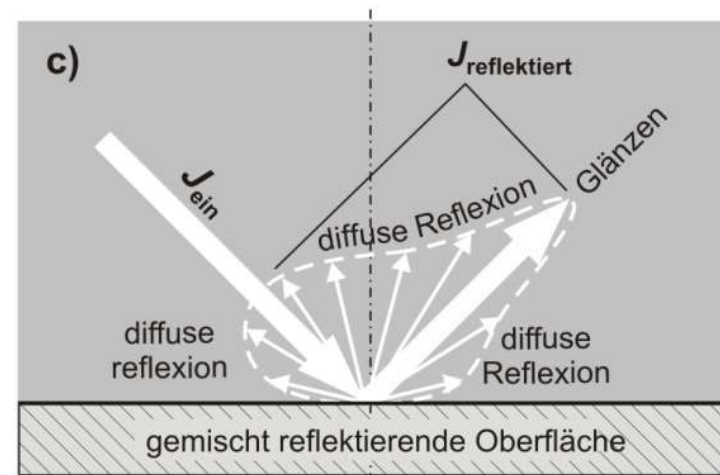
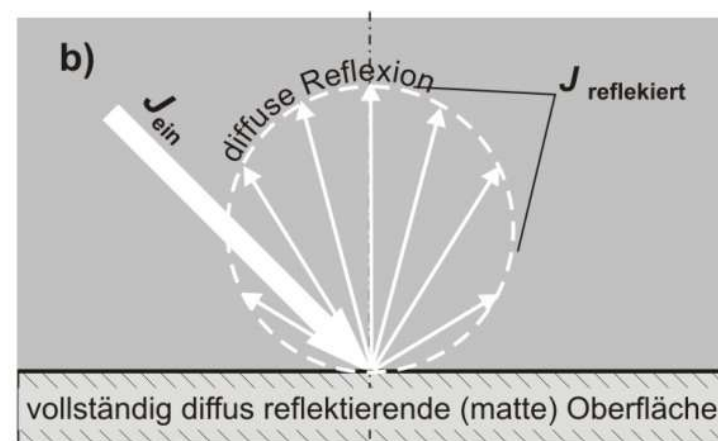
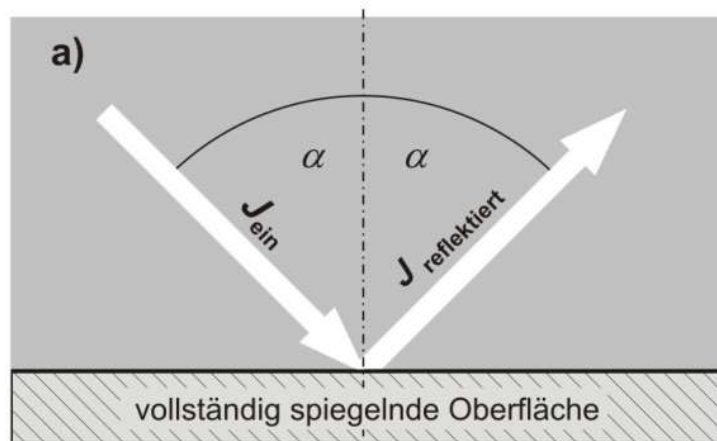
Die in den Körper eindringende Intensität ist  $J_0$ :  $J_0 = J_{\text{ein}} - J_{\text{reflektiert}}$





# 1. Reflexion

a) Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$



b) Reflexionskoeffizient (Reflektanz, Reflexionsgrad)

$\rho$  (auch  $R$ ):

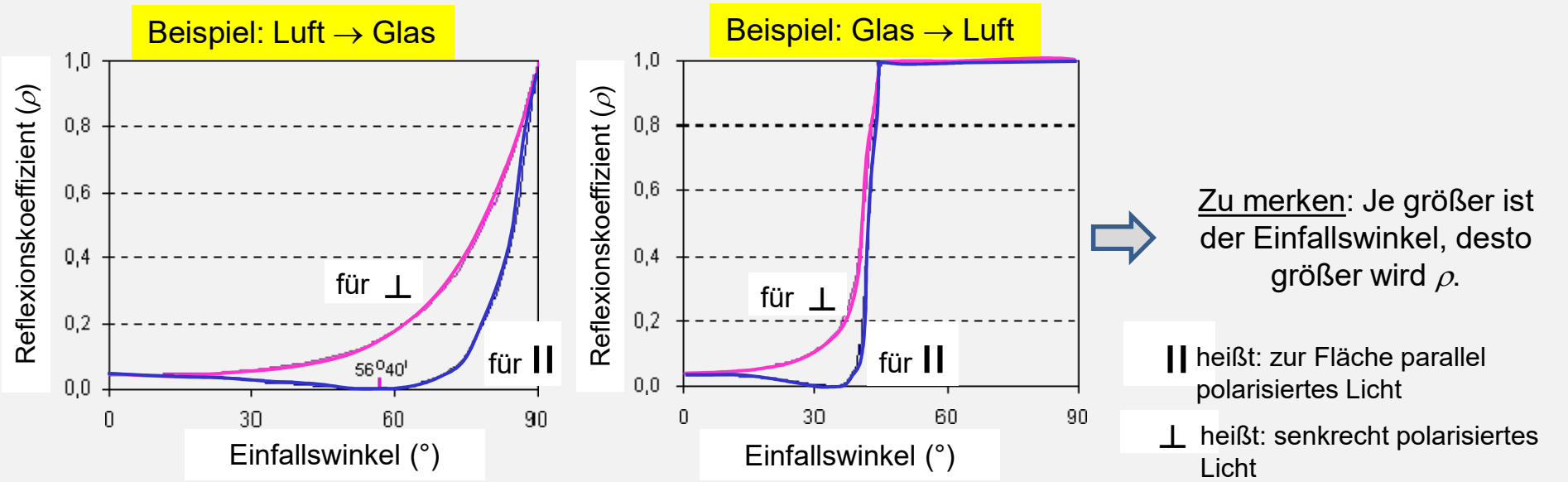
$$\rho = \frac{J_{\text{reflektiert}}}{J_{\text{einfallend}}}$$



Der Reflexionskoeffizient  $\rho$  hängt von:

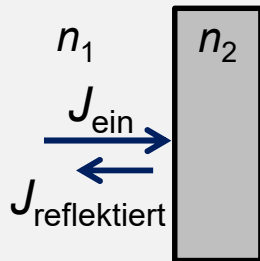
- dem Einfallswinkel
- dem Material
- der Wellenlänge ab.

### ❖ Einfallswinkel:



### ❖ Material:

- Beim senkrechten Einfall und für durchsichtige Stoffe:



$$\rho = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad \left( = \left( \frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2} \right)^2 \right)$$

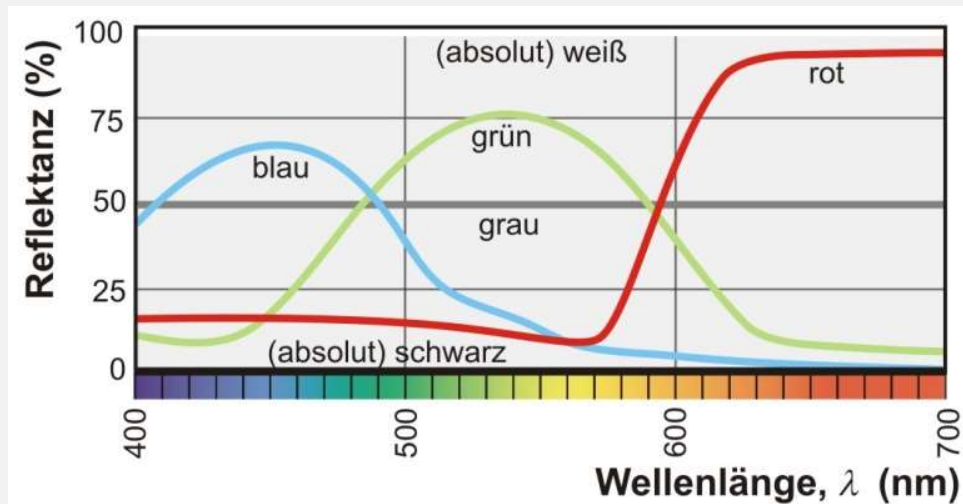


(s. später Ultraschallreflexion)

