

# Das Lichtmikroskop. Absorption und Streuung des Lichtes.

**Balázs Kiss**

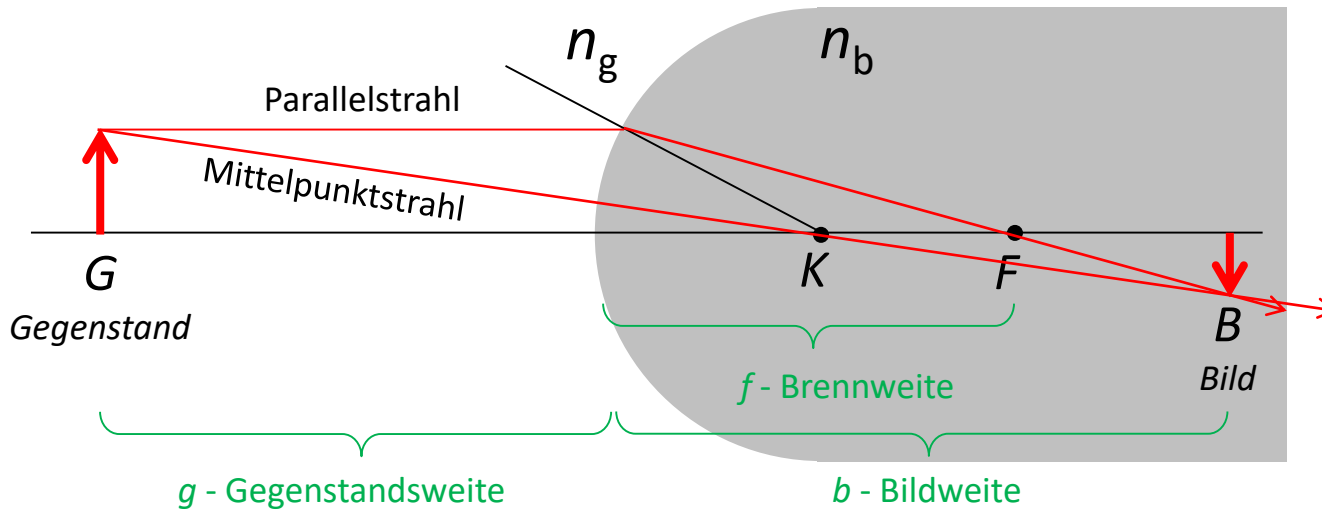
kissb3@gmail.com



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

*23. September 2025.*

# Optische Abbildung durch eine sphärische Grenzfläche



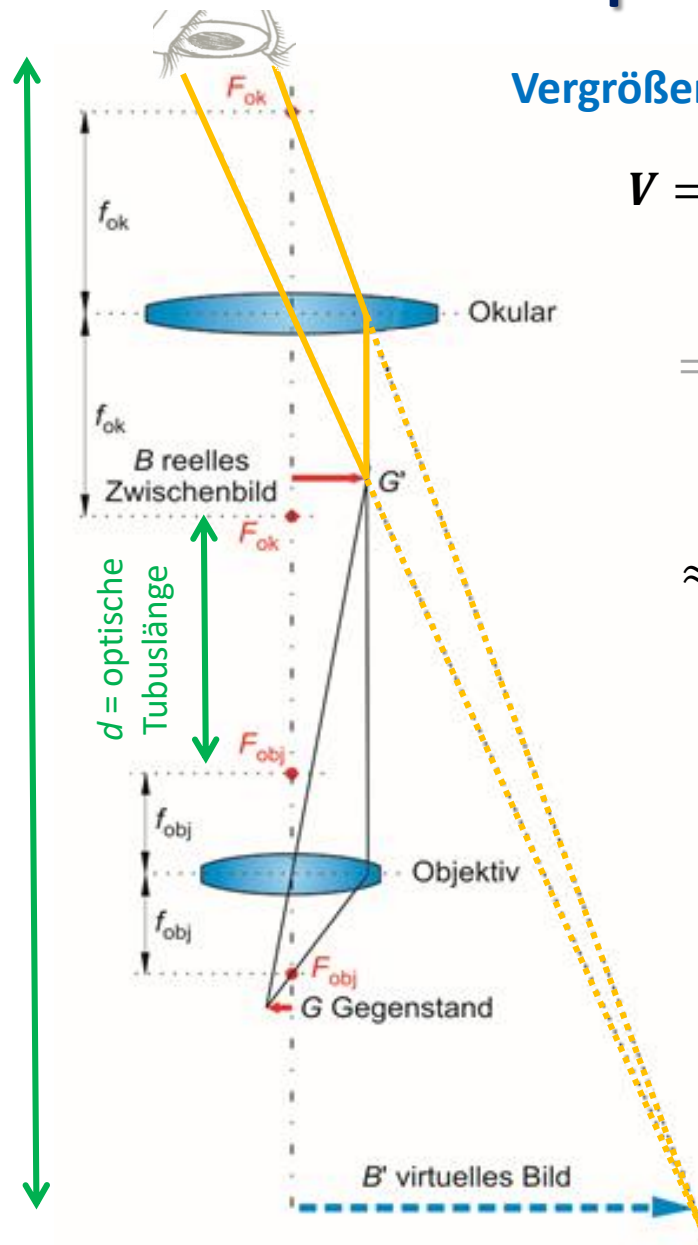
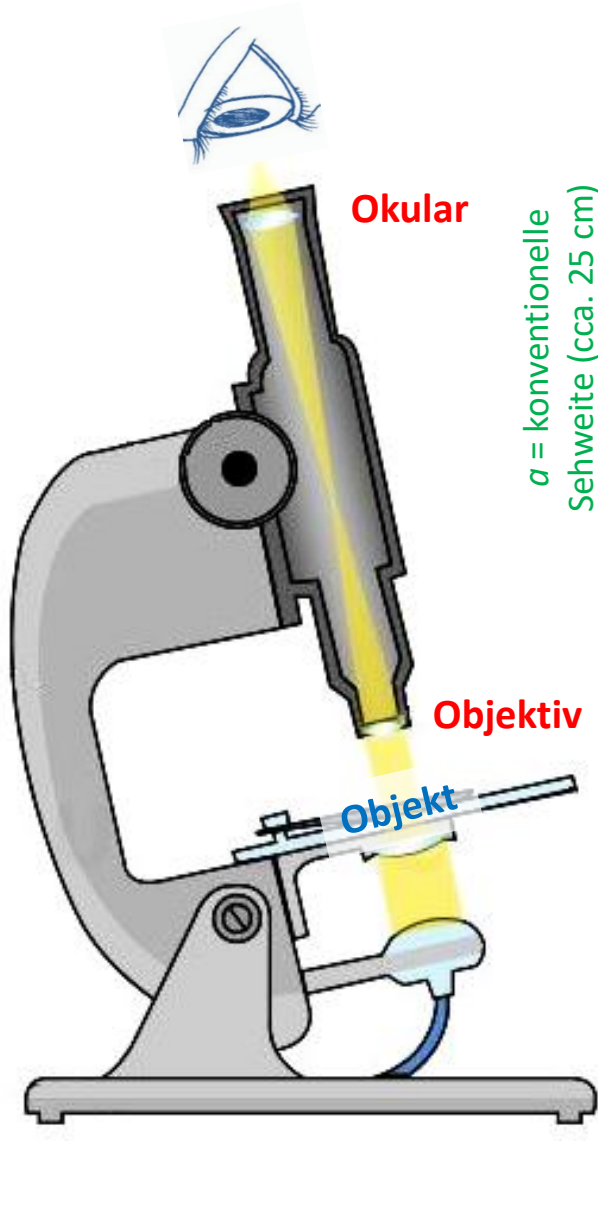
## Eigenschaften des Bildes:

