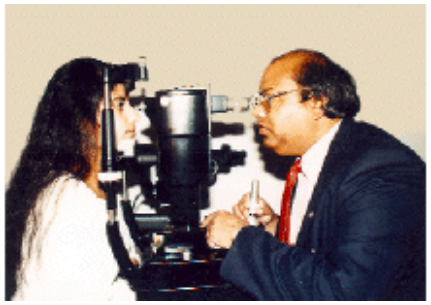
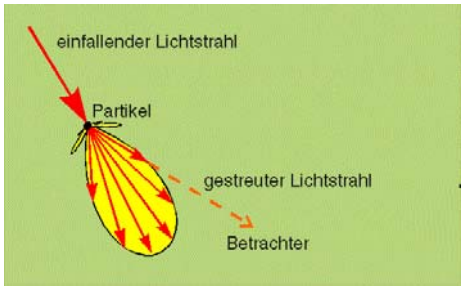
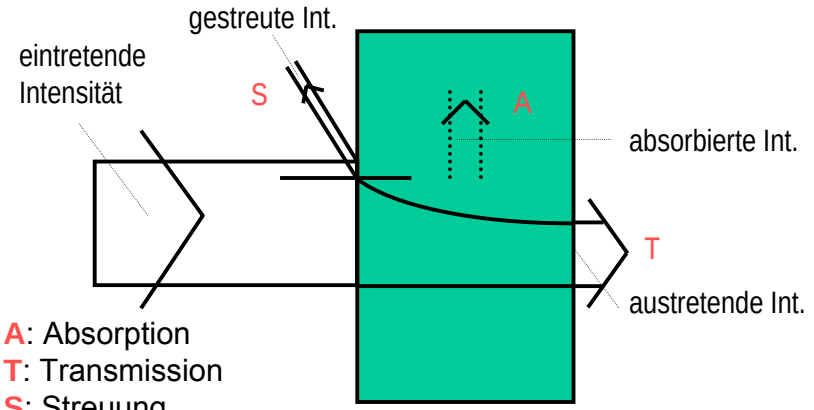


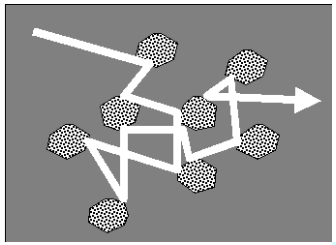
Lichtstreuung



Grunderscheinungen



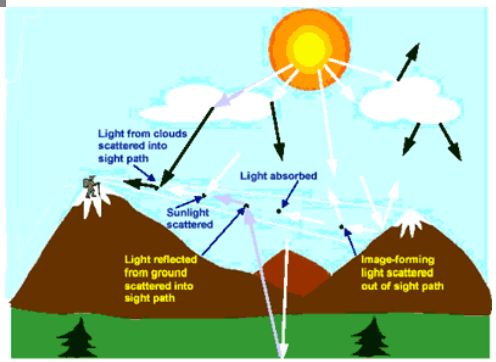
A: Absorption
T: Transmission
S: Streuung



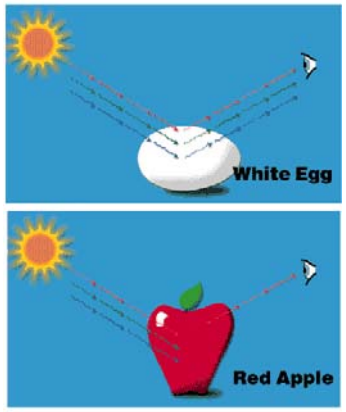
Lichtstreuung:
Ablenkung des Lichtes an kleinen Teilchen oder rauhen Oberflächen (Inhomogenitäten)

(Bis jetzt nur geradlinige Ausbreitung des Lichtes mit Reflexion an Grenzflächen)

Durch Lichtstreuung wird gerichtetes Licht in **diffuses Licht** verwandelt.



Farbe von Gegenständen:
Absorption + Streuung

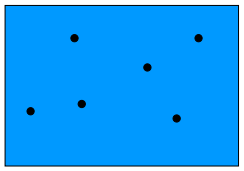


Bei Nacht sind alle Katzen grau.
Im Dunkeln sind alle Kühe schwarz.