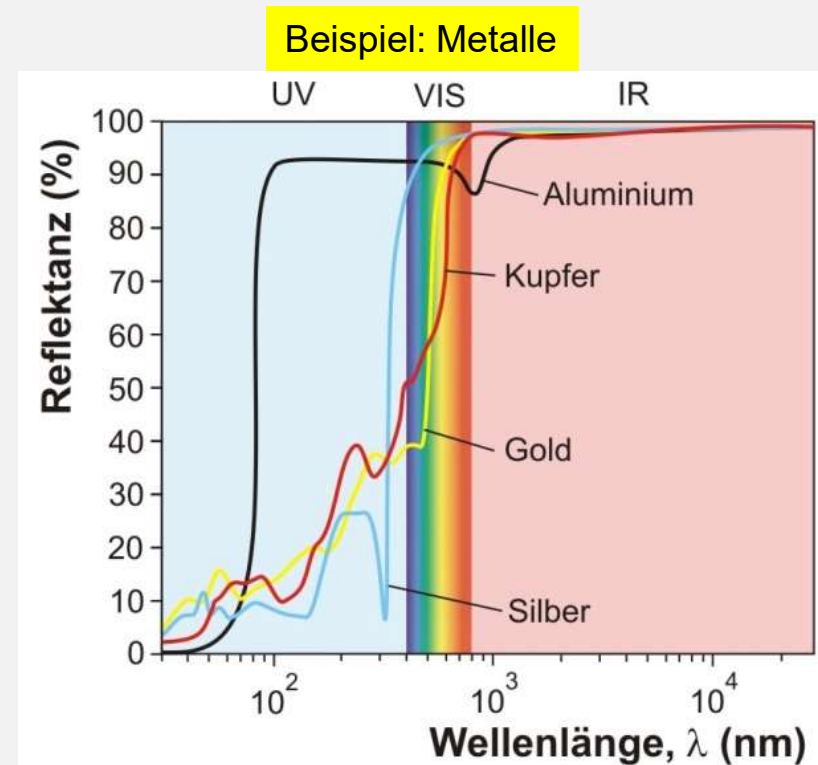
❖ Wellenlänge:

- spektraler Reflexionskoeffizient  $\rho(\lambda)$ : 
$$\rho(\lambda) = \frac{J_{\text{reflektiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$$

c) Reflexionsspektrum:  $\rho$  vs.  $\lambda$



Farbe des Körpers im  
reflektierten Licht



## 2. Streuung

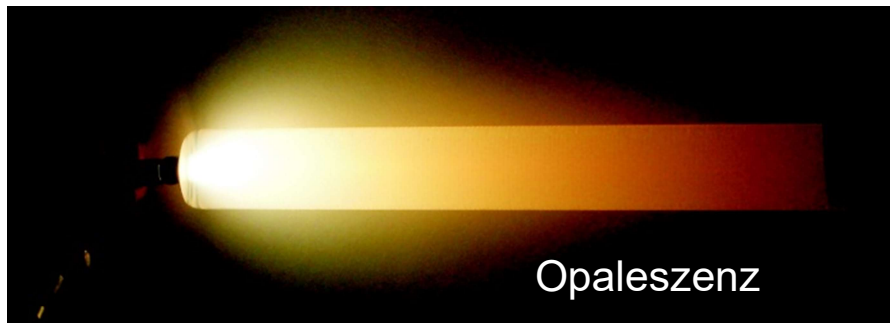
a) spektraler Streukoeffizient  $\sigma(\lambda)$ : 
$$\sigma(\lambda) = \frac{J_{\text{gestreut}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$$



b) elastische Streuung:  $\lambda_{\text{einfallend}} = \lambda_{\text{gestreut}}$

### ▪ Rayleigh-Streuung

(Größe der Streuteilchen  $d \ll \lambda$ )



$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$

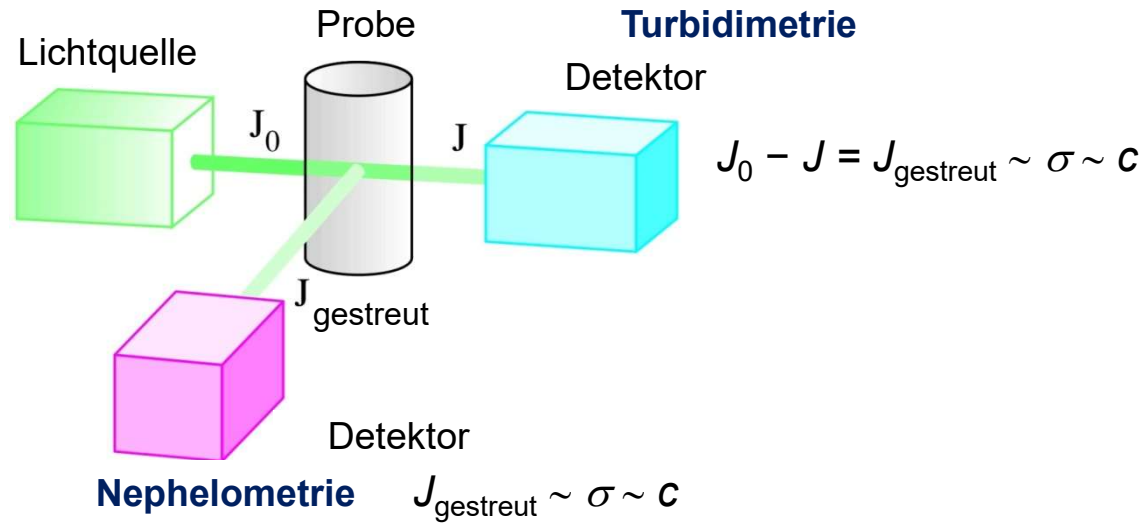
### ▪ Mie-Streuung

(Größe der Streuteilchen  $d \approx > \lambda$ )



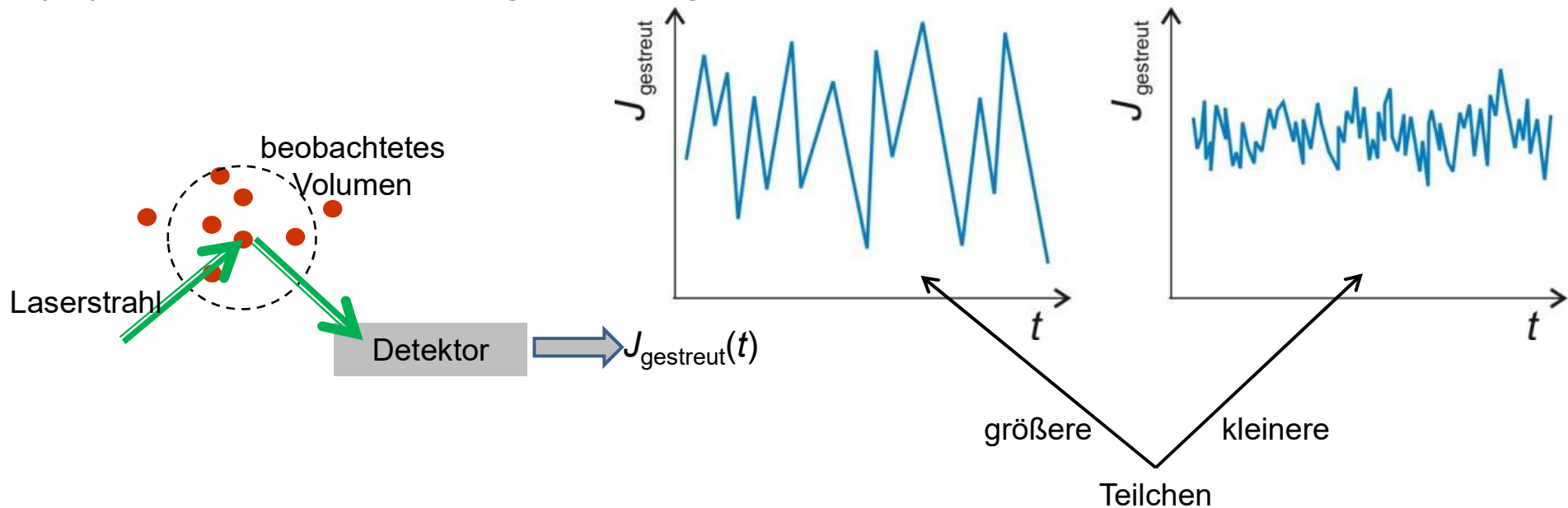
$\sigma(\lambda)$  ist unabhängig von  $\lambda$  !

