

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)

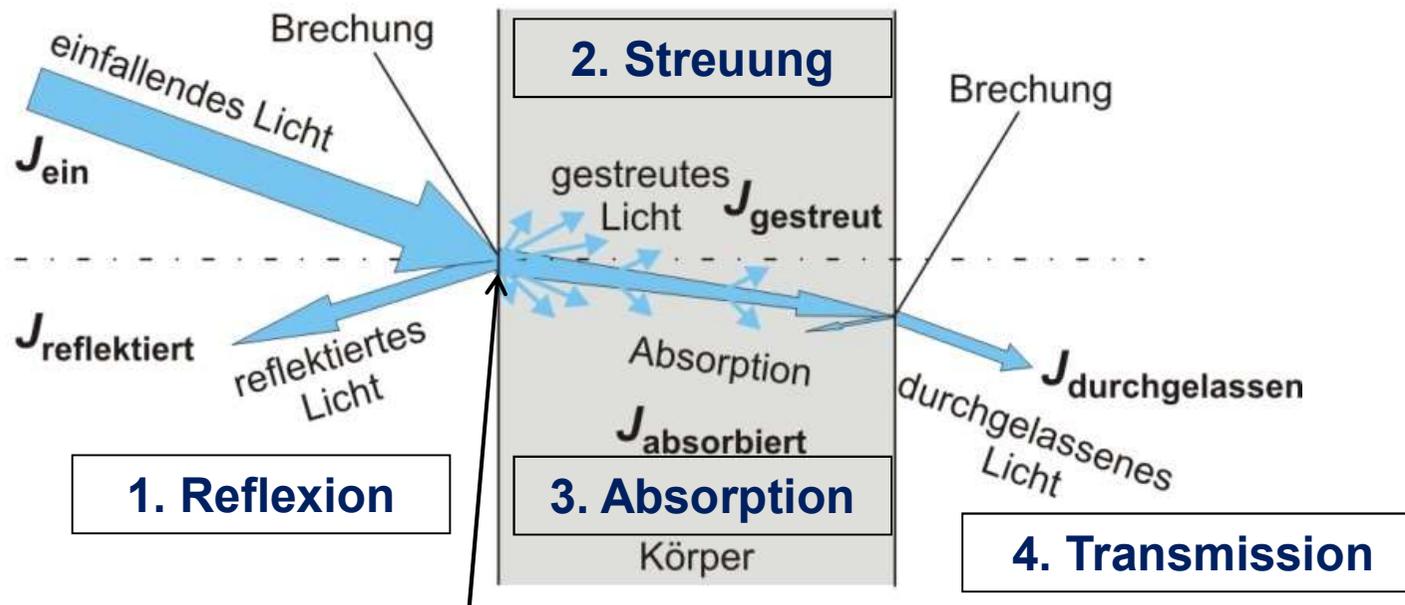
3. Absorption

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

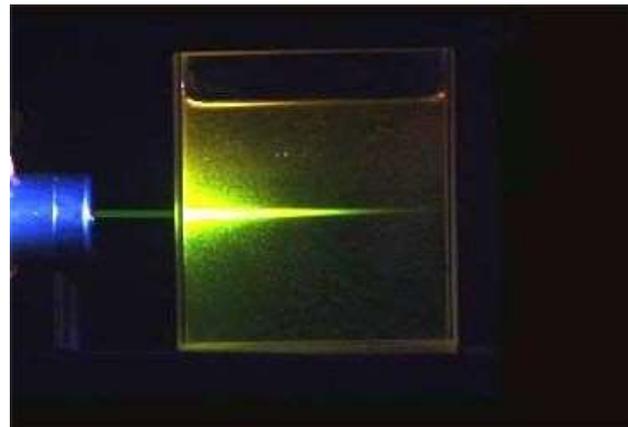
4. Transmission

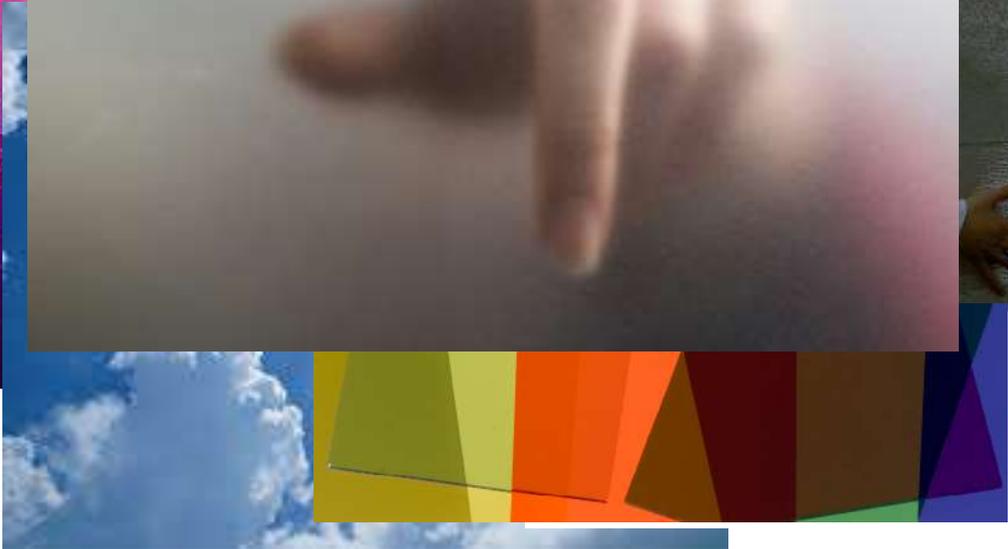
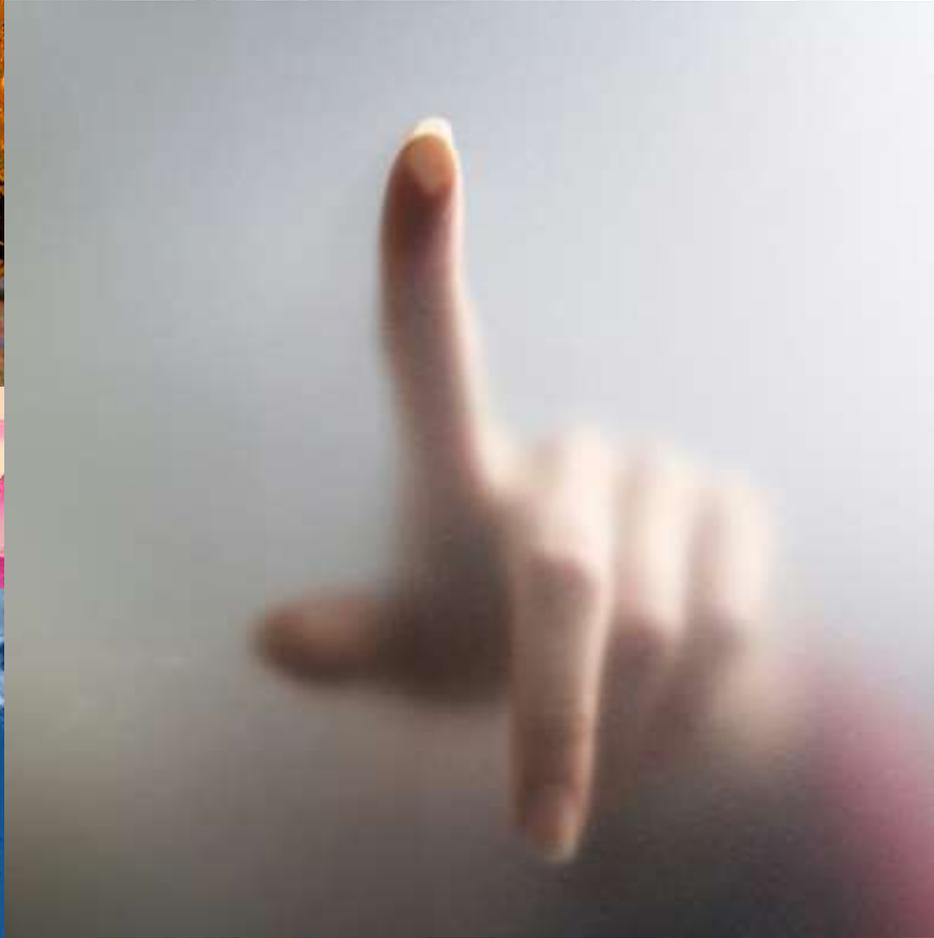
- a) spektraler Transmissionskoeffizient (Transmittanz)
- b) Transmissionsspektrum:

VI. Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie



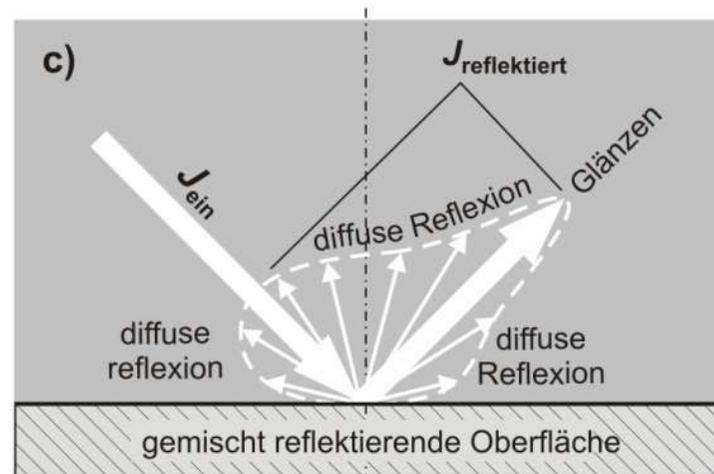
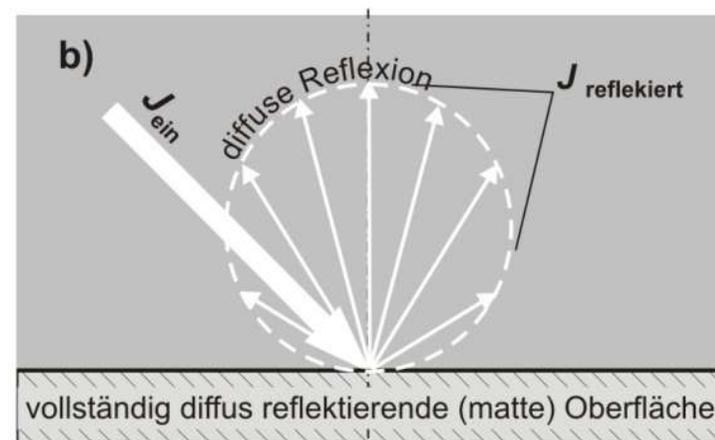
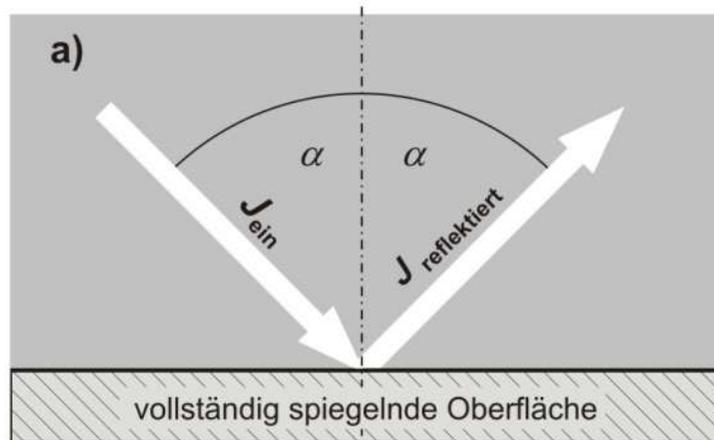
Die in den Körper eindringende Intensität ist J_0 : $J_0 = J_{\text{ein}} - J_{\text{reflektiert}}$





1. Reflexion

a) Reflexionsgesetz: $\alpha = \beta$



b) Reflexionskoeffizient (Reflektanz, Reflexionsgrad)

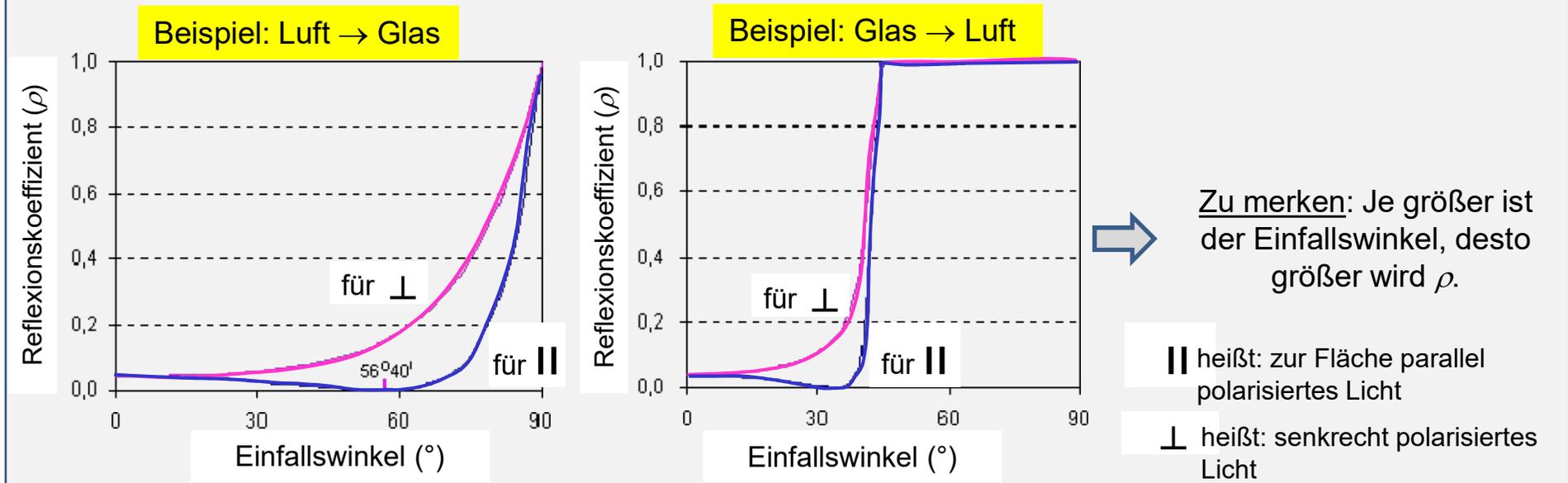
ρ (auch R):

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

Der Reflexionskoeffizient ρ hängt von:

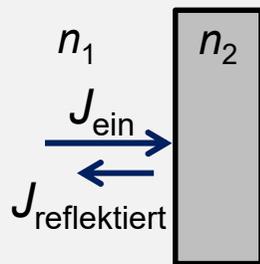
- dem Einfallswinkel
- dem Material
- der Wellenlänge ab.

❖ Einfallswinkel:

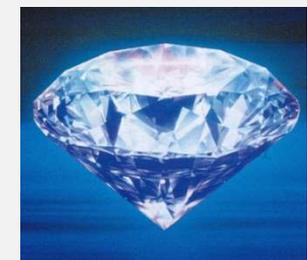


❖ Material:

- Beim senkrechten Einfall und für durchsichtige Stoffe:



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

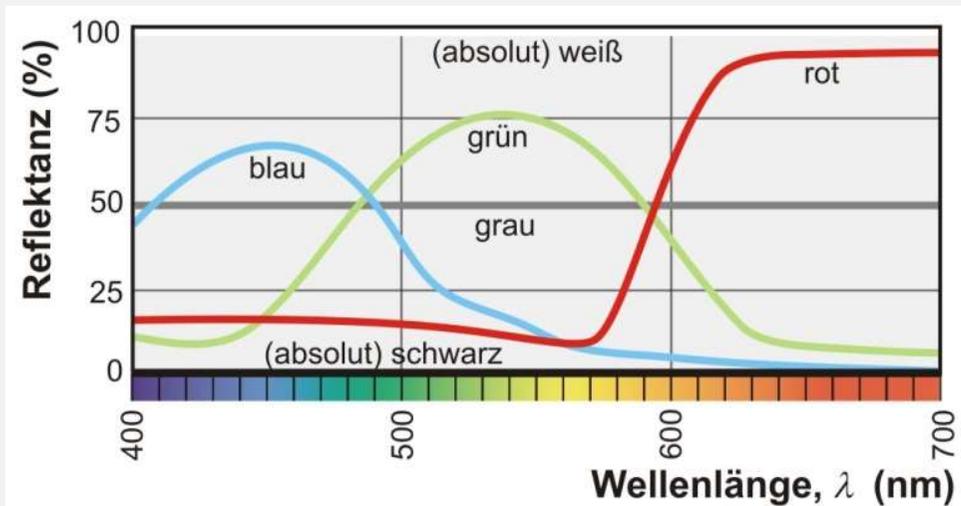


(s. später Ultraschallreflexion)