- reell
- umgekehrt
- verkleinert

**Abbildungsgesetz:** 
$$D = \frac{1}{f} = \frac{n_g}{g} + \frac{n_b}{b}$$

Gilt nur für  
achsennahe  
Strahlen!

# Das Lichtmikroskop



Vergrößerung des Mikroskops:

$$V = V_{\text{Objektiv}} \cdot V_{\text{Okular}}$$

$$= \frac{b_{\text{Objektiv}}}{g_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{b_{\text{Okular}}}{g_{\text{Okular}}}$$

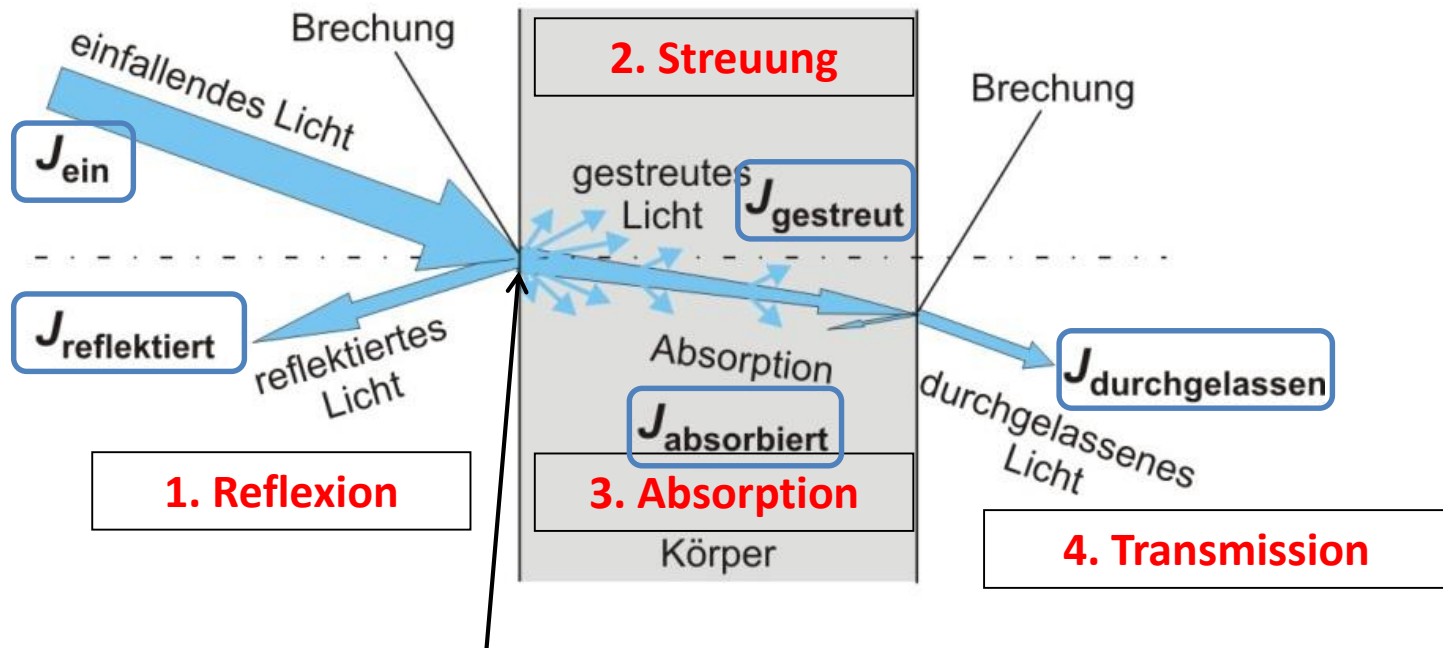
$$\approx \frac{d}{f_{\text{Objektiv}}} \cdot \frac{-a}{f_{\text{Okular}}}$$

Eigenschaften des Bildes:

- virtuell
- umgekehrt zum Verhältnis von Gegenstand
- vergrößert

# Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie

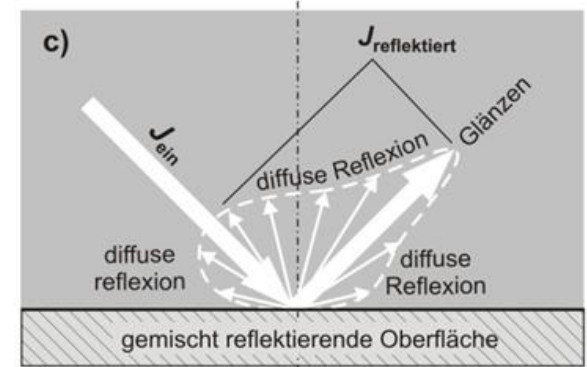
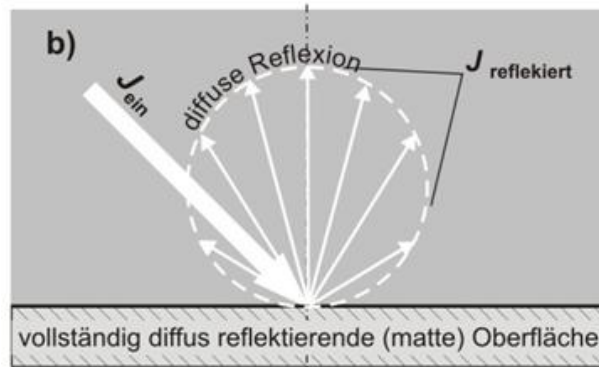
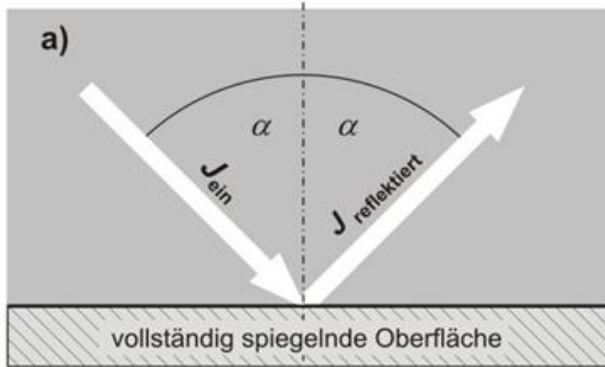
Intensität = Strahlungsleistung pro Fläche,  $J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$



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

# Reflexion

a) Reflexionsgesetz:  $\alpha = \beta$



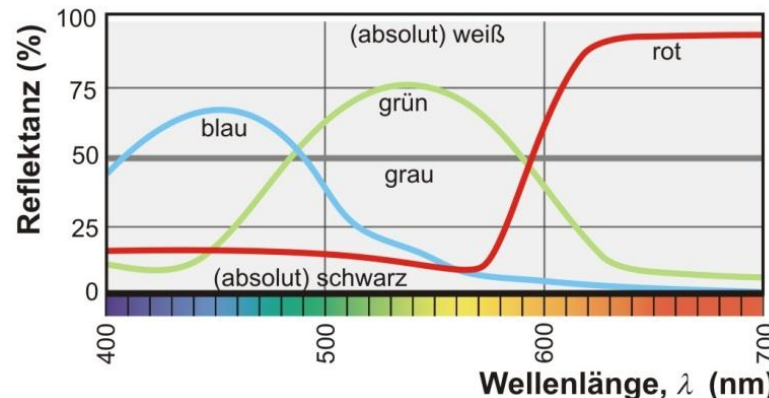
b) Reflexionskoeffizient (Reflexionsgrad, Reflektanz):  $\rho$  (Rho, auch  $R$ ):

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

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

d) Reflexionsspektrum:

$\rho$  abhängig von  $\lambda$

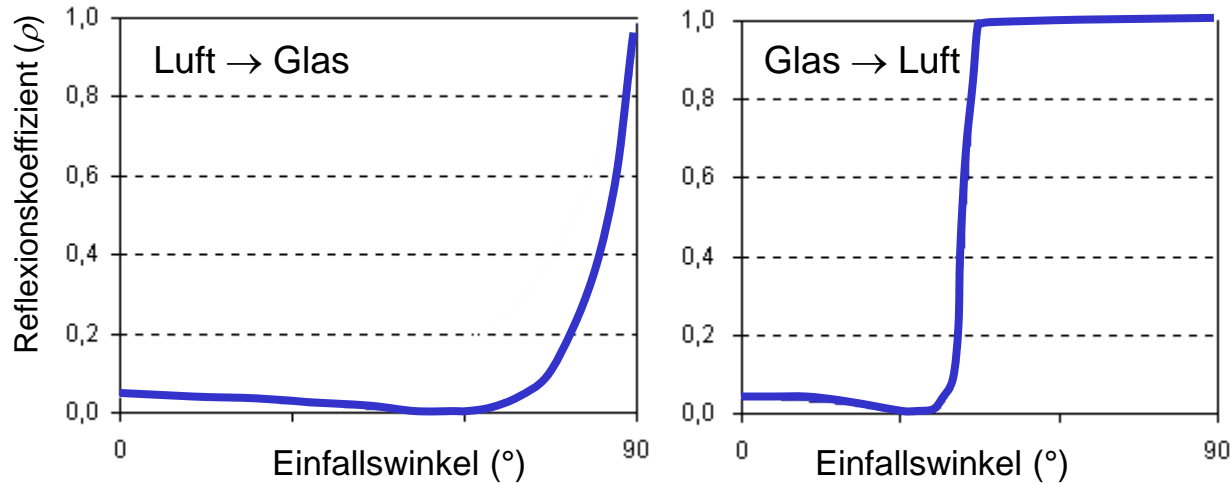


Farbe des Körpers im reflektierten Licht

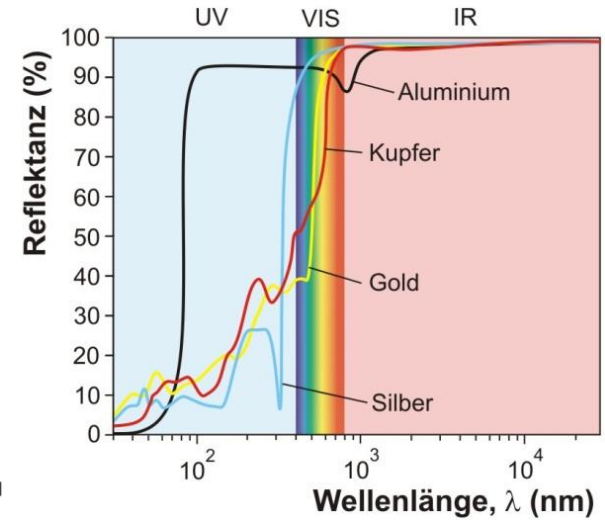
# Was beeinflusst den Reflexionskoeffizienten?