## Anwendung: Konzentrationsbestimmung



z.B. Immunglobulinen

## c) dynamische Lichtstreuungsmessung:



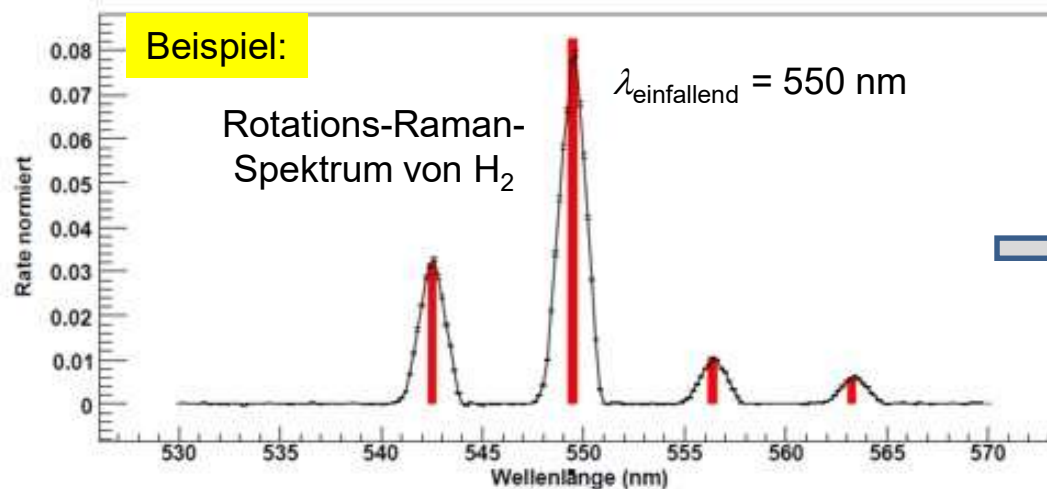
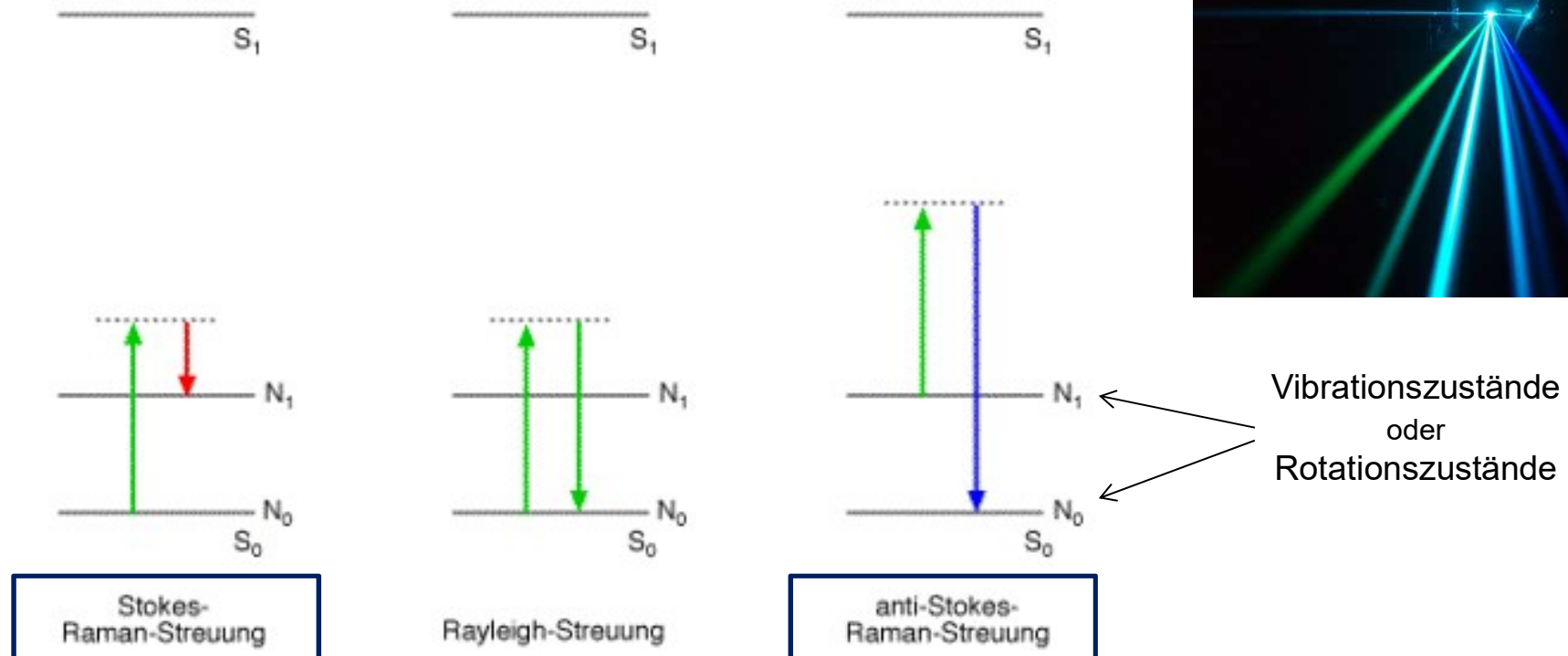
## Anwendung: Bestimmung der Teilchengröße



d) unelastische Streuung:  $\lambda_{\text{einfallend}} \neq \lambda_{\text{gestreut}}$

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

## Raman-Streuung



Bestimmung der Vibrations-, oder Rotationszuständen (-energien)

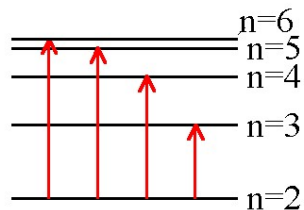
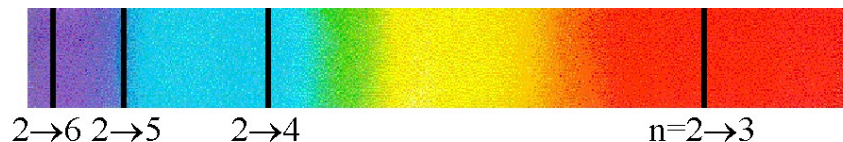
### 3. Absorption

a) spektraler Absorptionskoeffizient  $\alpha(\lambda)$ : 
$$\alpha(\lambda) = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$$

b) Absorptionsspektrum:  $\alpha$  vs.  $\lambda$

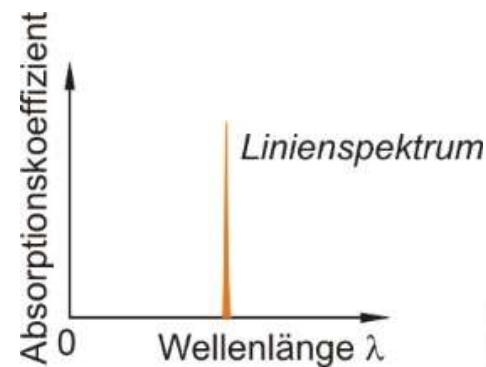
c) Mechanismus:

Absorption von Atomen:



H-Atom

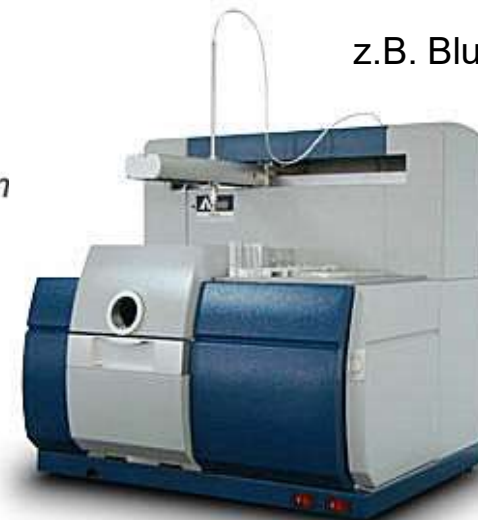
— n=1 Grundzustand



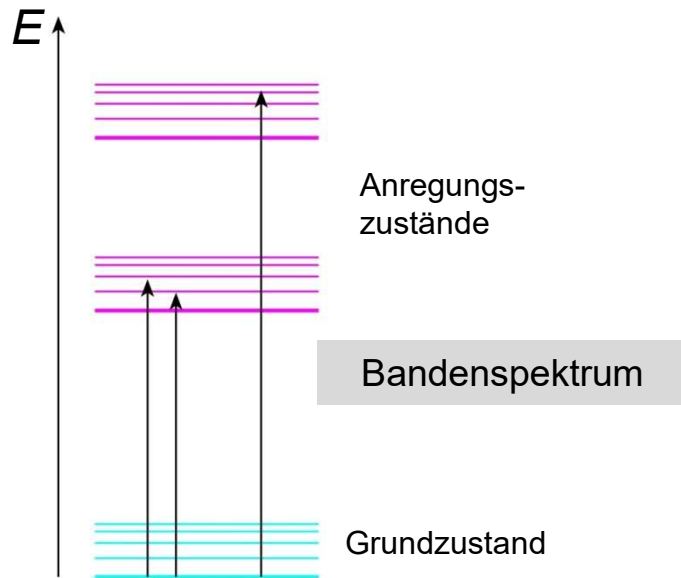
**Anwendung:** Atomabsorptionsspektrometrie