Inhomogenitäten

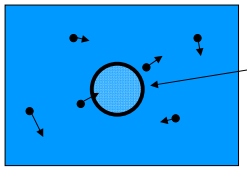
"in der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes" streuen Licht

räumliche Inhomogenitäten – **statische** Lichtstreuung



Teilchen in einer Lösung/Gas

zeitliche Inhomogenitäten/Fluktuationen – **dynamische** Lichtstreuung



Beobachtungsvolumen

elastische Lichtstreuung

ohne Energieübertragung auf das Streuteilchen
die Photonenenergie/Wellenlänge bleibt

Rayleigh- und Mie- Streuung

inelastische Lichtstreuung

die Photonenenergie verkleinert sich, d.h.
die Wellenlänge vergrößert sich (Stokes)

Raman-Streuung

Elastische Lichtstreuung

Rayleigh-Streuung
Wechselwirkung mit Teilchen dessen Durchmesser viel kleiner als die Wellenlänge ist (d <0.1 λ).
Die gestreute Intensität ist stark wellenlängeabhängig ($1/\lambda^4$)

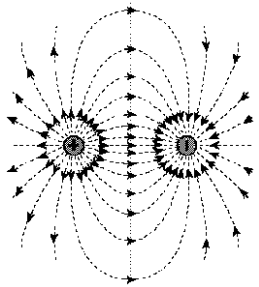
Mie-Streuung
Der Durchmesser der Partikel ist in der Grössenordung der Wellenlänge
(0.1 λ < d < 10 λ)

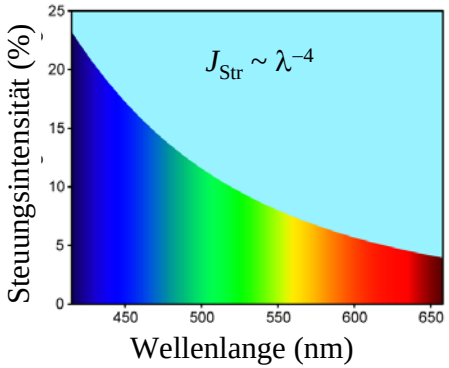
Gustav Mie

nicht-selektive Streuung
Alle Wellenlängen werden ungefähr gleich beeinflusst
Durchmesser der Partikel ist viel größer als die Wellenlänge
(d > 10 λ).

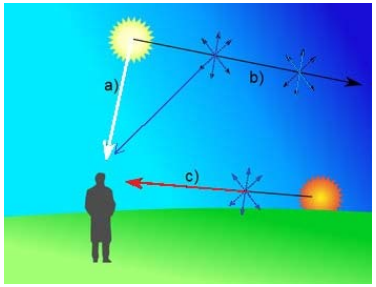
Rayleigh-Streuung

Licht induziert in Atomen, Molekülen und kleinen Teilchen ein elektrisches Dipolmoment, das aufgrund der Schwingung des elektrischen Feldvektors der elektromagnetischen Strahlung ebenfalls schwingt, wodurch das Molekül selber elektromagnetische Strahlung emittiert.





Diese Rayleigh-Streuung ist für den blauen Himmel und das rötliche Licht am Morgen und am Abend verantwortlich. Ist die Atmosphäre dichter, dann nimmt die Streuung zu.