## a) Einfallswinkel:

je größer ist der Einfallswinkel,  
desto größer wird  $\rho$

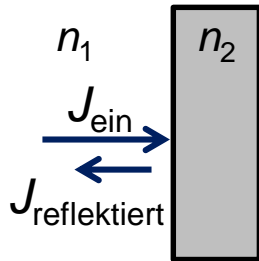


## c) Wellenlänge:

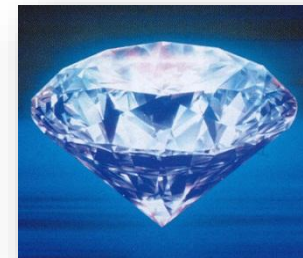


## b) Material:

Beim senkrecht einfallendes Licht und für durchsichtige Stoffe:



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



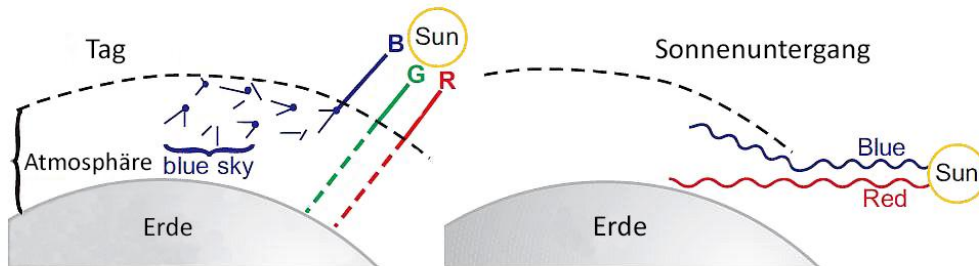
# Streuung

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

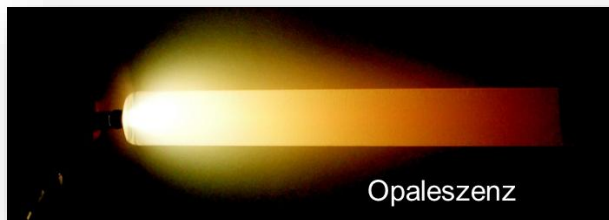
**Elastische Streuung:**  $\lambda_{\text{einfallend}} = \lambda_{\text{gestreut}}$  „Energieerhaltung“

## Rayleigh-Streuung

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

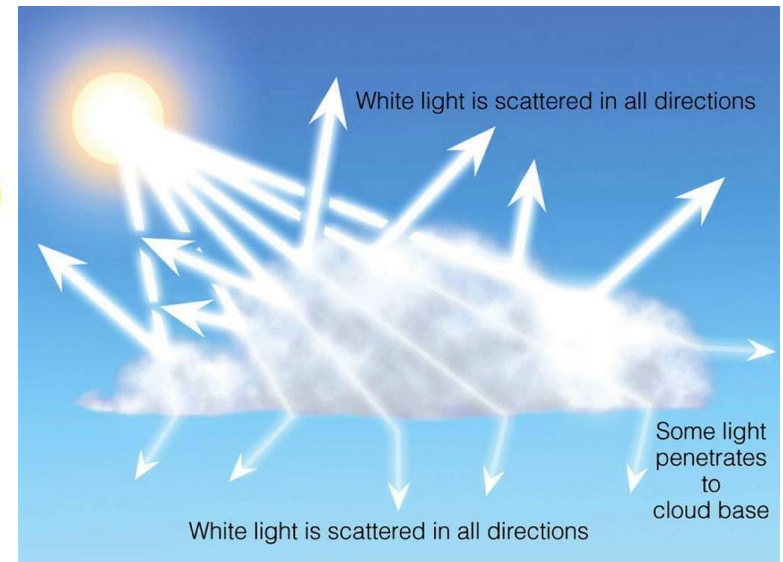


$$\sigma(\lambda) \sim \frac{d^6}{\lambda^4}$$



## Mie-Streuung

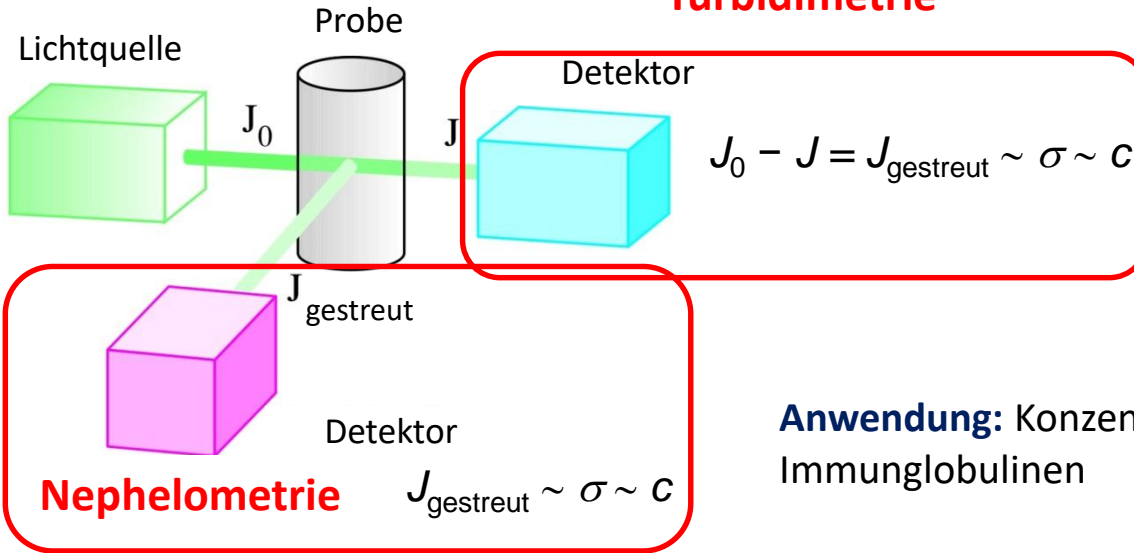
(Größe der Streuteilchen  $d \approx > \lambda$ )



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

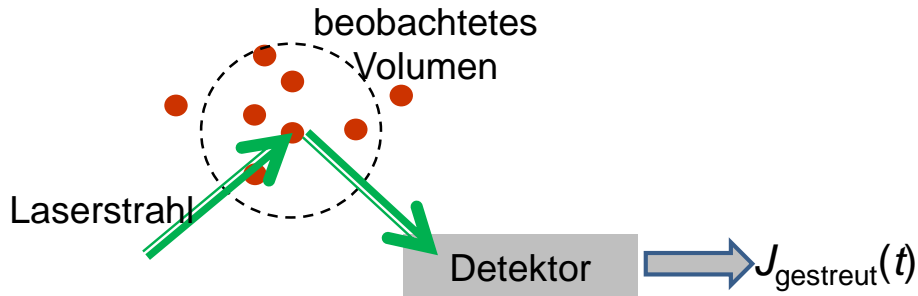
# Elastische Streuung: Technische Anwendungen