$$\alpha(\lambda) \sim c$$

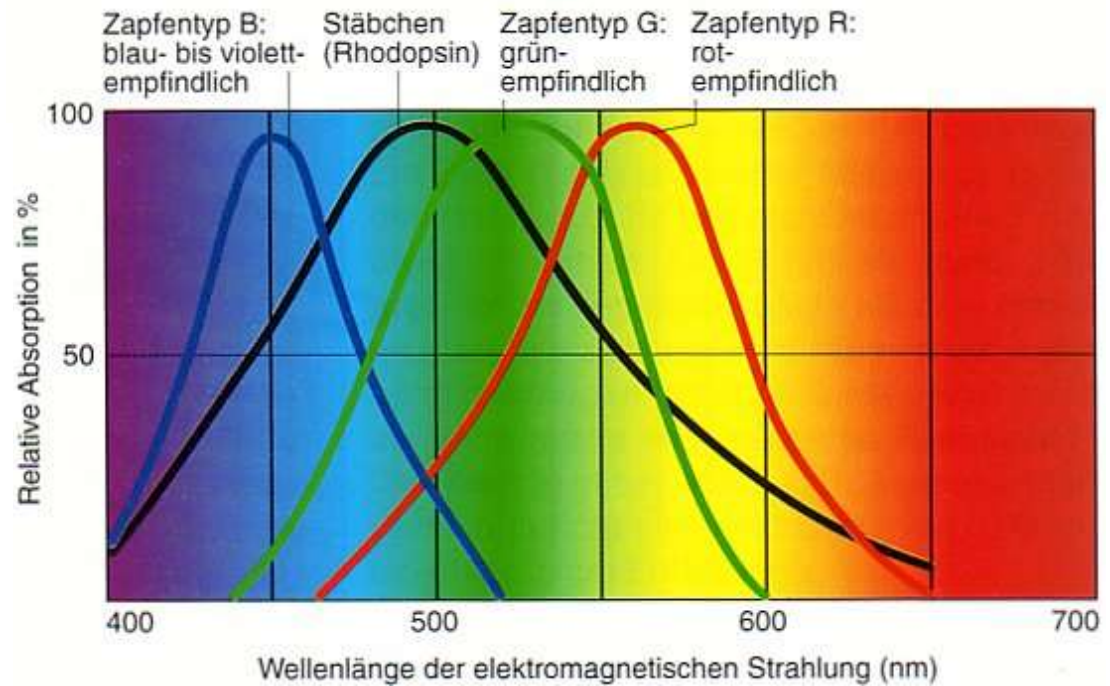
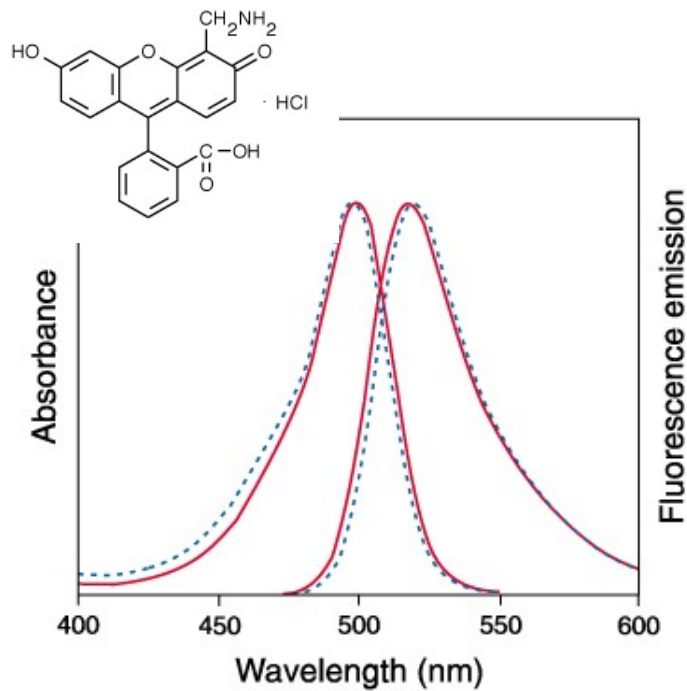
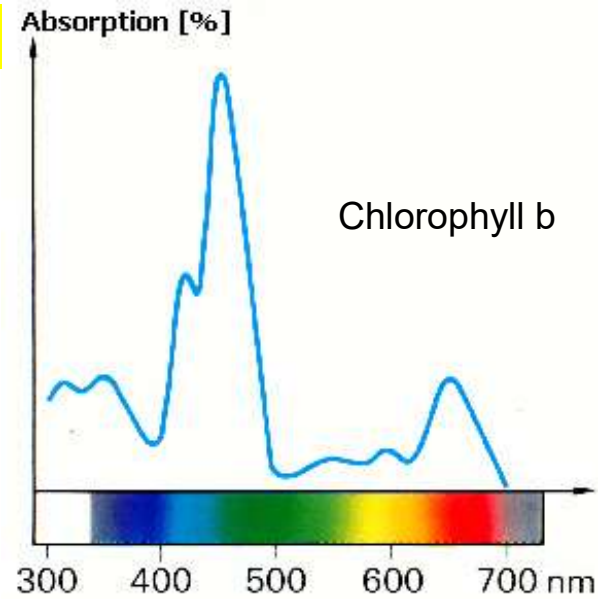
z.B. Blutanalyse



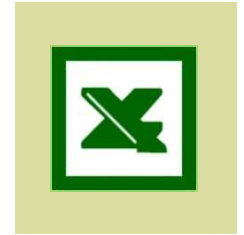
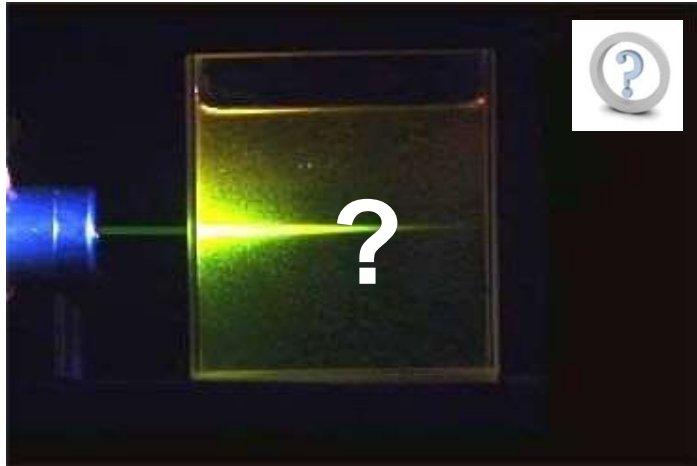
# Absorption von Molekülen:



Beispiele:



d) Schwächungsgesetz:

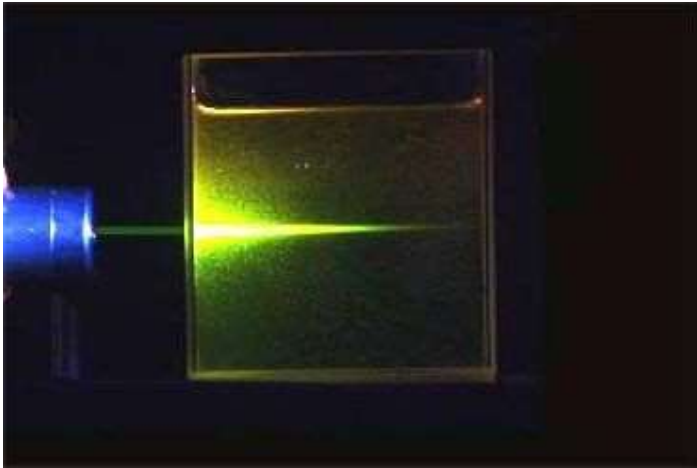


- Linearer Absorptionskoeffizient ( $\alpha$ ), Maßeinheit:  $1/m$

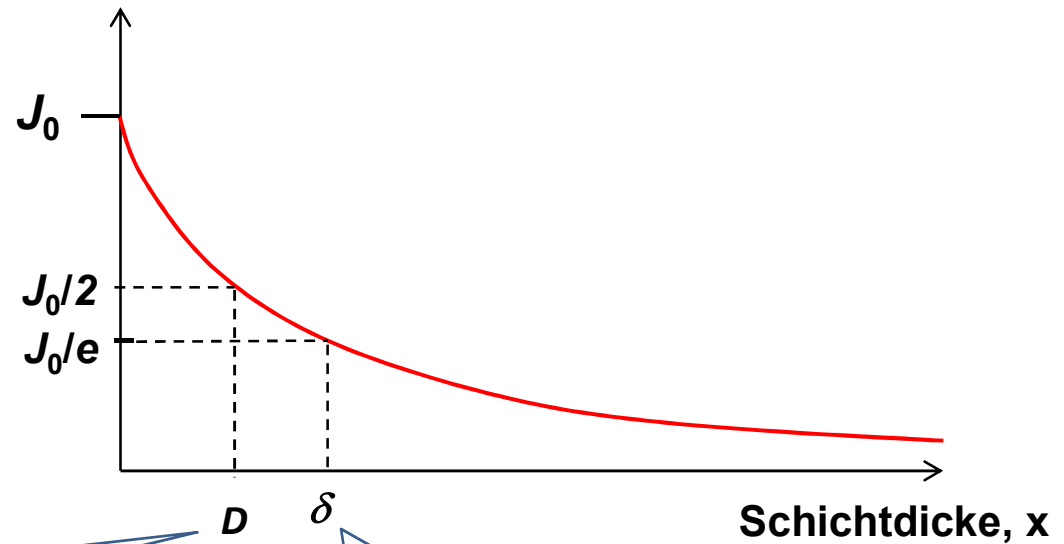
Schwächungsgesetz:

$$J = J_0 \cdot e^{-\mu x}$$

Linearer Schwächungskoeffizient ( $\mu$ ),  
Maßeinheit: 1/m



Intensität,  $J$



Halbwertsdicke

Eindringtiefe

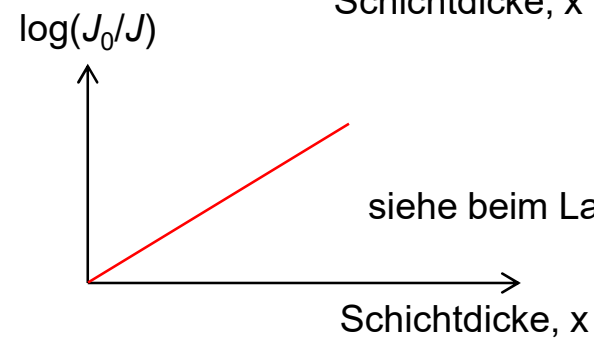
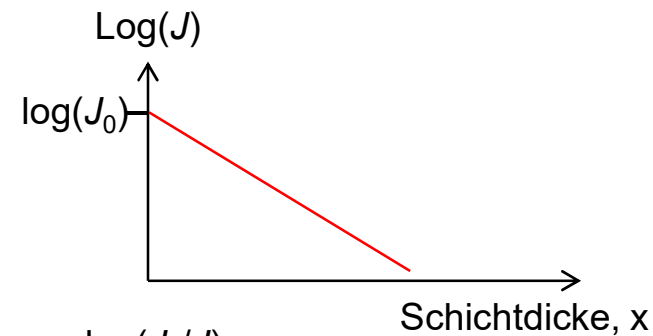
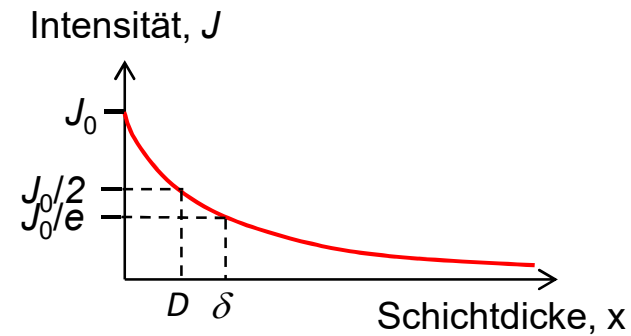
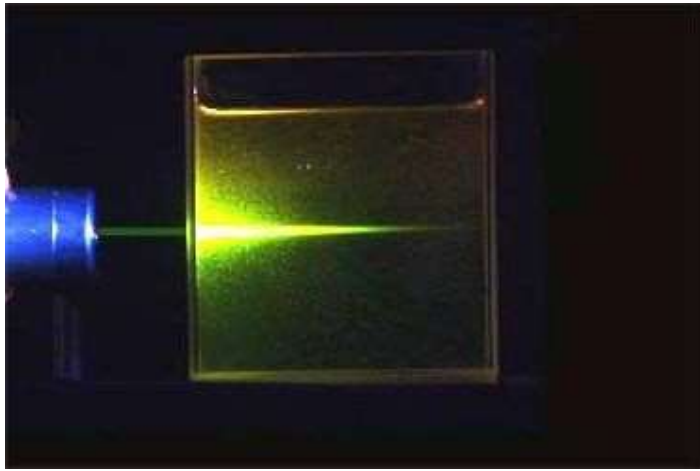
Halbwertsdicke ( $D$ ):  $D = \frac{\ln 2}{\mu}$

Eindringtiefe ( $\delta$ ):  $\delta = \frac{1}{\mu}$



Schwächungsgesetz:  $J = J_0 \cdot e^{-\mu x}$

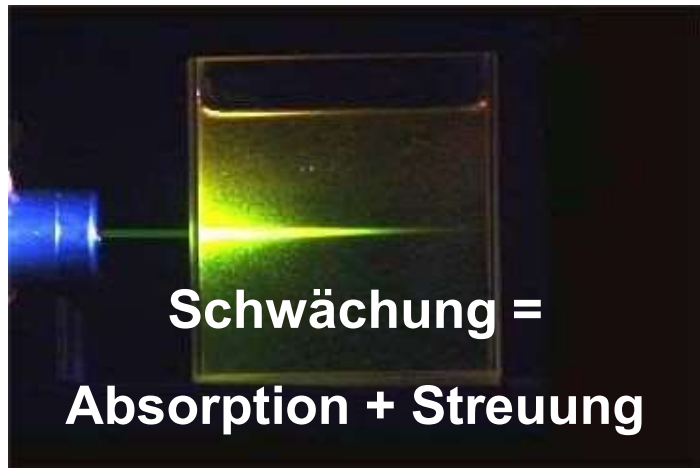
Gilt allgemein für elektromagnetische Str.,  $\beta$ -Str., mechanische Str., siehe später!



(dekadische) Extinktion (E) =

optische Dichte (OD):  $E = \lg \frac{J_0}{J}$   
(dimensionslose Zahl)

### e) Schwächung und Absorption:



$$J = J_0 \cdot e^{-\mu x}$$

Linearer Schwächungskoeffizient ( $\mu$ ),  
Maßeinheit: 1/m

(enthält den linearen Absorptions- und  
Streuungskoeffizienten)

Wenn man nur die Absorption betrachtet:

$$J = J_0 e^{-a \cdot x}$$

- Absorbanz ( $A$ ):  $A = \lg \frac{J_0}{J}$   
(dimensionslose Zahl)

Linearer Absorptionskoeffizient ( $a$ ),  
Maßeinheit: 1/m

(Charakterisiert nur die Absorption)