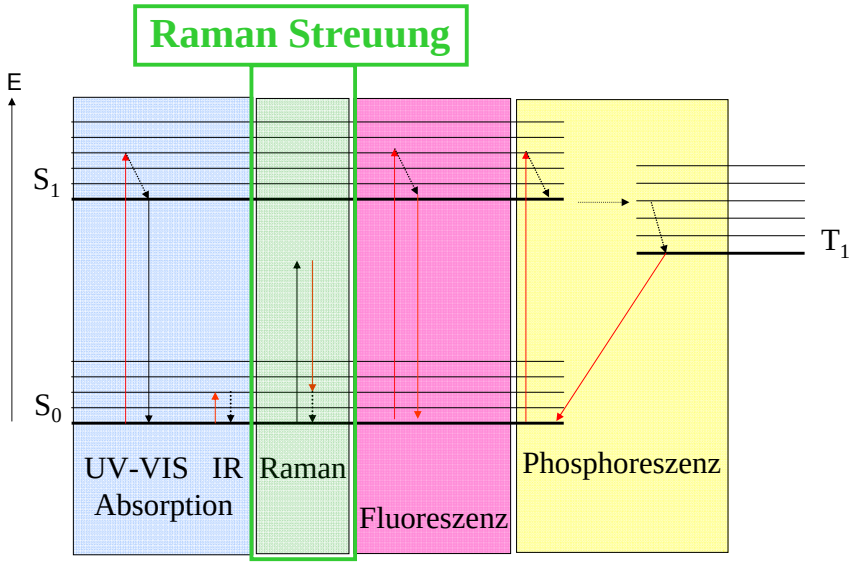
Mie-Streuung

Bei größeren Teilchen gilt die Dipolnäherung nicht mehr, das heißt das induzierte elektrische Dipolmoment kann nicht mehr mit einem Vektor beschrieben werden. Vielmehr kommt es zur Interferenz der von den unterschiedlichen Streuzentren emittierten Strahlung, die charakteristisch ist für Durchmesser und Form des streuenden Teilchens (Mie-Streuung). Folglich können aus der winkelabhängig gemessenen, zeitlich gemittelten Streulichtintensität Information über Durchmesser und Struktur hinreichend großer Teilchen gewonnen werden.

Nicht-selektive Streuung

In diesem Bereich ist die Streuung unabhängig von der Wellenlänge. Deshalb sieht das gestreute Licht weiss aus, zum Beispiel das an Wolken oder am Nebel gestreute Licht.

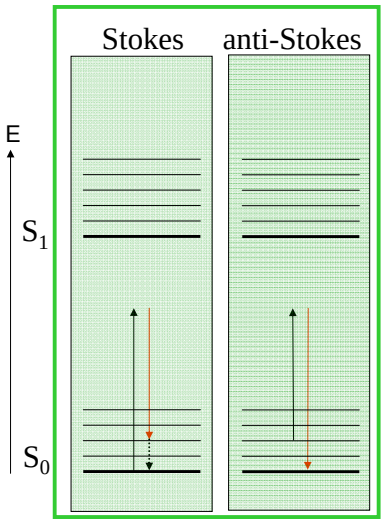
Jablonski Diagramm



Raman-Streuung

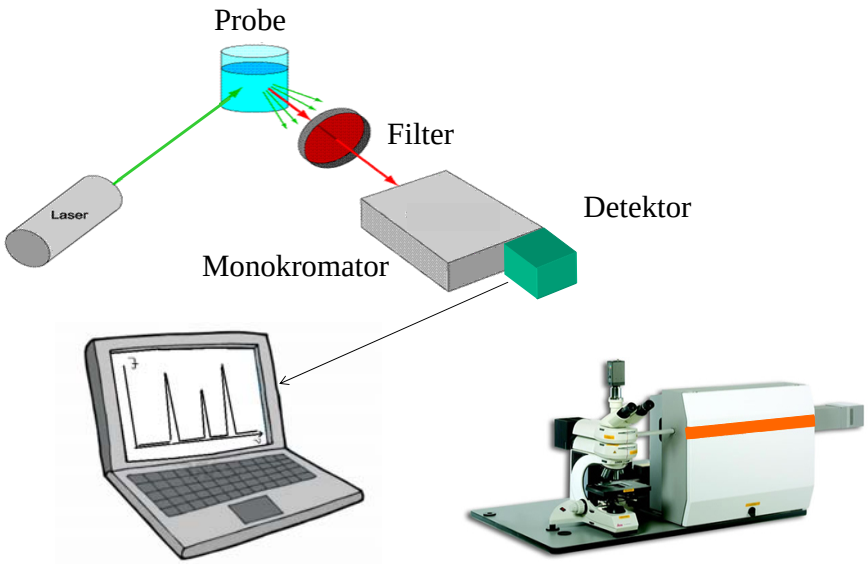
Bei der Raman-Streuung werden Moleküle in andere Vibrationszustand versetzt..

Die Moleküle nehmen hierbei einen Teil der Lichtenergie auf bzw. geben einen Teil ihrer Energie ab; die Wellenlänge des rückgestreuten Lichts wird durch die Streuung geändert.



Die Intensität um 2 bis 3 Größenordnungen geringer als bei der elastischen Streuung.