## Turbidimetrie

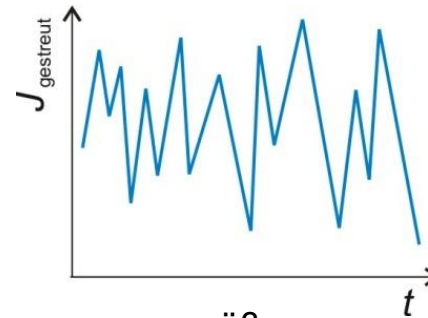


**Anwendung:** Konzentrationsbestimmung von Immunglobulinen

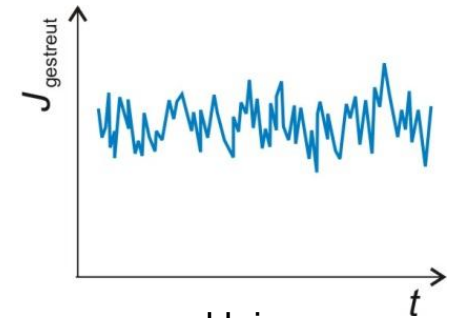
## Dynamische Lichtstreuungsmessung:



**Anwendung:** Bestimmung der Teilchengröße



größere  
Teilchen

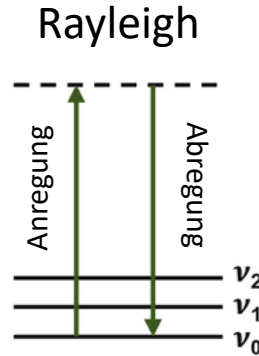
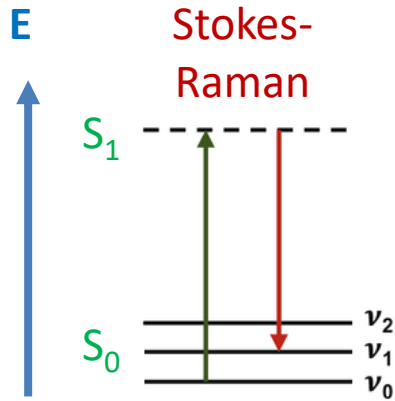


kleinere  
Teilchen

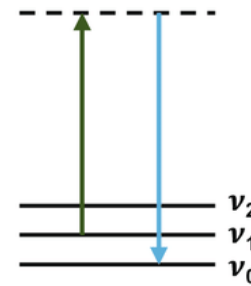
**Unelastische Streuung:**  $\lambda_{\text{einfallend}} \neq \lambda_{\text{gestreut}}$  keine Energieerhaltung

**Raman-Streuung:**

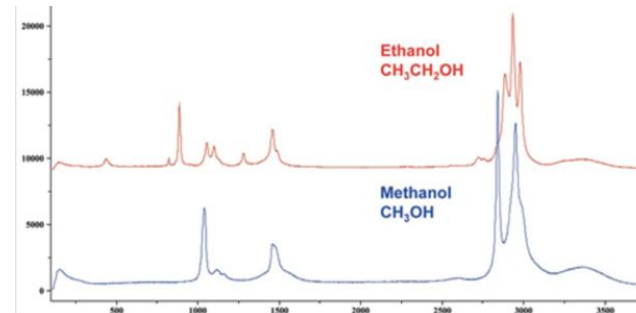
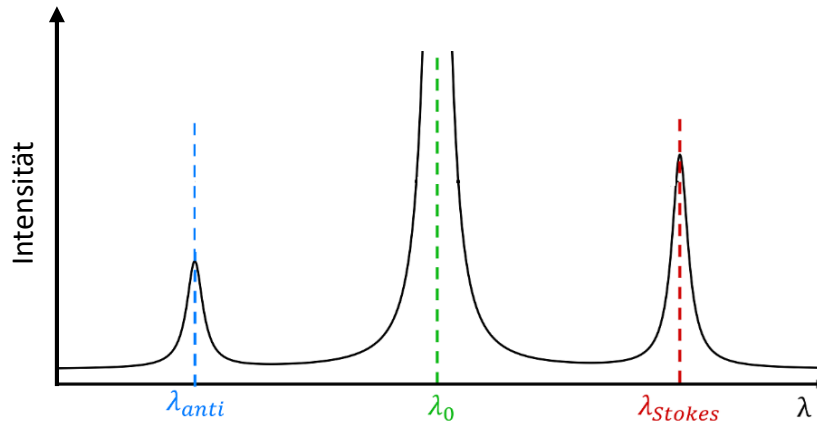
$$E_{\text{Molekül}} = E_{\text{Elektron}} + E_{\text{Vibration}} + E_{\text{Rotation}}$$



anti-Stokes-Raman



Vibrationszustände  
(oder Rotationszustände)



Bestimmung der Vibrations-, oder Rotationszuständen (-energien)



Identifizierung der Stoffe

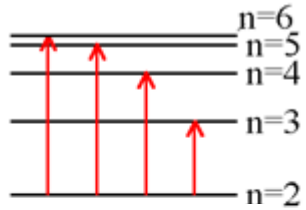
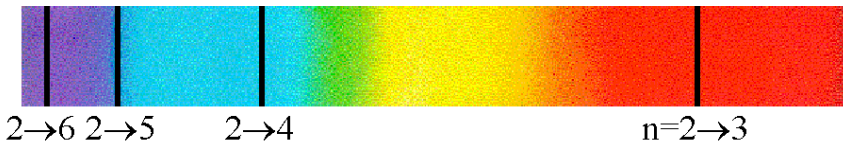
# Absorption

- **spektraler Absorptionsgrad  $\alpha(\lambda)$ :**
- **Absorptionsspektrum:**  $\alpha$  abhängig vom  $\lambda$
- **Mechanismus:**