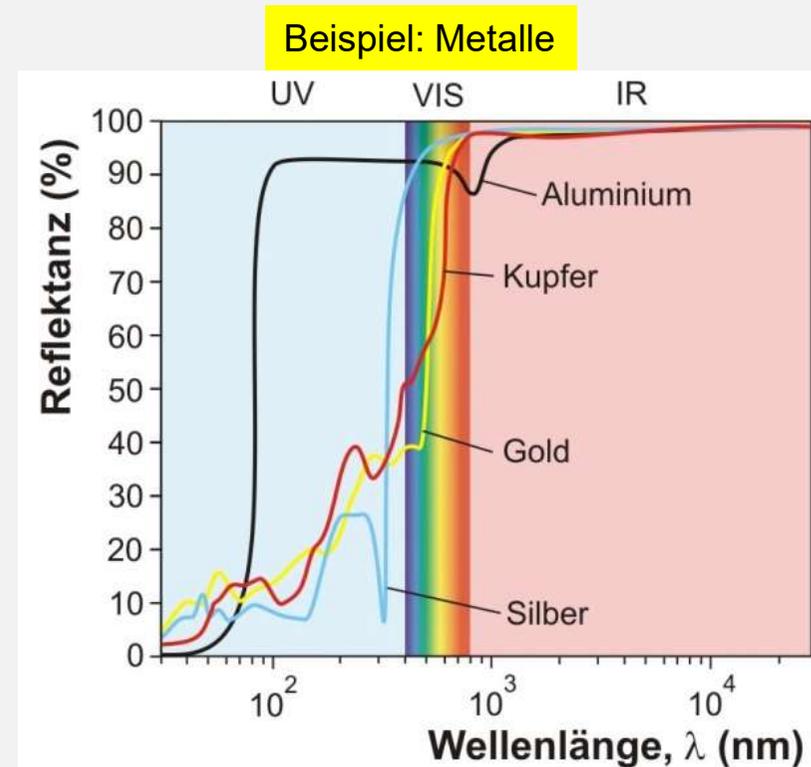
❖ Wellenlänge:

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

c) Reflexionsspektrum: ρ vs. λ



Farbe des Körpers im reflektierten Licht



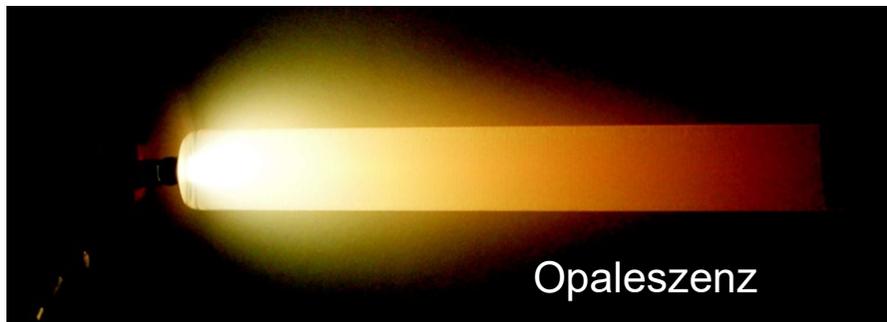
2. Streuung

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 $d \ll \lambda$)



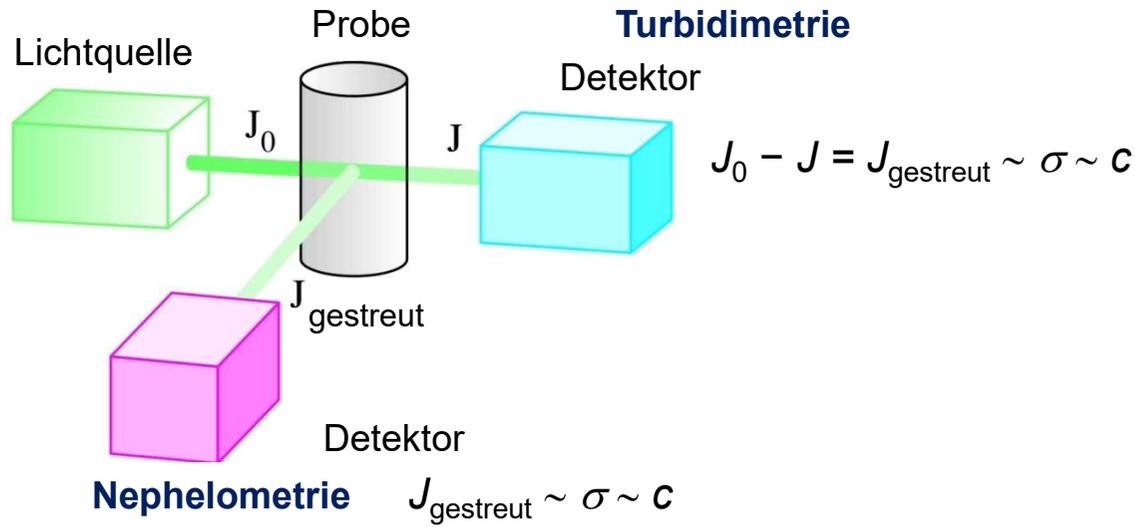
$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$

- Mie-Streuung
(Größe der Streuteilchen $d \approx > \lambda$)



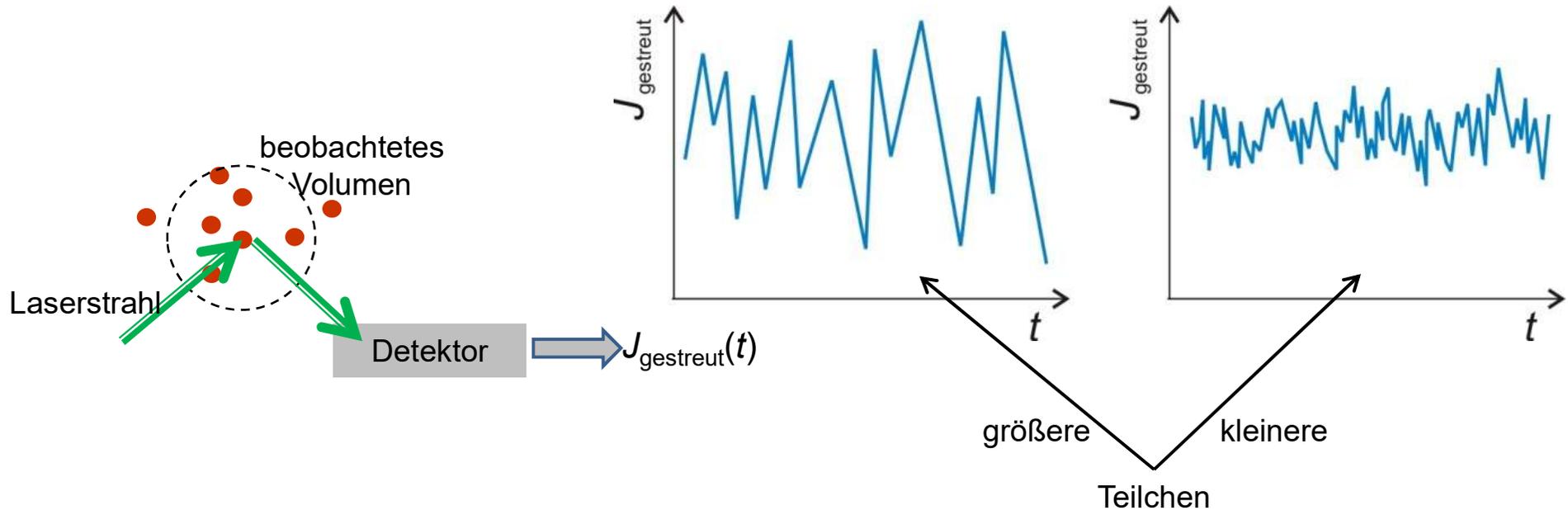
$\sigma(\lambda)$ ist unabhängig von λ !

Anwendung: Konzentrationsbestimmung



z.B. Immunglobulinen

c) dynamische Lichtstreuungsmessung:

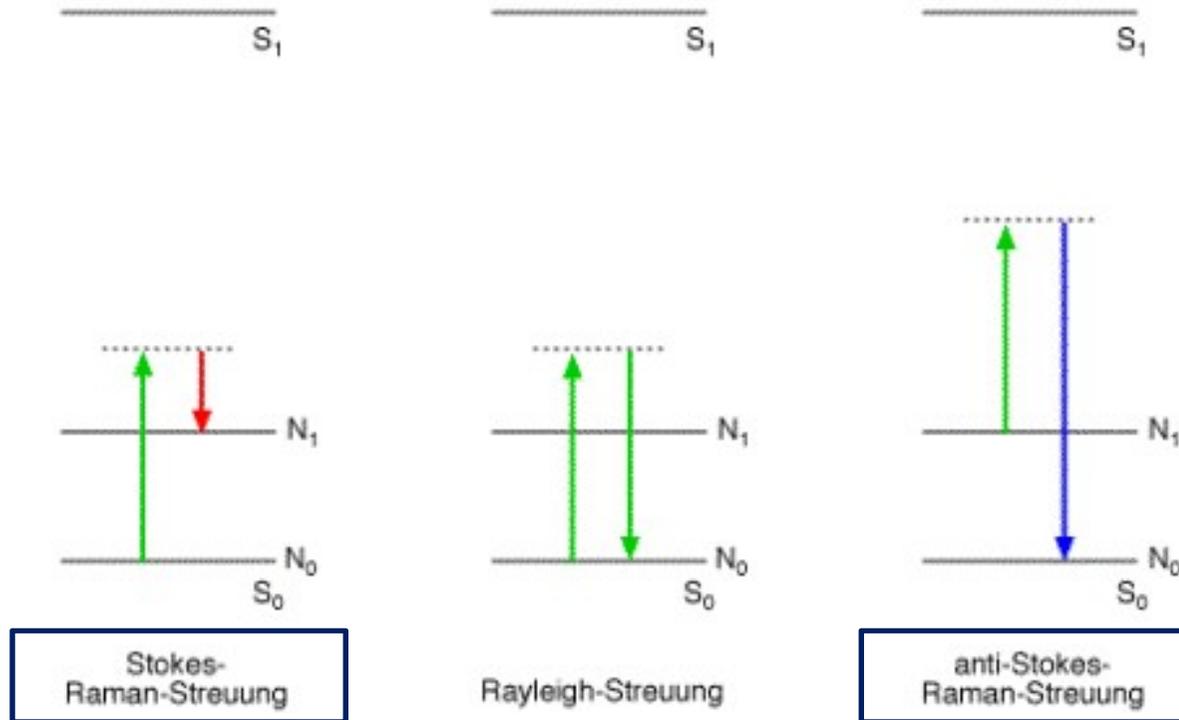


Anwendung: Bestimmung der Teilchengröße

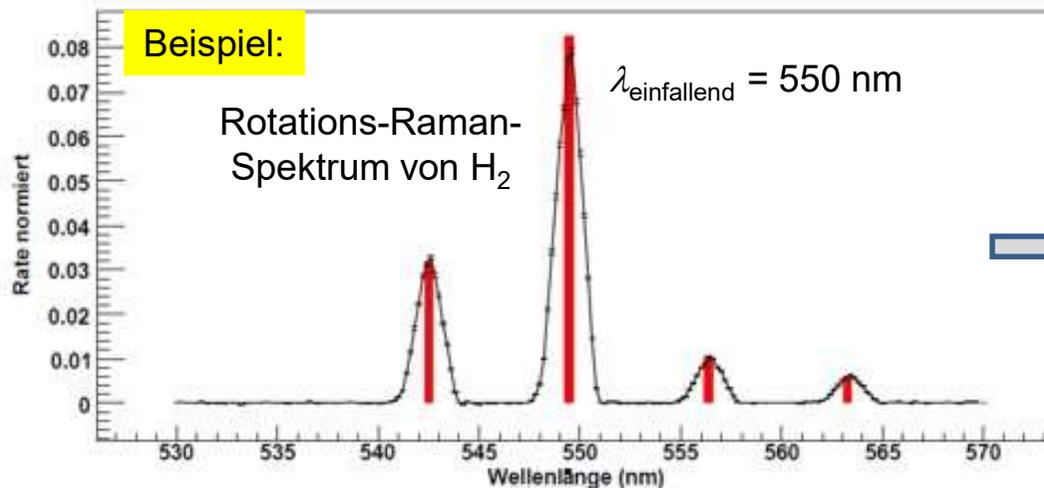
d) unelastische Streuung: $\lambda_{\text{einfallend}} \neq \lambda_{\text{gestreut}}$

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

Raman-Streuung



Vibrationszustände
oder
Rotationszustände



Bestimmung der Vibrations-, oder Rotationszuständen (-energien)

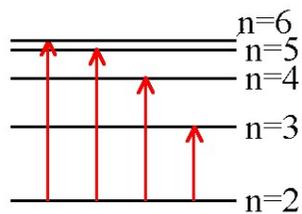
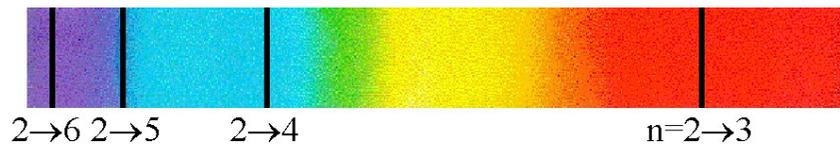
3. Absorption

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

b) Absorptionsspektrum: α vs. λ

c) Mechanismus:

Absorption von Atomen:



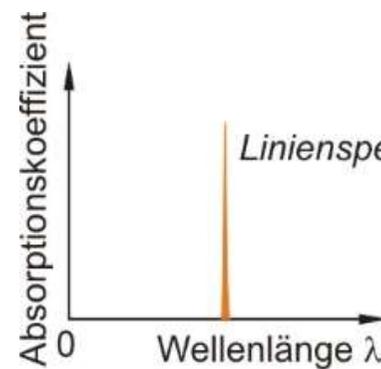
H-Atom

n=1 Grundzustand

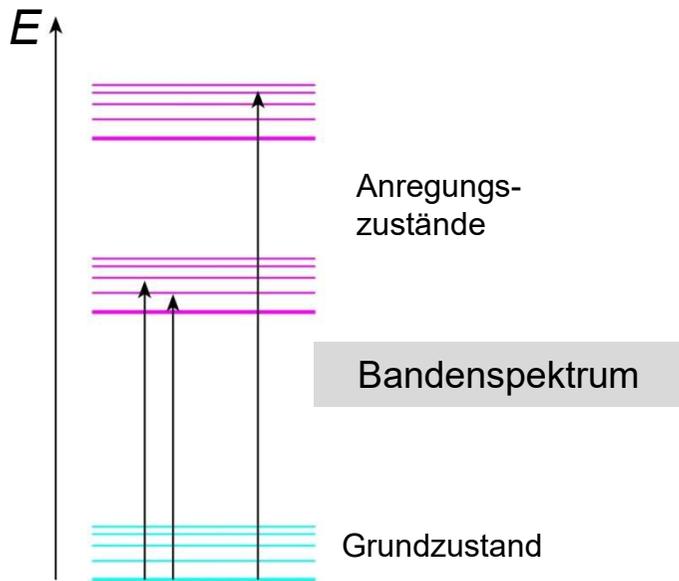
Anwendung: Atomabsorptionsspektrometrie

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

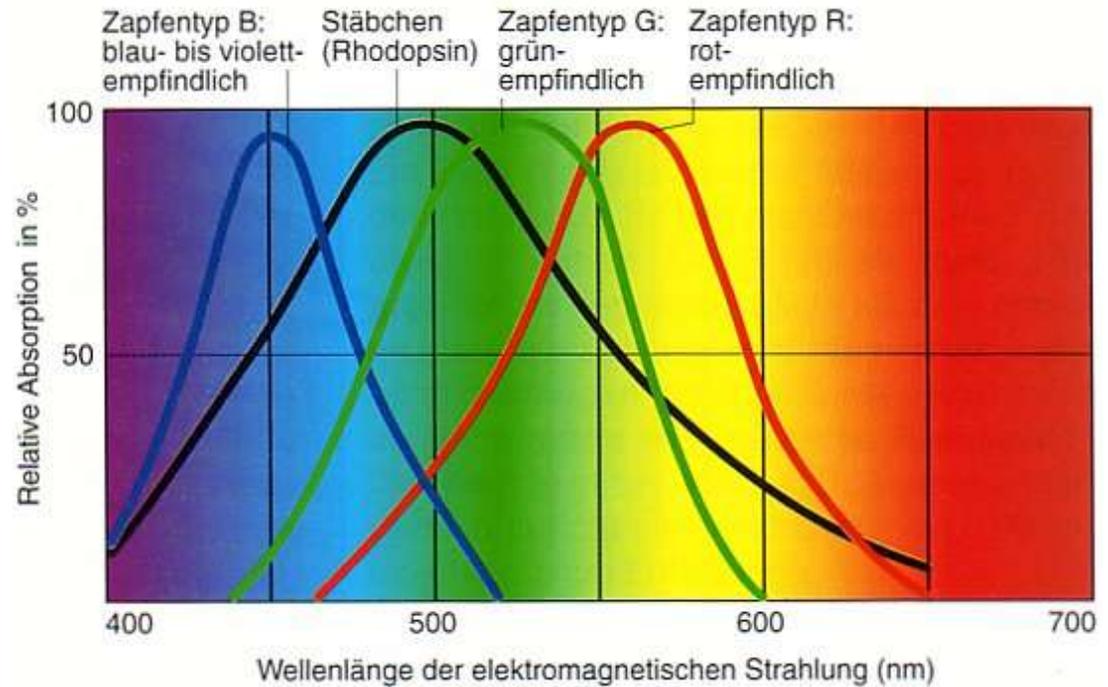
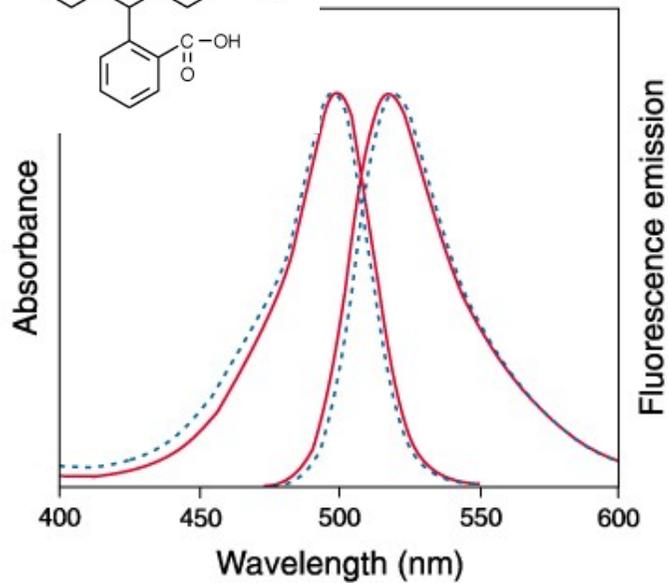
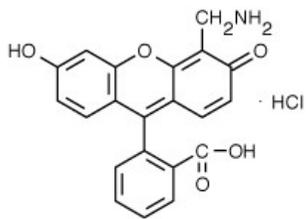
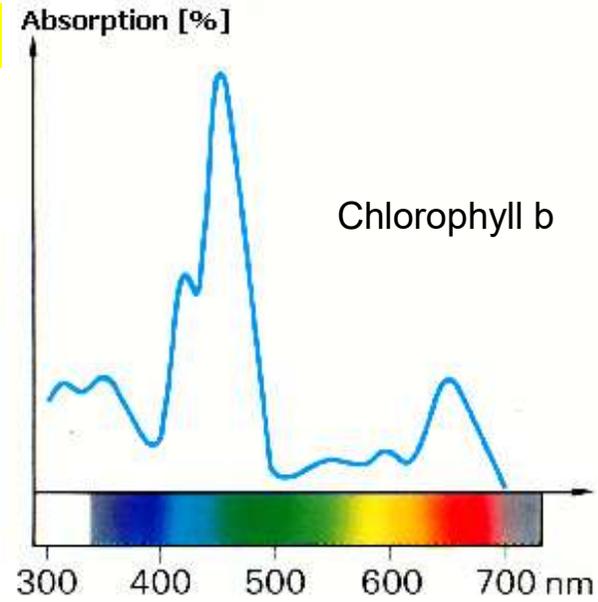
z.B. Blutanalyse