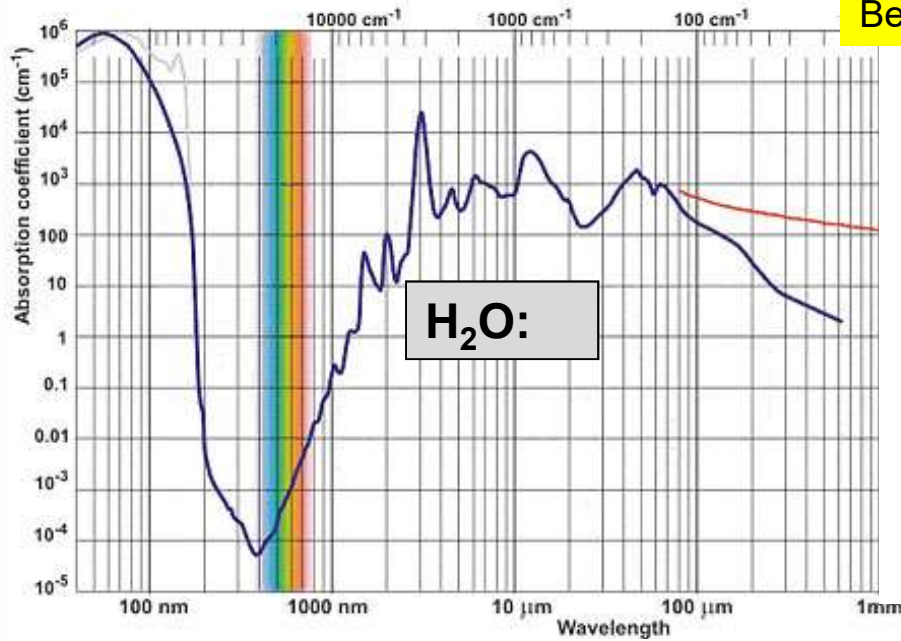
Oft spricht man über Absorbanz auch dann, wenn die Streuung nicht vernachlässigbar ist, wenn man also Extinktion sagen müsste:

Absorbanz = (dekadische) Extinktion ( $E$ ) = optische Dichte (OD)

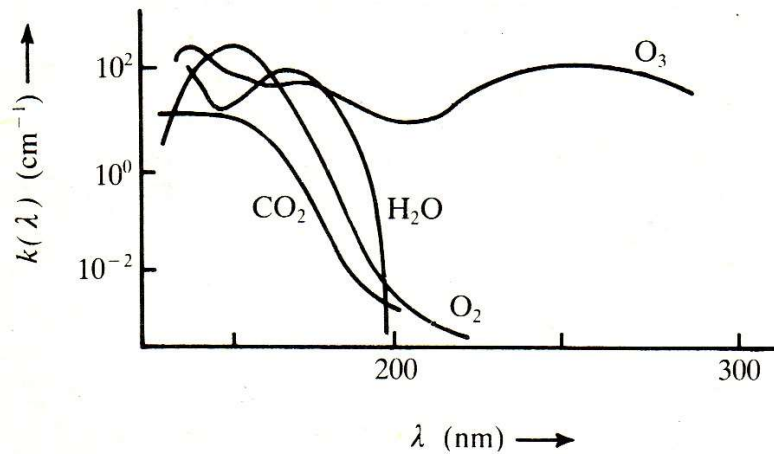
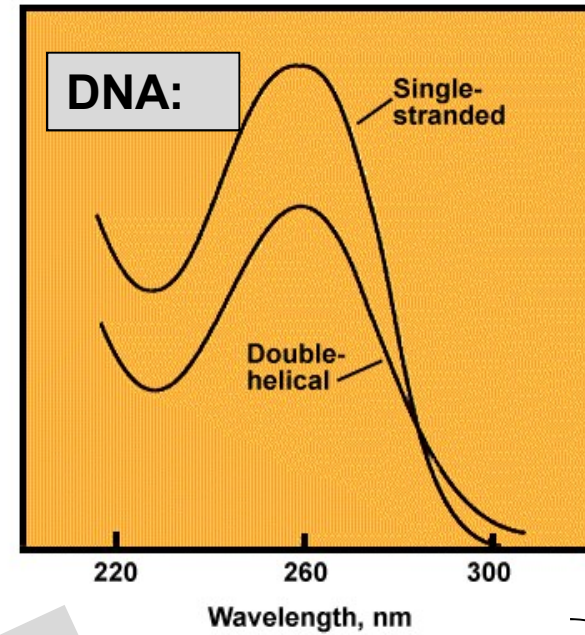
- Absorptionsspektrum:  $A$  vs.  $\lambda$   
(oder  $E$  vs.  $\lambda$  oder  $OD$  vs  $\lambda$ )



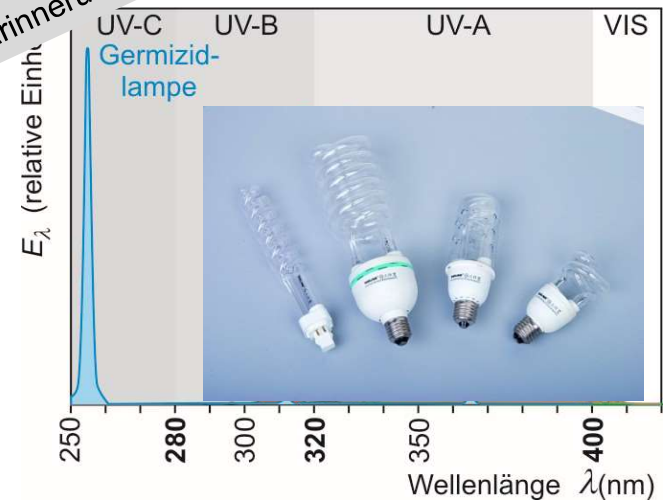
Beispiele:



Absorbance



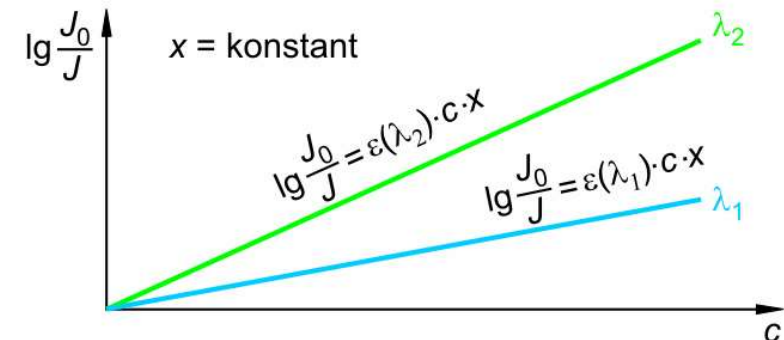
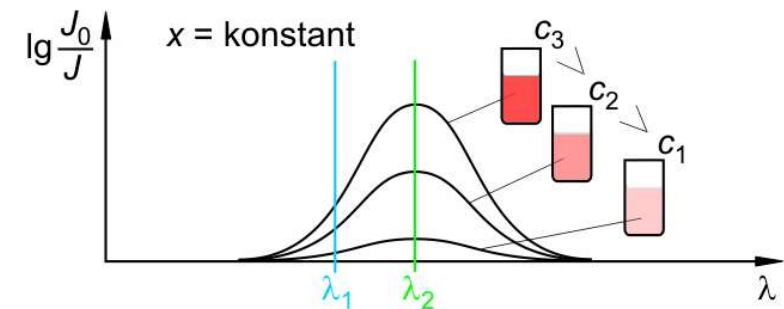
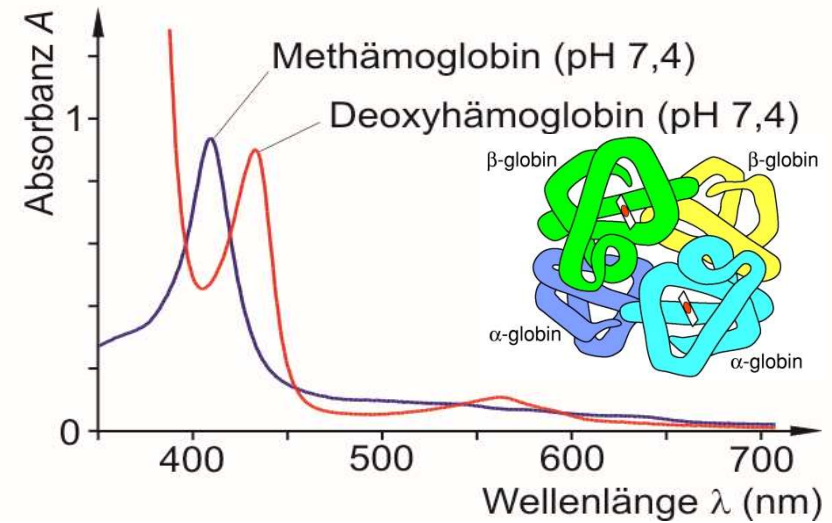
Zur Erinnerung:



## f) Anwendung: Absorptionsspektrometrie

- Untersuchung von biologischen Makromoleküle
- Konzentrationsbestimmung
  - **Lambert-Beer-Gesetz** (für dünne Lösungen)