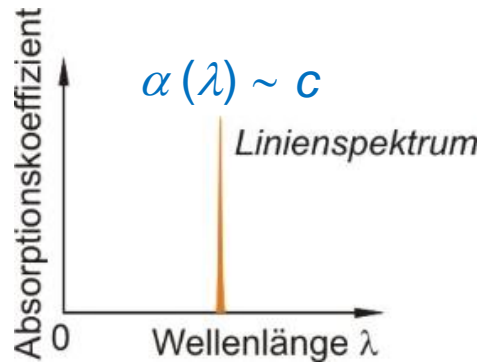
$$\alpha(\lambda) = \frac{J_{\text{absorbiert}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$$

## bei Atomen

H-Atom



Anregungs-  
zustände



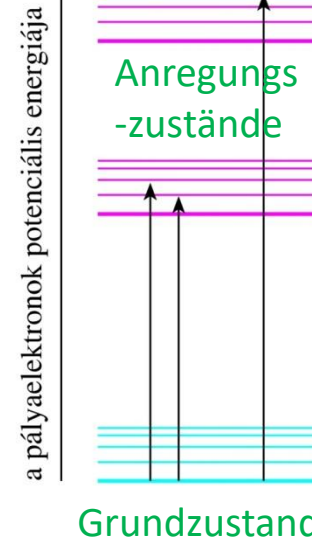
### Anwendung:

- Atomabsorptionsspektrometrie
- Elementanalyse aus Blut

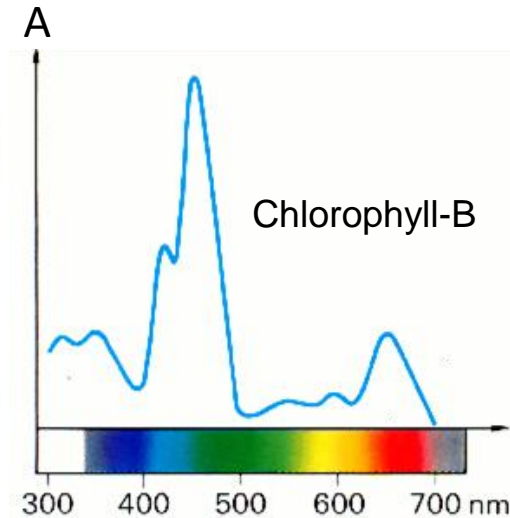
Grund-  
zustand

## bei Molekülen

E



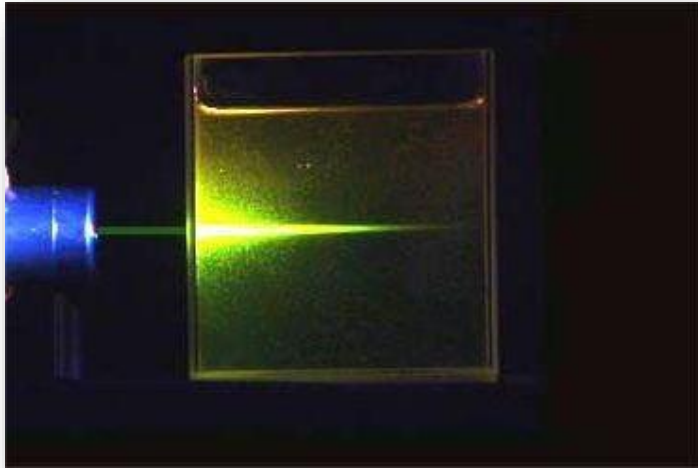
Bandenspektrum



### Anwendung:

- Elementanalyse

# Schwächungsgesetz

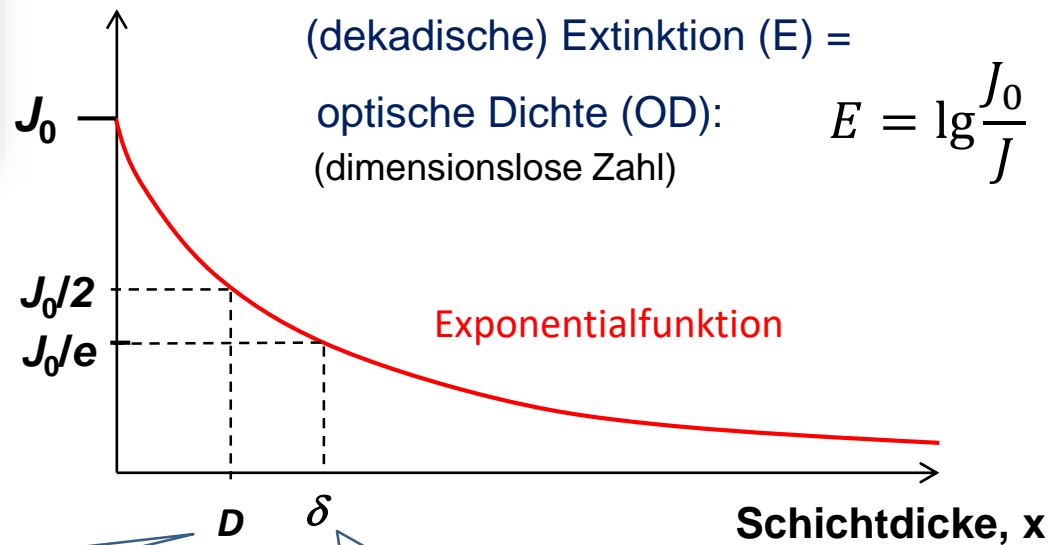


Schwächung =  
Absorption + Streuung

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

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

Intensität,  $J$



Halbwertsdicke

Eindringtiefe

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

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

# Absorptionsgesetz

Wenn man nur die Absorption betrachtet:

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

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

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

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), das ist aber falsch.