Raman Spektrometer

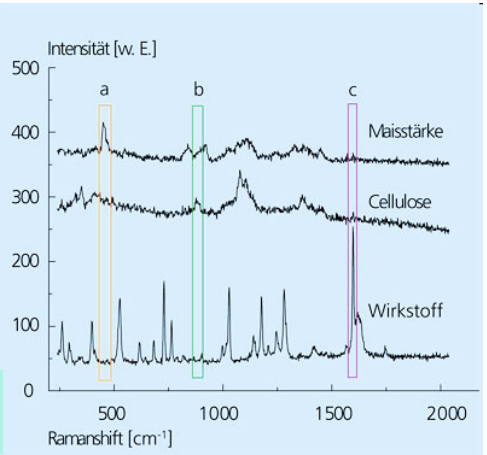


Raman-Streuung

Vibrationszustände sind spezifisch für die Moleküle.

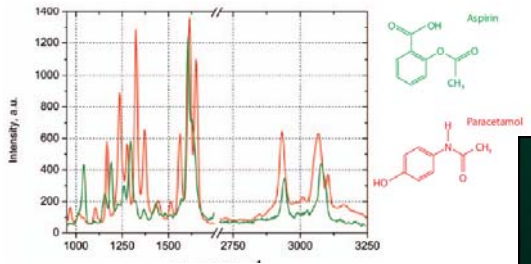
⇩

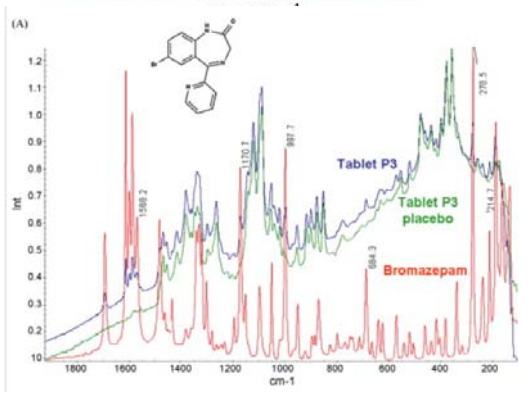
Raman Spektroskopie

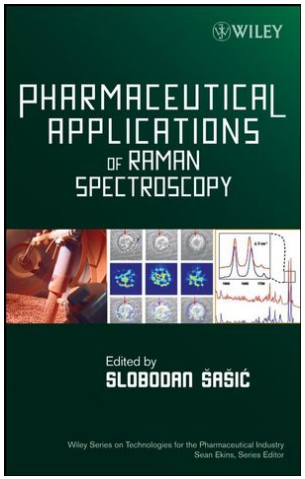


Wirkstoffgehalt einer Tablette

http://www.igb.fraunhofer.de/de/kompetenzen/grenzflaechentechnik/oberflaechenanalytik/ausstattung/konfokale-mikroskopie-spektroskopie/raman-spektroskopie-tablette.html







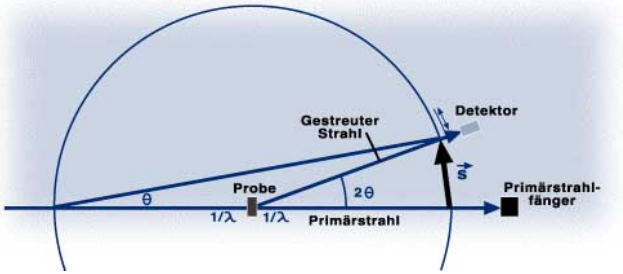
Messmethode: **Statische Lichtstreuung**

Die zeitlichen Mittelwerte der Streulichtintensität werden bei einem Winkel bestimmt.

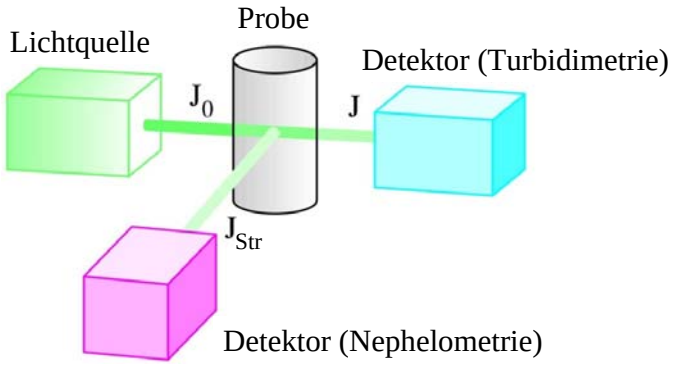
Die Streuintensität nimmt mit der sechsten Potenz des **Durchmesser**s zu!