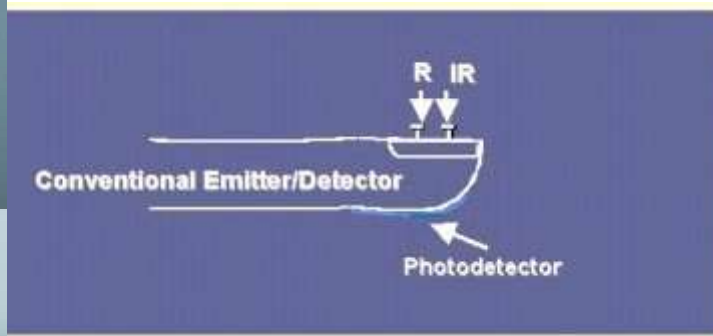
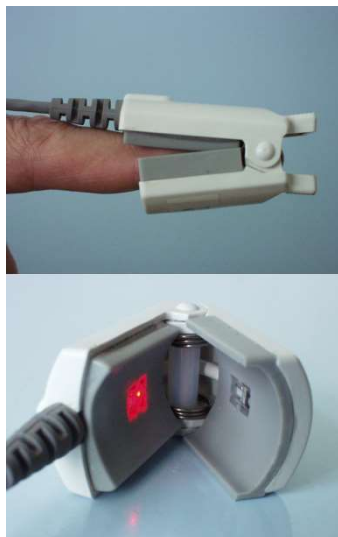
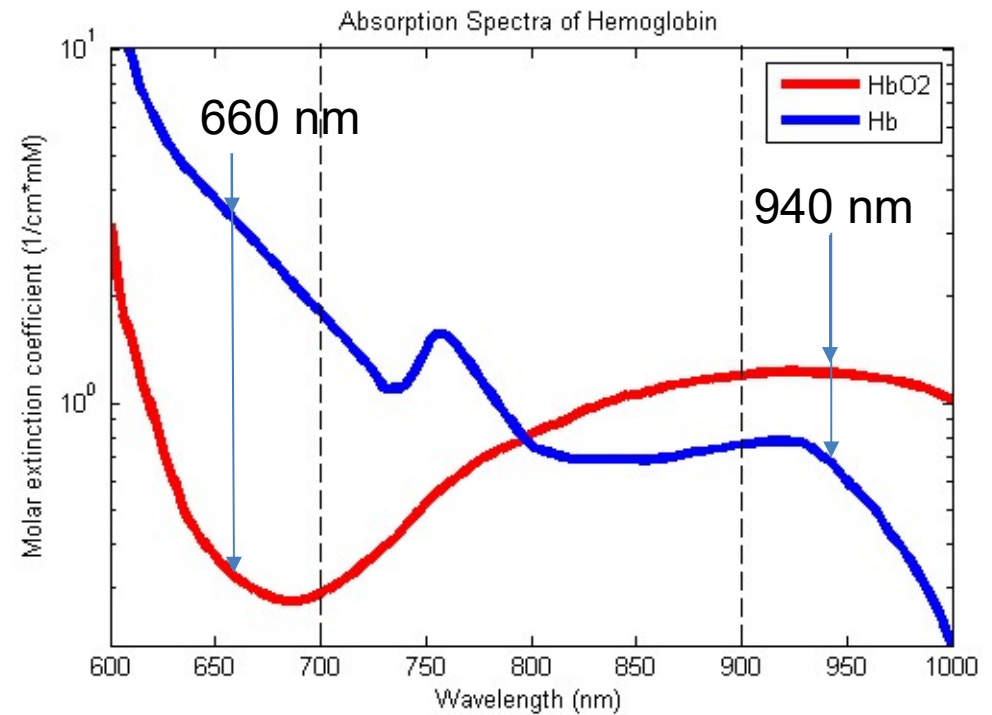
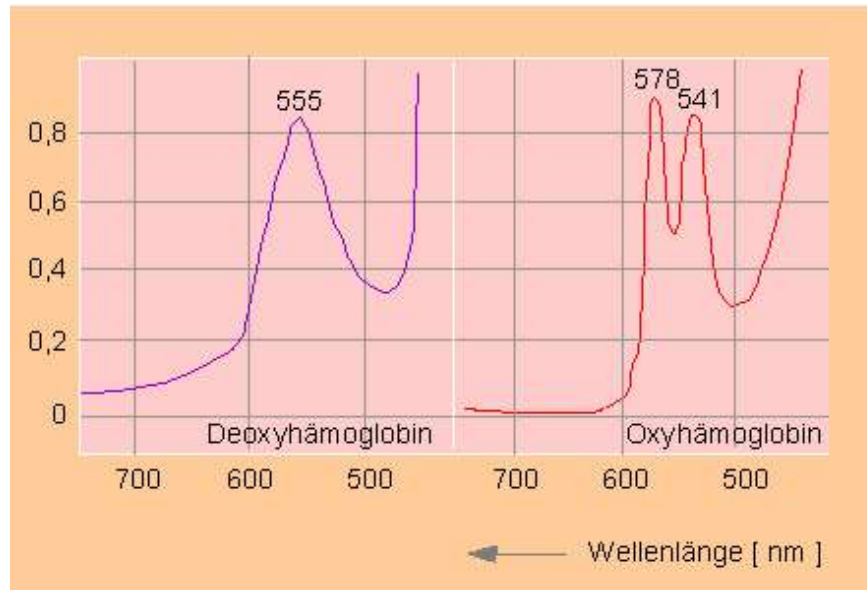
$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot x$$



- molarer Extinktionskoeffizient ( $\varepsilon$ ), Maßeinheit:  $1/(\text{cm} \cdot \text{mol/l})$

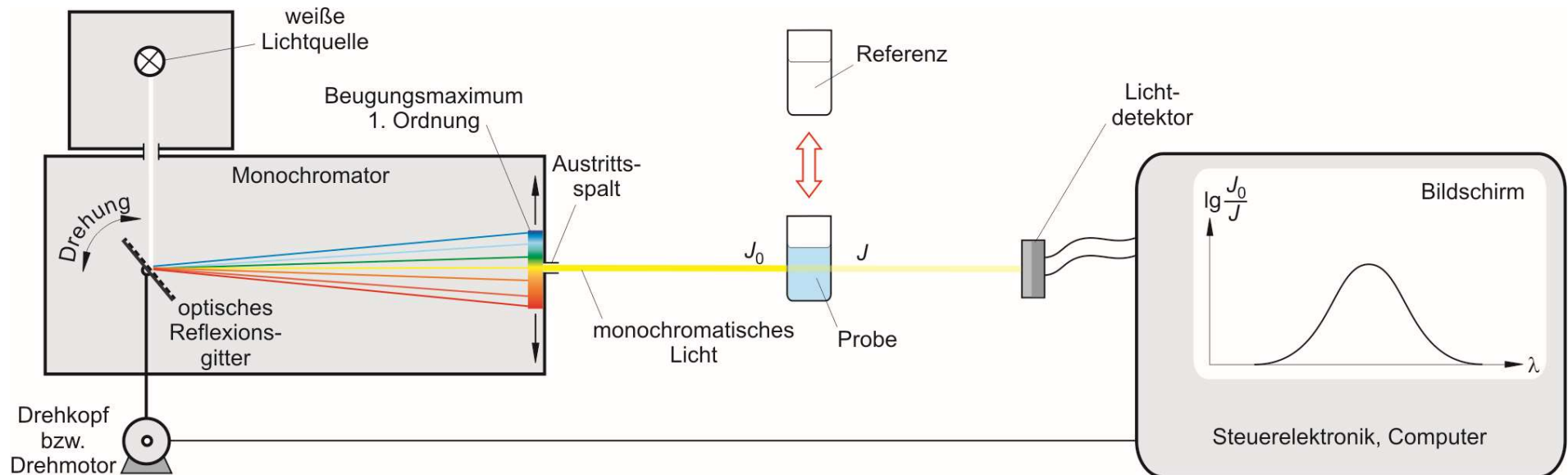
# Bestimmung des Sauerstoffgehaltes von Gewebe