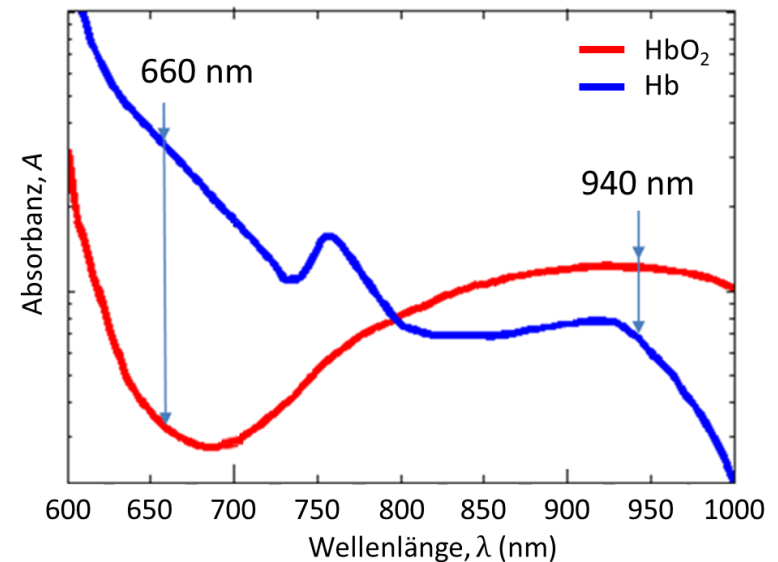
## Anwendung: Absorptionsspektrometrie

- Untersuchung von biologischen Makromoleküle
- Konzentrationsbestimmung (z.B.: Pulsoxymetrie)

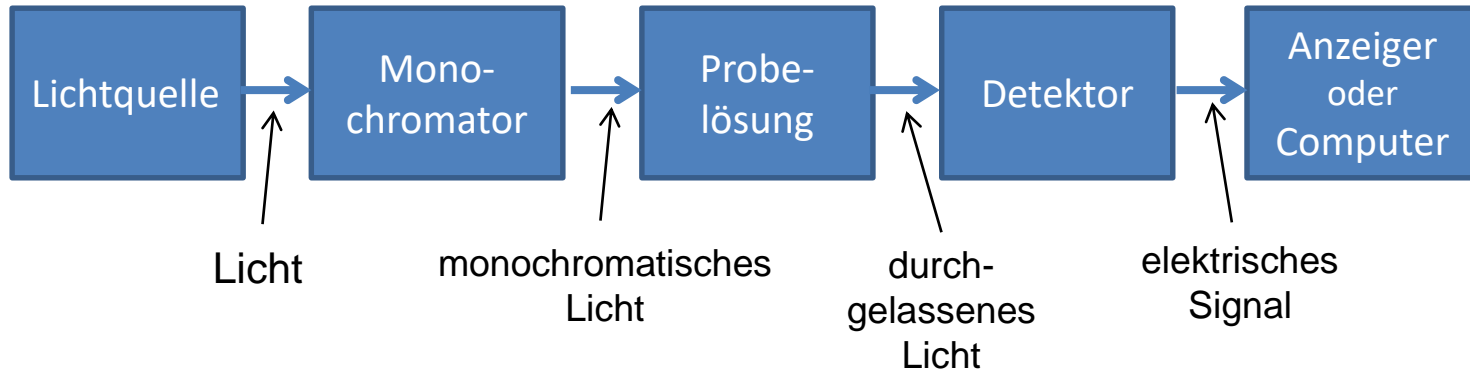
## Lambert-Beer-Gesetz:

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

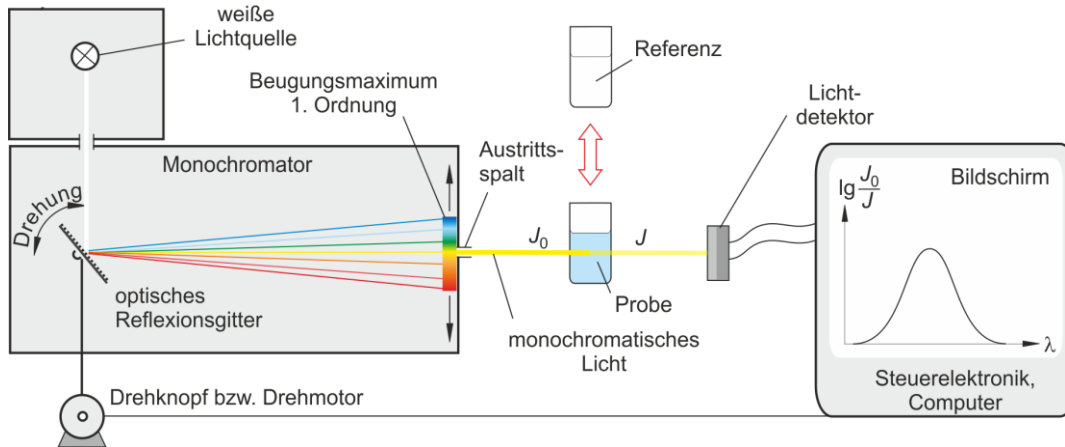
$\varepsilon$ : molarer Extinktionskoeffizient,  
Maßeinheit: 1/(cm·mol/l)