➡ Bestimmung von **Molmasse**n

$J_{Str} \sim d^6$

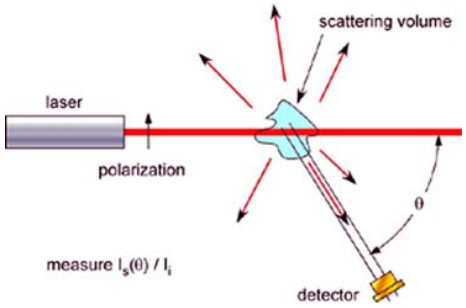


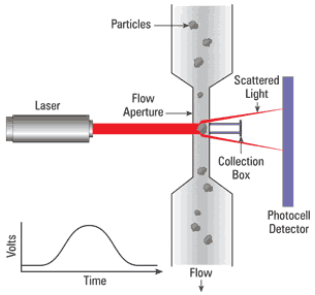
Messung der Lichtsreuung: Nephelometrie und Turbidimetrie



Anwendung: **Statische Lichtstreuung**

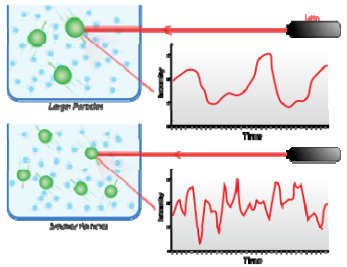
Die Charakterisierung der Mikrostruktur von Mikroemulsionen kann mit der Methode der statischen Lichtstreuung erfolgen, wenn die Strukturgrößen in der Größenordnung einiger 100 nm liegen.





Teilchenzähler

Messmethode: **Dynamische Lichtstreuung**

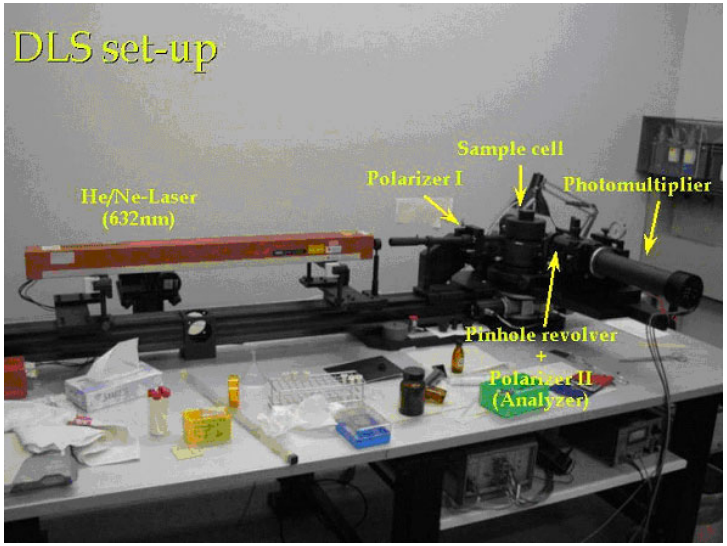


➡ Fourier-Transformation ➡ Auto-korrelations-funktion

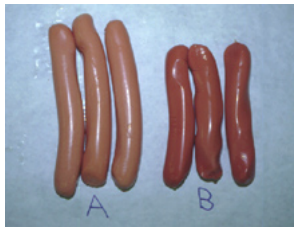
Man bestimmt mit der dynamischen Lichtstreuung Diffusionskoeffizienten bzw. Verteilungen von Diffusionskoeffizienten. Mit der Stokes-Einstein-Beziehung lassen sich dann unter der Annahme, dass sphärische Teilchen vorliegen, aus den Diffusionskoeffizienten die hydrodynamischen Radien der diffundierenden Teilchen berechnen.