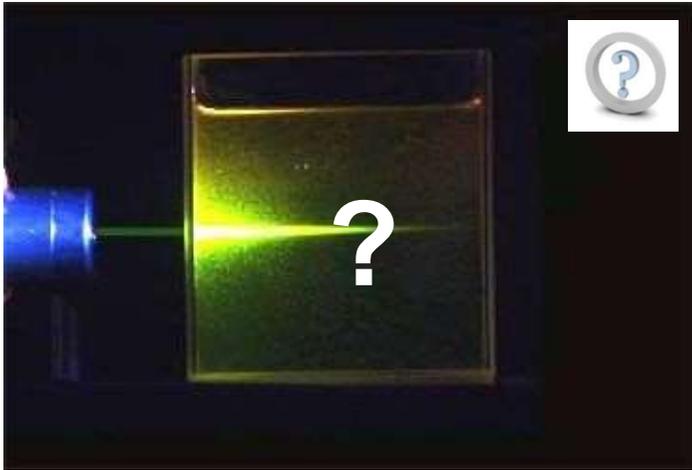
Absorption von Molekülen:



Beispiele:



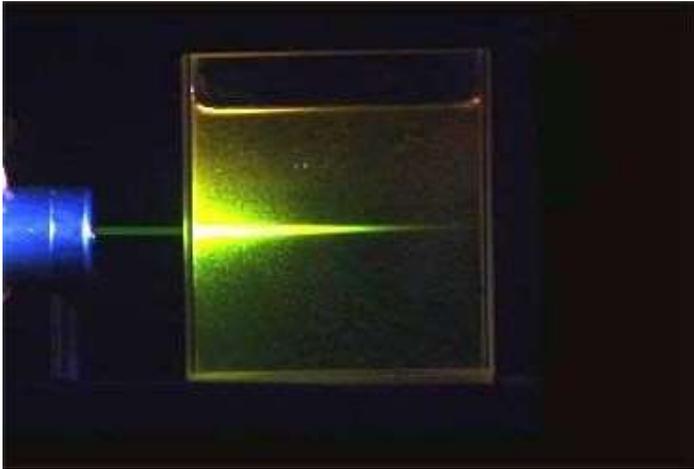
d) Schwächungsgesetz:



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

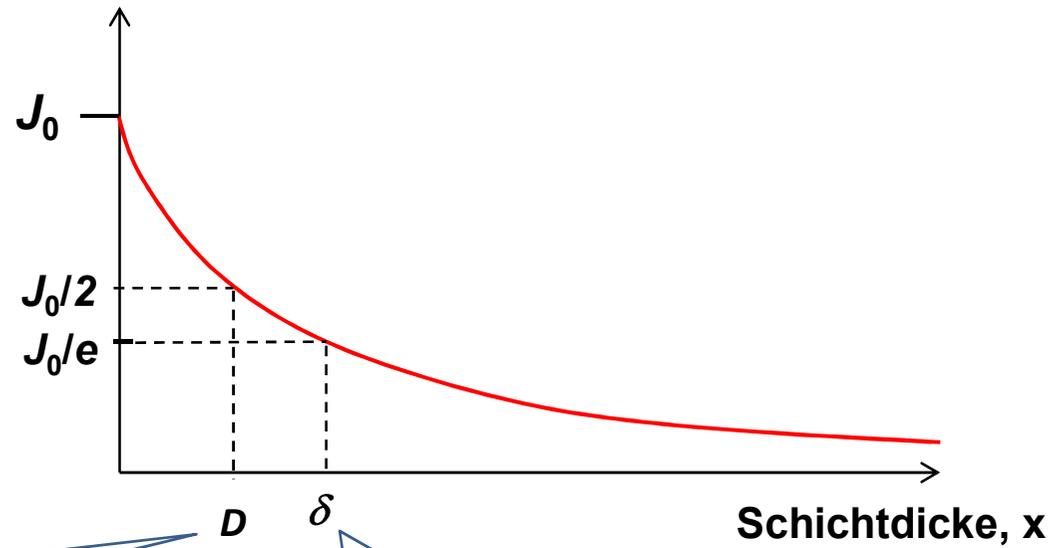
Schwächungsgesetz:

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



Linearer Schwächungskoeffizient (μ),
Maßeinheit: 1/m

Intensität, J



Halbwertsdicke

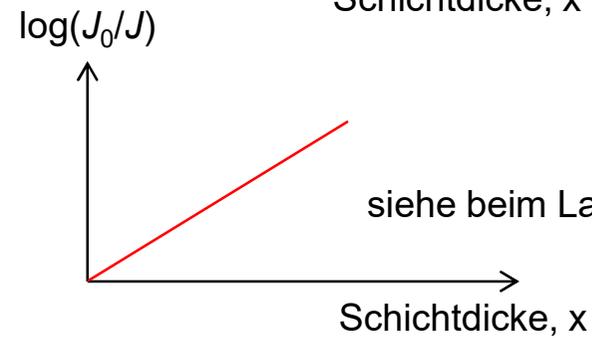
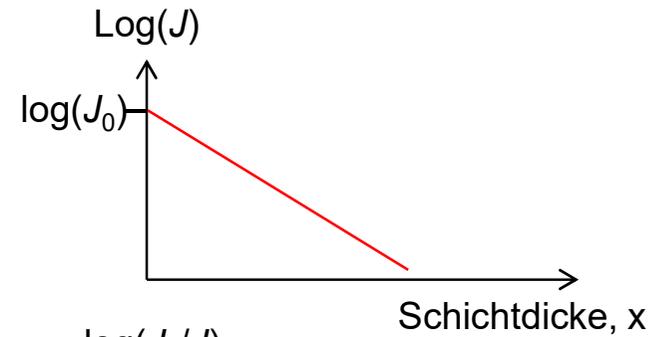
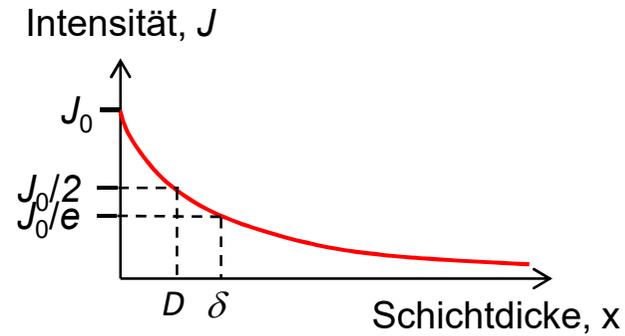
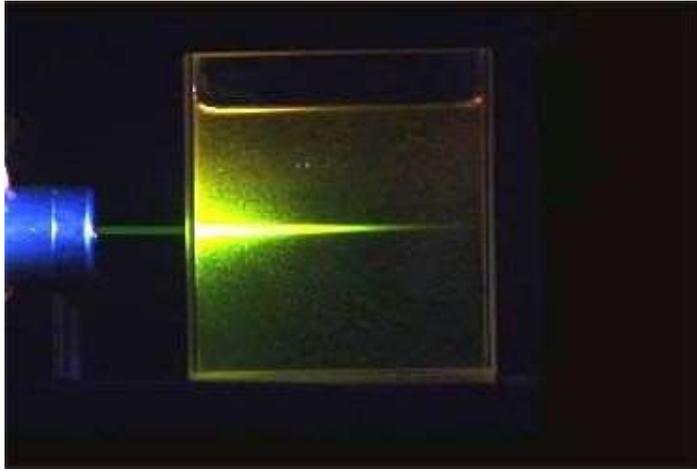
Eindringtiefe