## Pulsoxymetrie





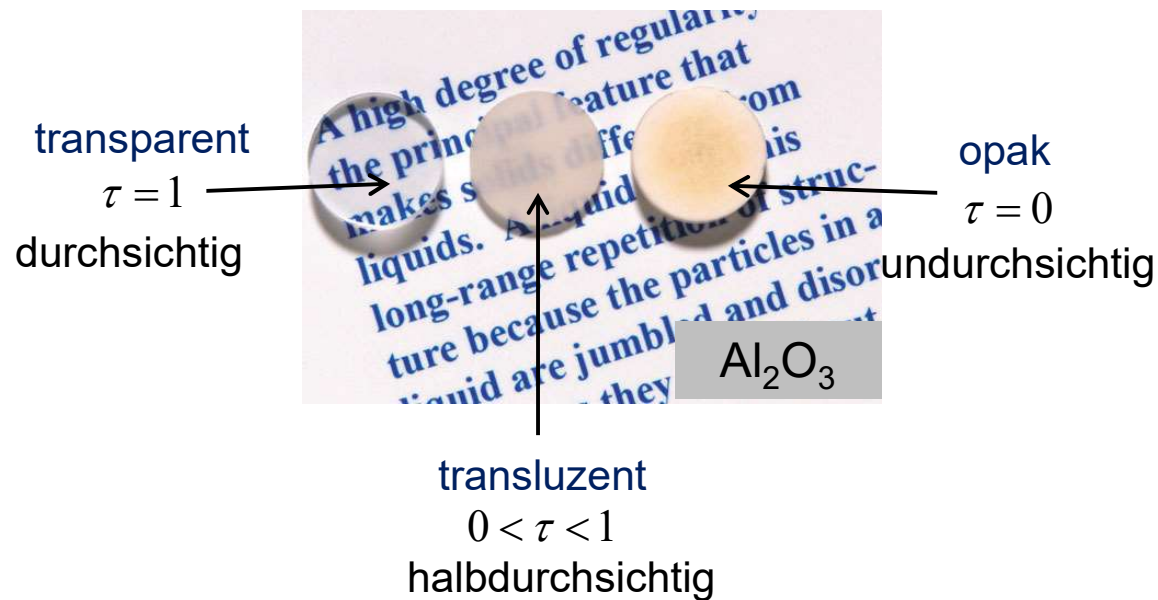
## g) Aufbau eines Spektrophotometers:



## 4. Transmission

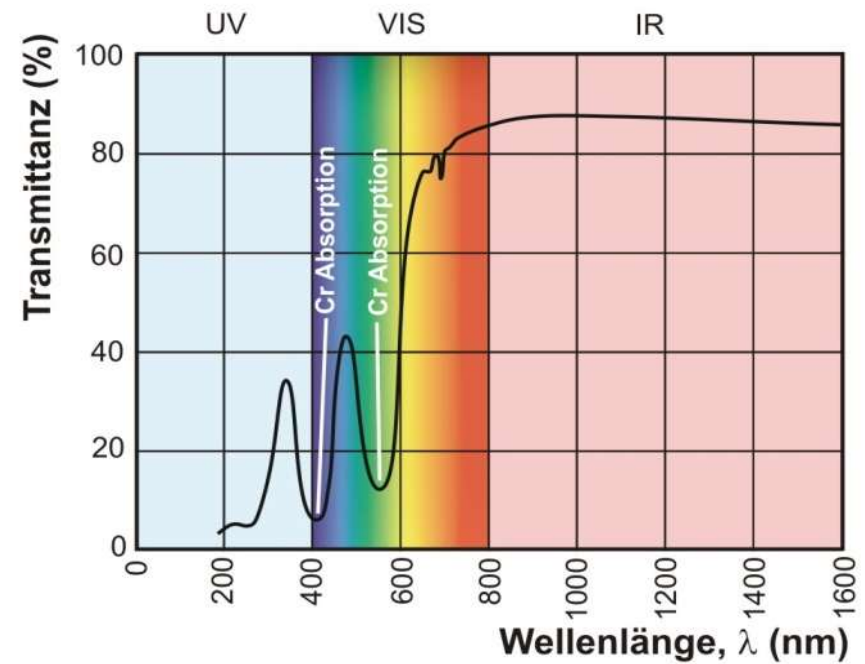
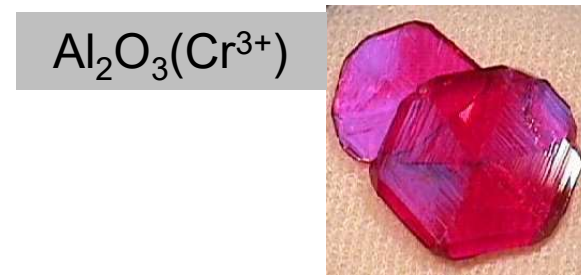
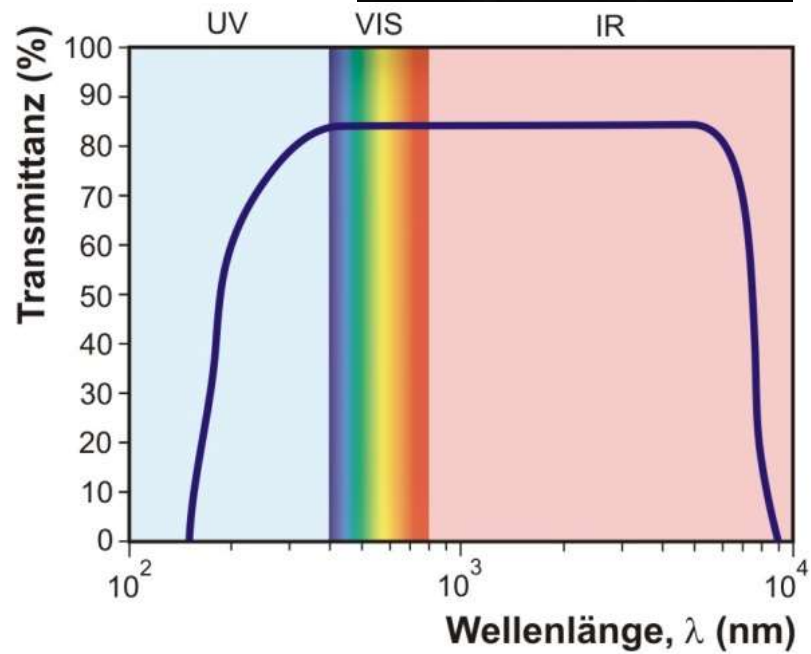
a) spektraler Transmissionskoeffizient  $\tau(\lambda)$ :  
(Transmittanz)

$$\tau(\lambda) = \frac{J_{\text{durchgelassen}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$$



$$\rho(\lambda) + \sigma(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$$

b) Transmissionsspektrum:  $\tau$  vs.  $\lambda$



Bemerkung:  $E = \lg \frac{J_0}{J} = \lg \frac{1}{\tau}$

# Zusammenfassung der für die Charakterisierung der Wechselwirkungen eingeführten Größen

Erscheinungen: Reflexion, Streuung, Absorption, Schwächung (=Streuung+Absorption), Transmission

Intensitätswerte:  $J_{\text{ein}}$ ,  $J_{\text{reflektiert}}$ ,  $J_0 (= J_{\text{ein}} - J_{\text{reflektiert}})$ ,  $J_{\text{gestreut}}$ ,  $J_{\text{absorbiert}}$ ,  $J_{\text{durchgelassen}}$

(spektrale) Koeffizienten:

- (spektraler) Reflexionskoeffizient (Reflektanz, Reflexionsgrad)  $\rho(\lambda)$
- (spektraler) Streukoeffizient  $\sigma(\lambda)$
- (spektraler) Absorptionskoeffizient  $\alpha(\lambda)$
- (spektraler) Transmissionskoeffizient (Transmittanz)  $\tau(\lambda)$

dimensionslose Quotienten  
 $\rho(\lambda) + \sigma(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$

weitere Größen zur Absorption

- linearer Absorptionskoeffizient ( $a$ ), Maßeinheit: 1/m
- Absorbanz ( $A$ ), Maßeinheit: keine (dimensionslos)

weitere Größen zur Schwächung

- linearer Schwächungskoeffizient ( $\mu$ ), Maßeinheit: 1/m
- (dekadische) Extinktion ( $E$ ) = optische Dichte (OD), Maßeinheit: keine (dimensionslos)
- molarer Extinktionskoeffizient ( $\varepsilon$ ), Maßeinheit: 1/(cm·mol/l)

Oft auch als Absorbanz genannt.

weitere Größen zur Absorption oder zur Schwächung

- Halbwertsdicke ( $D$ ), Maßeinheit: m
- Eindringtiefe ( $\delta$ ), Maßeinheit: m

Hausaufgaben: Aufgabensammlung 2.62-72