➡ **Bestimmung der Partikelgrössenverteilung**

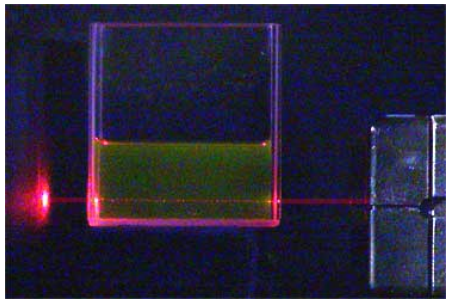
Gerät: **Dynamishe Lichtstreuung**



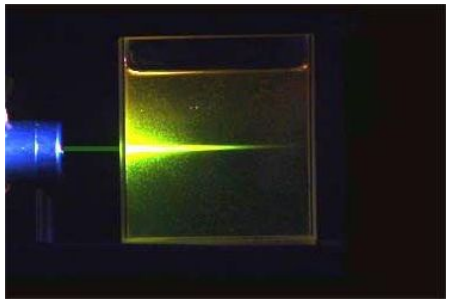
Absorption von Licht



Absorption von Licht in einer Lösung



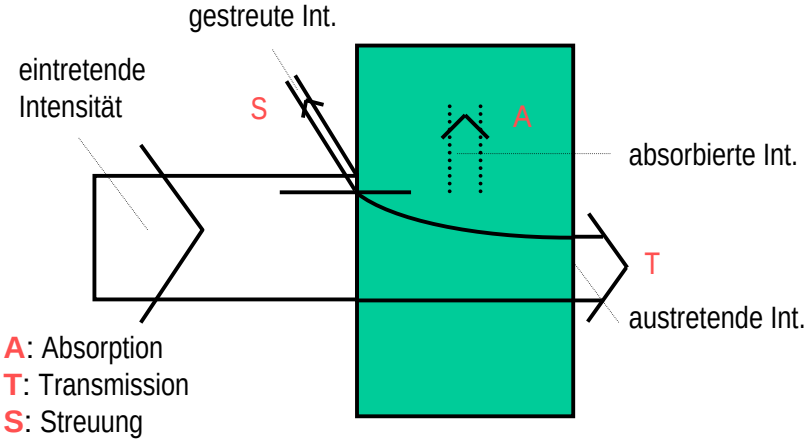
rote monokromatische Lichtquelle (laser, λ = 633 nm)
keine Absorption



grüne monokromatische Lichtquelle (laser, λ = 532 nm)
starke Absorption

es gibt eine Absorptionsfähigkeit
die Absorptionsfähigkeit hängt von der Wellenlänge ab

Grunderscheinungen



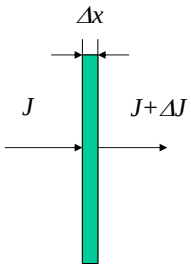
A: Absorption
T: Transmission
S: Streuung

Annahme: Der größte Teil des Lichtes wird absorbiert oder durchquert.
Manchmal die Streuung ist nicht vernachlässigbar.

Quantitative Charakterisierung der Absorption

einfachste Situation: sehr kleine (infinetisimal kleine) Schichtdicke

(Parallelstrahl, senkrecht fällt auf ein Medium)



J: die eintretende Intensität

ΔJ : Veränderung der Intensität (<0)

$J + \Delta J$: die austretende Intensität

$\Delta J = -\mu\, J\, \Delta x$ differenzierte Form des Schwächungsgesetzes

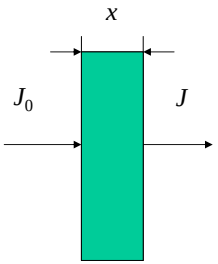
μ : charakterisiert das Medium (Schwächungsfaktor)

$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu\, J$$

Veränderung (*genauer:* die Ableitung) einer Funktion (*hier:* Intensität) proportional zur Funktion (Intensität)

$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu\, J \qquad \text{oder:} \qquad \frac{dJ}{dx} = -\mu\, J$$

Lösung dieser Differentialgleichung:



$$J = \boxed{J(x) = J_0 e^{-\mu x}}$$

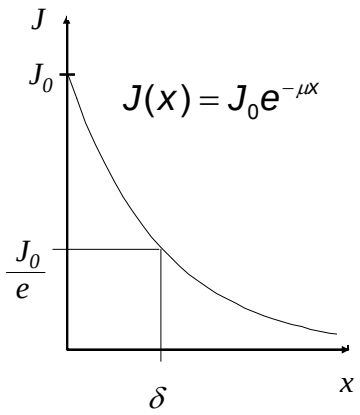
das Schwächungsgesetz

J_0: die eintretende Intensität

J: die austretende Intensität

μ: der (lineare) Schwächungskoeffizient (Schwächungsfaktor, Absorptionskoeffizient), Einheit: 1/m, 1/cm