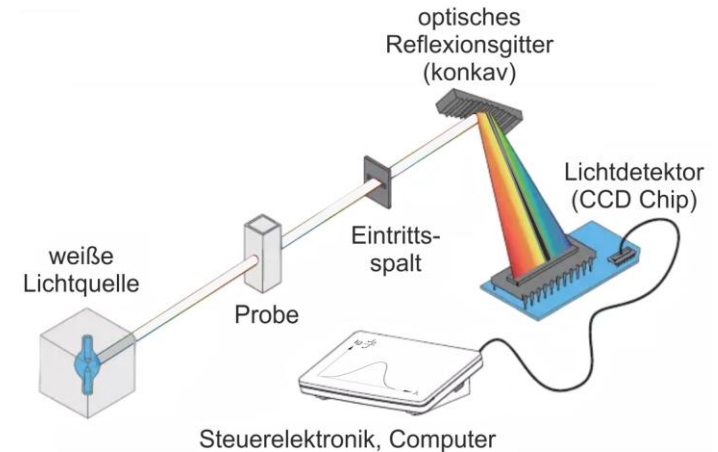
# Absorptionsspektrometer



## Klassisches Gerät



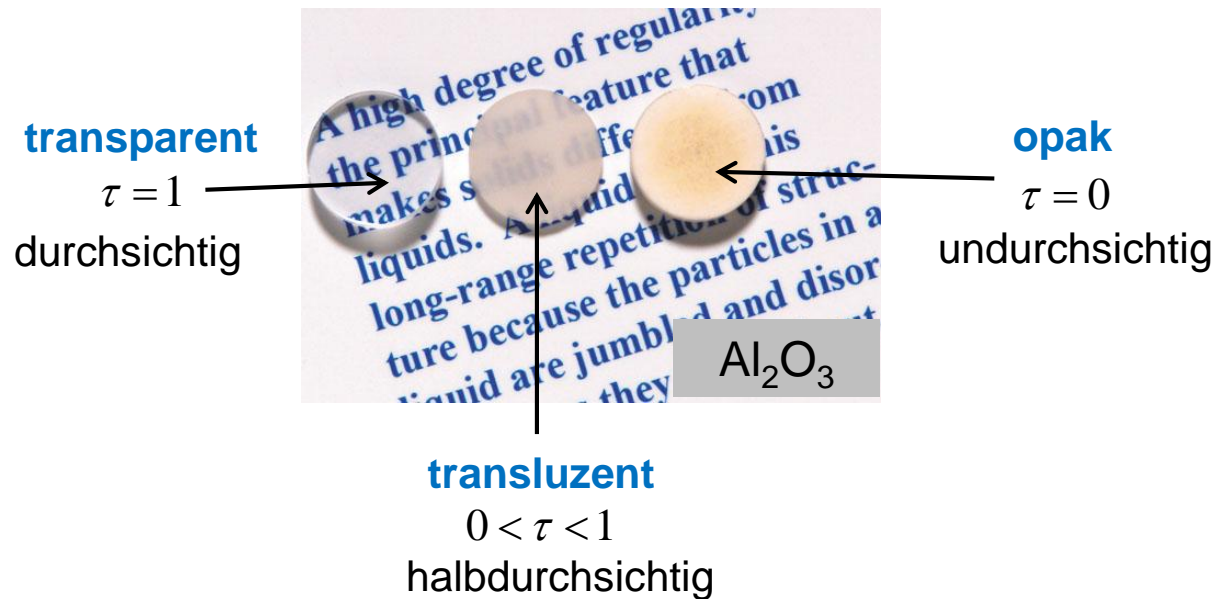
## Modernes Gerät



# Transmission

- **spektraler Transmissionskoeffizient  $\tau(\lambda)$ : (Transmittanz)**  $\tau(\lambda) = \frac{J_{\text{durchgelassen}}(\lambda)}{J_{\text{einfallend}}(\lambda)}$

$\tau$ : Tau



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

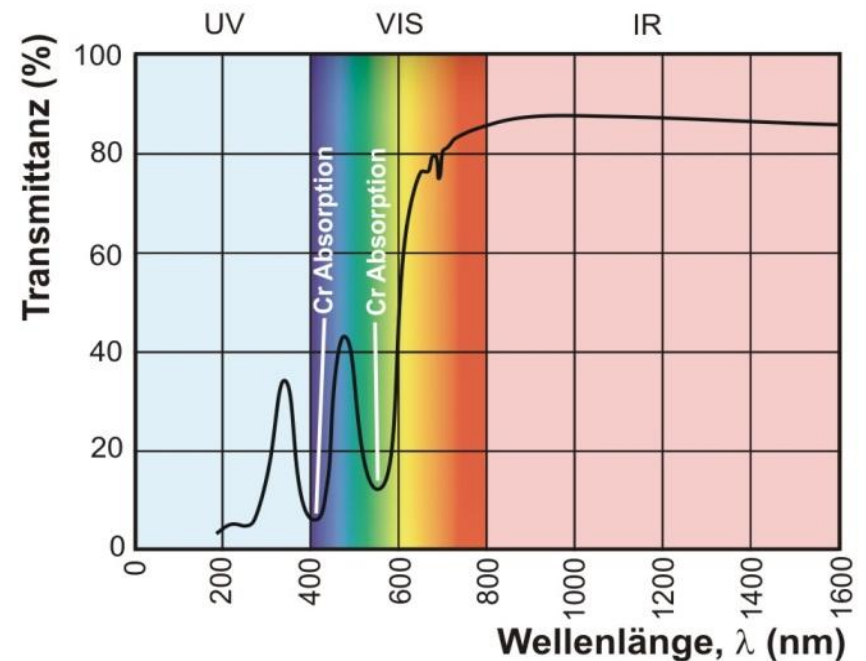
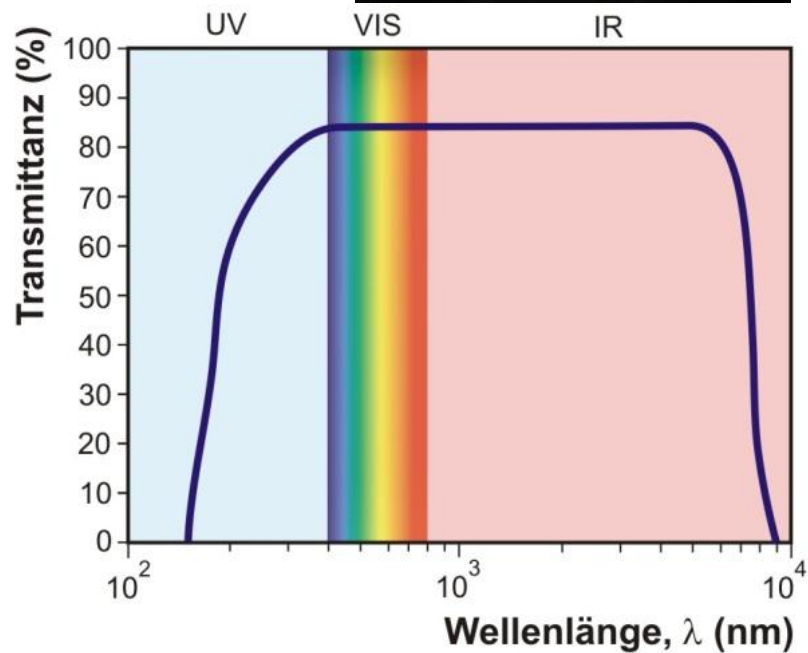
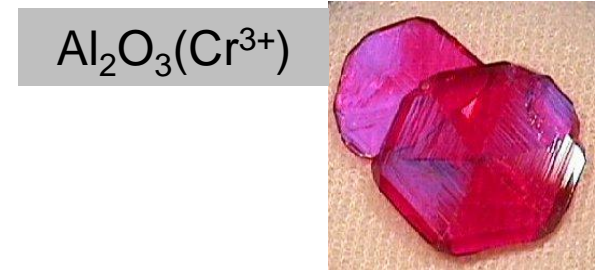
# Transmissionsspektrum

- **Transmissionsspektrum:**  $\tau$  abhängig vom  $\lambda$

Korund



Rubin



# Hausaufgaben

## Aufgabensammlung

2.62 – 2.72

## Feedback