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

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

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

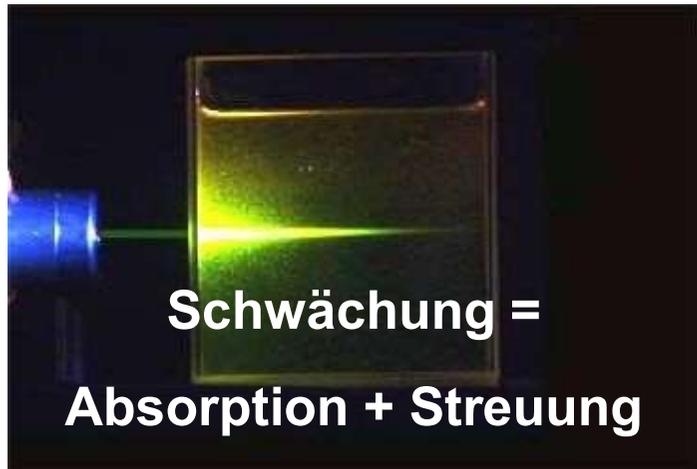
Gilt allgemein für elektromagnetische Str., β -Str., mechanische Str., siehe später!



(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 (μ),
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)

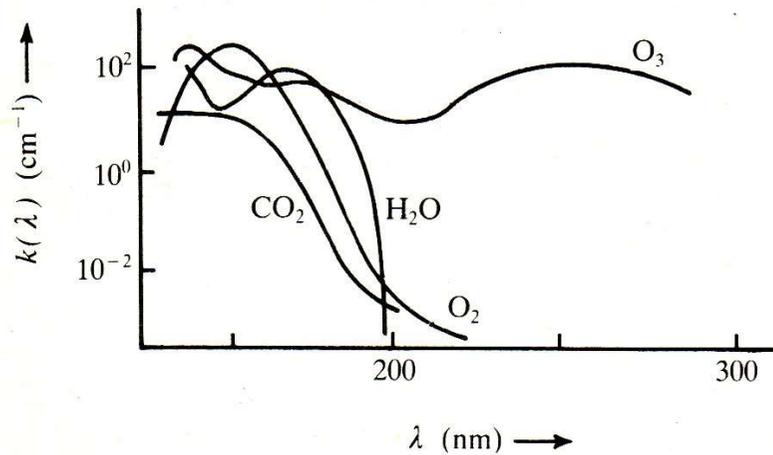
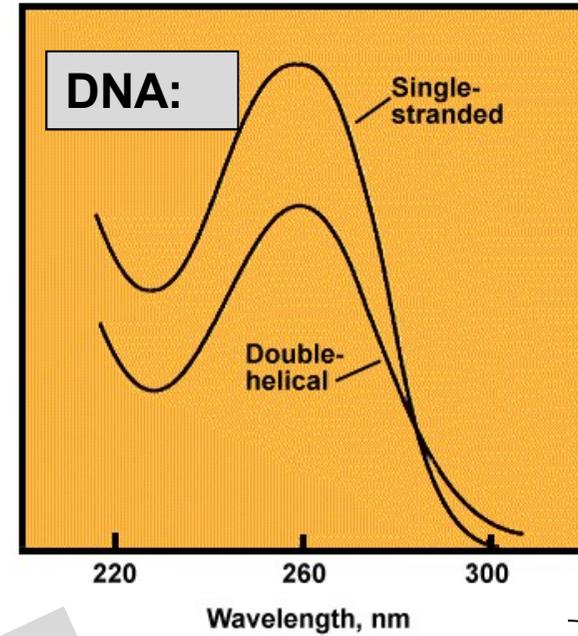
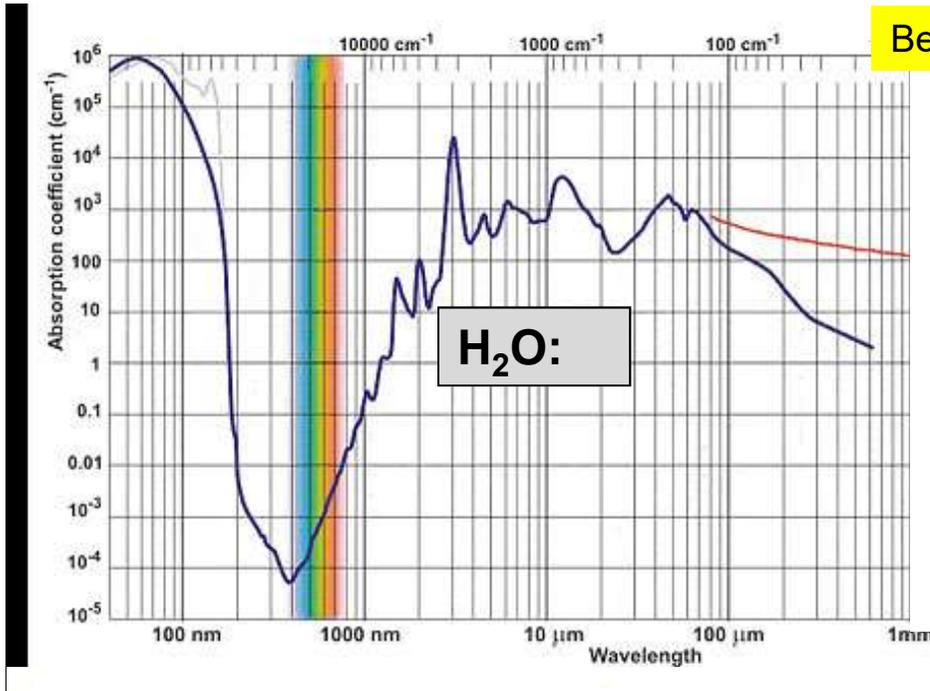
Oft spricht man über Absorbanz auch dann, wenn die Streuung nicht vernachlässigbar ist, wenn man also Extinktion sagen müsste:

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

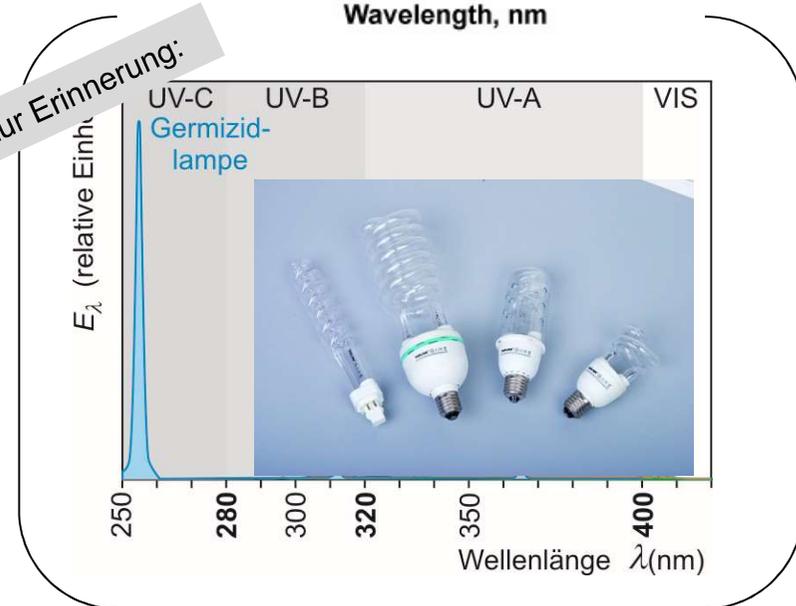
- Absorptionsspektrum: A vs. λ
(oder E vs. λ oder OD vs λ)



Beispiele:



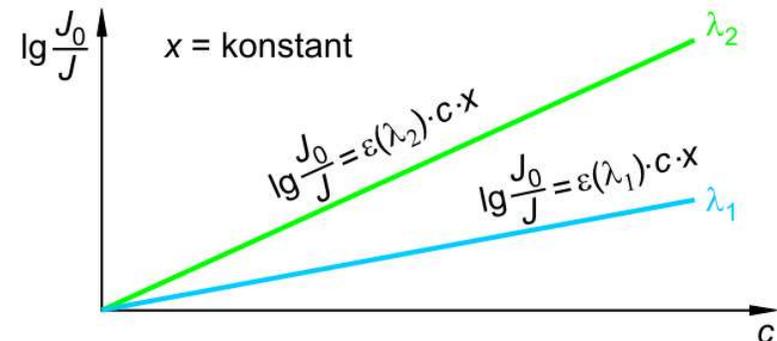
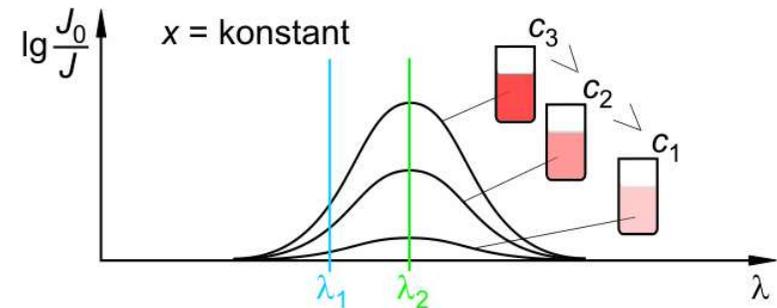
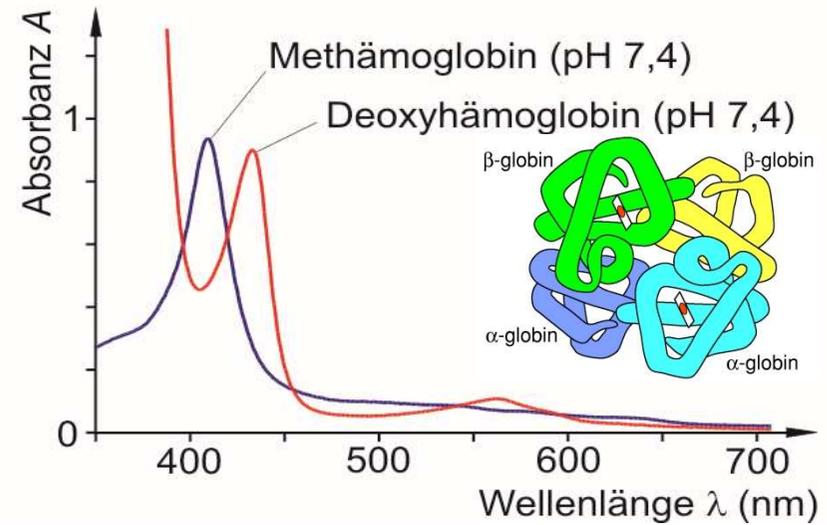
Zur Erinnerung:



f) Anwendung: Absorptionsspektrometrie

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

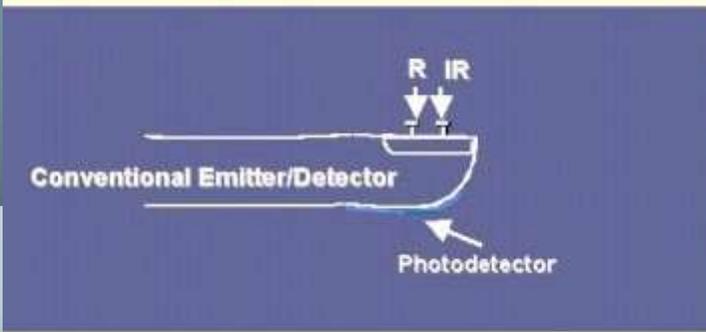
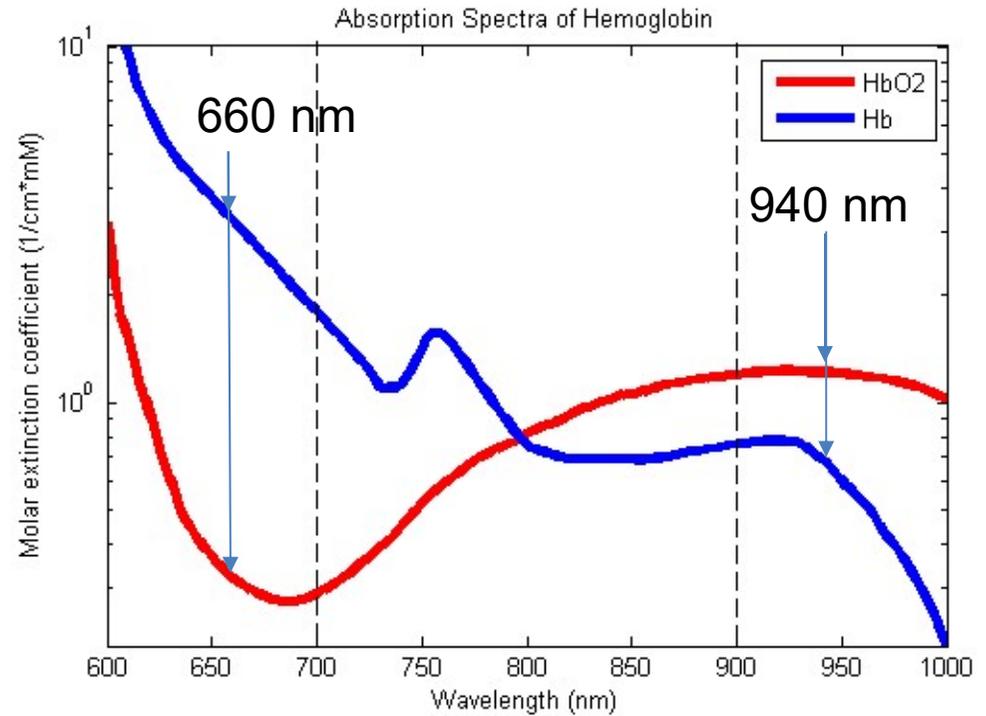
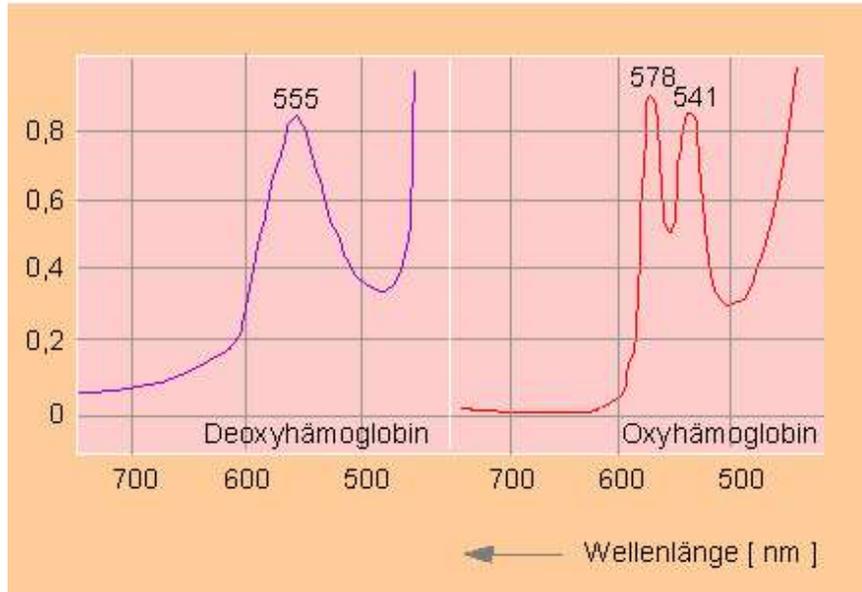
$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon(\lambda) \cdot c \cdot x$$