Graphische Darstellung des Schwächungsgesetzes



Einheit von μ: 1/m, 1/cm

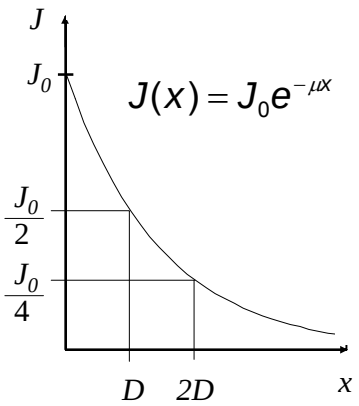
δ=1/μ, δ: eine spezielle Schichtdicke

$$J(x) = J_0 e^{-\frac{x}{\delta}}$$

$$J(\delta) = J_0 e^{-\frac{\delta}{\delta}} = J_0 e^{-1} = \frac{J_0}{e}$$

δ: die Schichtdicke nach welcher sich die Intensität der Strahlung auf den *e*-ten Teil vermindert: Eindringtiefe

Die Halbwertsdicke



D: die Schichtdicke nach welcher sich die Intensität der Strahlung halbiert

$$J(D) = J_0 e^{-\mu D} = \frac{J_0}{2}$$

$$e^{-\mu D} = \frac{1}{2} = 2^{-1} \qquad e^{+\mu D} = 2$$

$$\mu D = \ln 2, \qquad \boxed{\mu = \frac{\ln 2}{D} = \frac{0.693}{D}}$$

$$J(x) = J_0 e^{-\frac{0.693}{D}x}$$

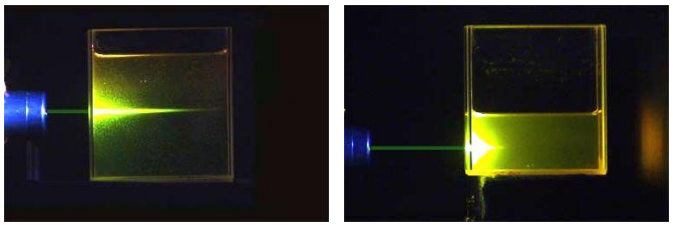
Schwächungskoeffizient

$$\Delta J = -\mu\, J\, \Delta x,$$

$$\mu = \mu\left(\text{Medium; Strahlung}\right) = \mu(\text{Stoff}, c; \lambda),$$

wo c: die Konzentration der Lösung
λ: die Wellenlänge

für dünne Lösungen: $\mu \sim c$



Lambert-Beersches Gesetz

$$J = J_0 e^{-\mu x} \qquad J_0 = J e^{+\mu x} \qquad \frac{J_0}{J} = e^{\mu x}$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = \mu x \lg e = \left(\frac{\mu}{c} \lg e\right) c\, x = \varepsilon\, c\, x$$

Gültigkeit: für dünne Lösungen

der (dekadische molare) Extinktionskoeffizient: $\varepsilon = \varepsilon(\text{Stoff}; \lambda)$
(spektraler Absorptionskoeffizient)

wichtig: hängt von der Konzentration **nicht** ab

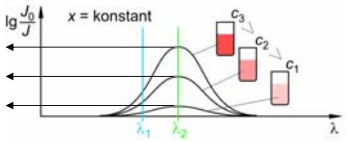
Optische Dichte = Extinktion = Absorbanz

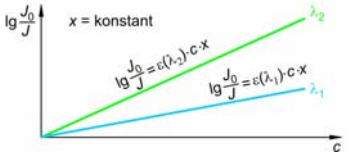
OD *E* *A*

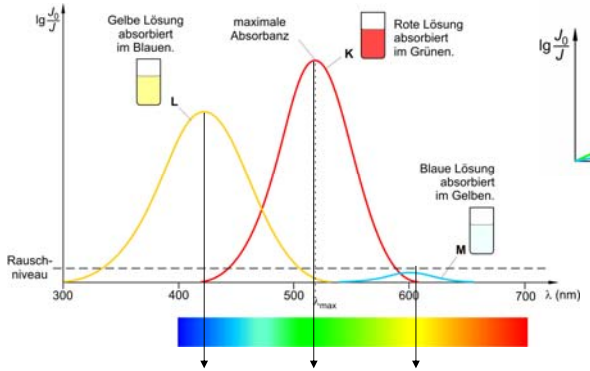
Absorption	$\frac{J}{J_0}$	$\frac{J_0}{J}$	$\lg \frac{J_0}{J}$
kleine ($J=J_0$)	1 = 100 %	1	0
grosse (J=0)	0	∞	∞
	Durchlässig-keit		Absorbance
	wichtige Grösse	keine Bedeutung	wichtigste Grösse

Absorptionsspektrum

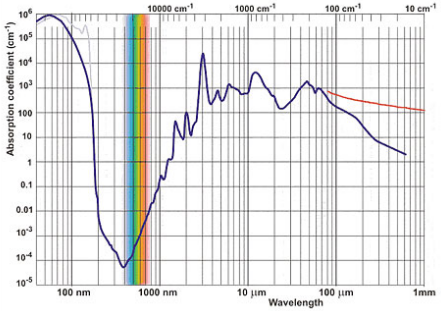
wie groß ist die Spitze: quantitative Analyse

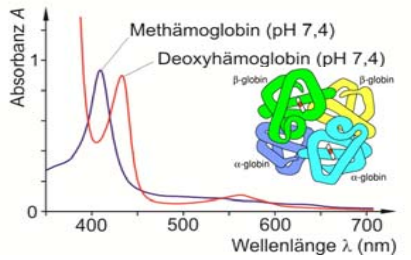


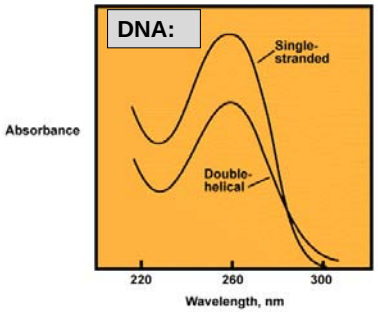


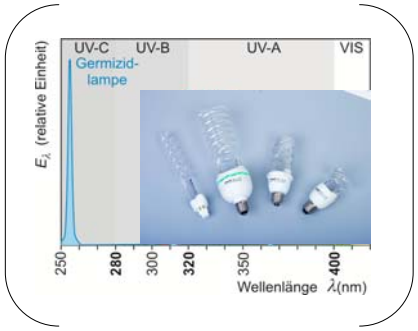


wo ist die Spitze: qualitative Analyse

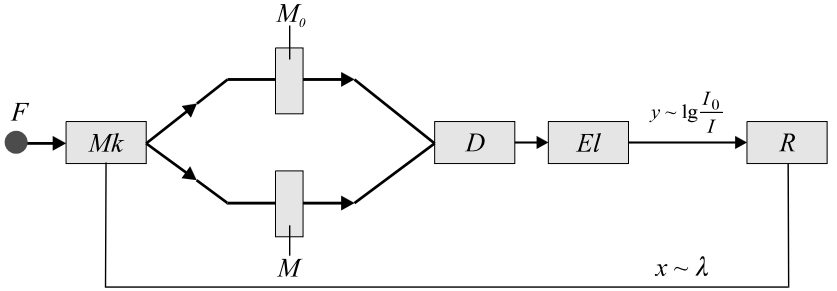








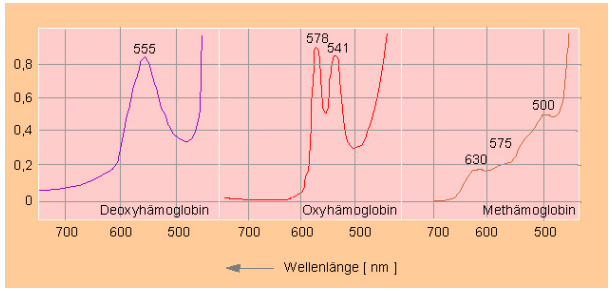
Das Messgerät: Absorptionsspektrophotometer



F: Lichtquelle (kontinuierliches Spektrum)
Mk: Monokromator (Aufspaltung des Spektrums der Lichtquelle und Auswahl der Wellenlänge zur Durchleuchtung der Probe)
M_0: Referenzlösung (z.B. Lösungsmittel)
M: die zu messende Lösung
D: Detektor (photoelektrische Umwandlung)
El: elektronische Einheit (Verstärkung und Herstellung des der Extinktion proportionalen elektrischen Signals)
R: Registration

Bestimmung des Sauerstoffgehaltes von Gewebe

A



Charakterisation die Frische von Fleisch

Konz. von Deoxy und Oxy-Myoglobin
Konz. von NO-Myoglobin
...

Sterilisation

Germizidlampe emittiert wo die DNS absorbiert