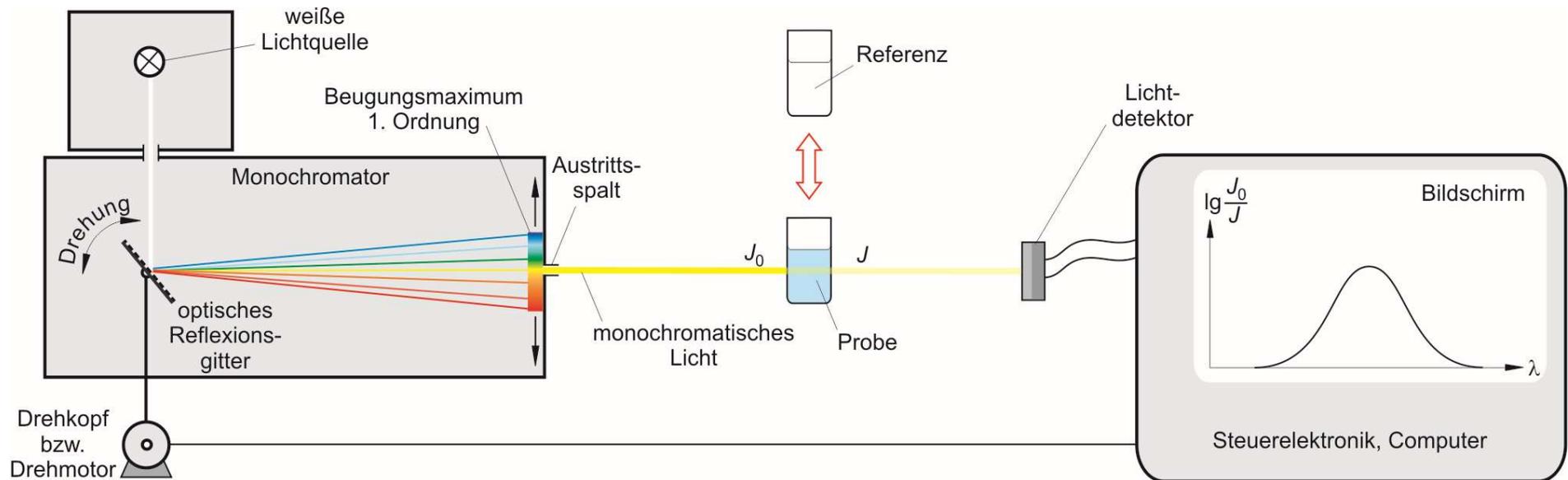
- molarer Extinktionskoeffizient (ε), Maßeinheit: $1/(\text{cm} \cdot \text{mol/l})$

Bestimmung des Sauerstoffgehaltes von Gewebe

Pulsoxymetrie



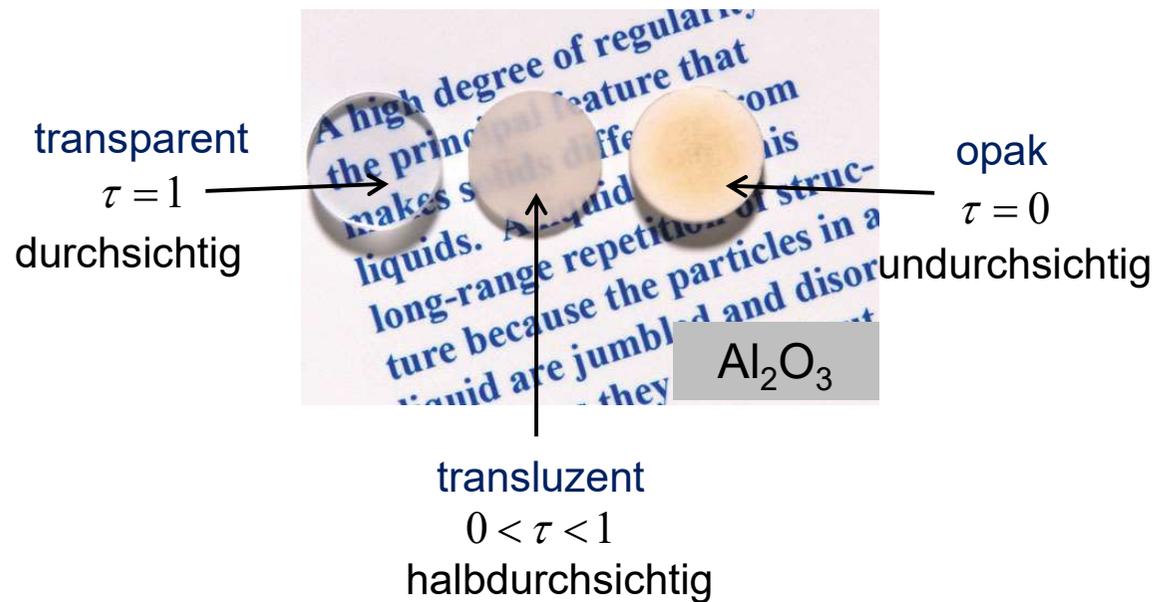
g) Aufbau eines Spektrophotometers:



4. Transmission

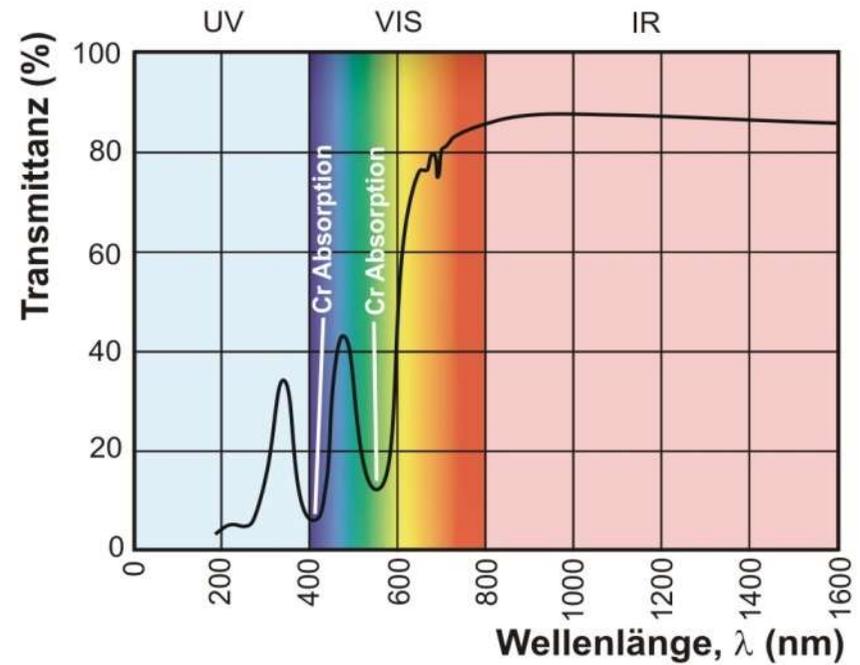
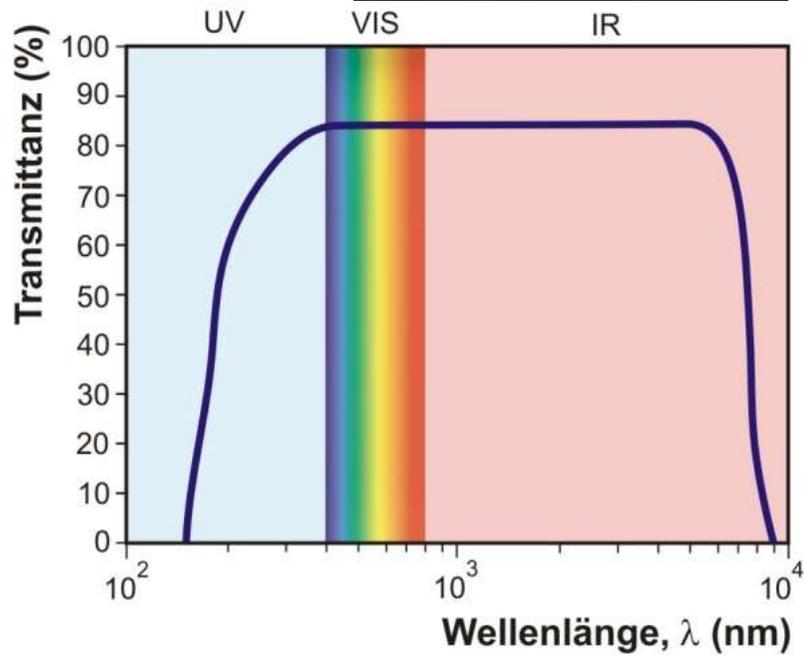
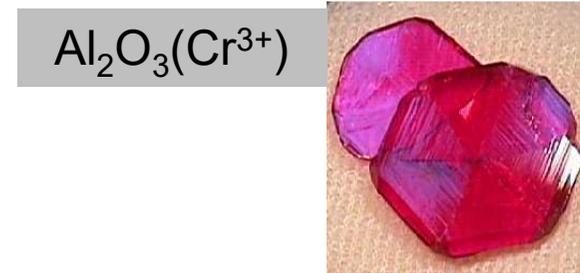
a) spektraler Transmissionskoeffizient $\tau(\lambda)$:
(Transmittanz)

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



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

b) Transmissionsspektrum: τ vs. λ



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_{ein} , $J_{\text{reflektiert}}$, $J_0 (= J_{\text{ein}} - J_{\text{reflektiert}})$, J_{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 (μ), Maßeinheit: 1/m
- (dekadische) Extinktion (E) = optische Dichte (OD), Maßeinheit: keine (dimensionslos)
- molarer Extinktionskoeffizient (ε), Maßeinheit: 1/(cm·mol/l)

Oft auch als Absorbanz genannt.

weitere Größen zur Absorption oder zur Schwächung

- Halbwertsdicke (D), Maßeinheit: m
- Eindringtiefe (δ), Maßeinheit: m

Hausaufgaben: Aufgabensammlung 2.62-72

