

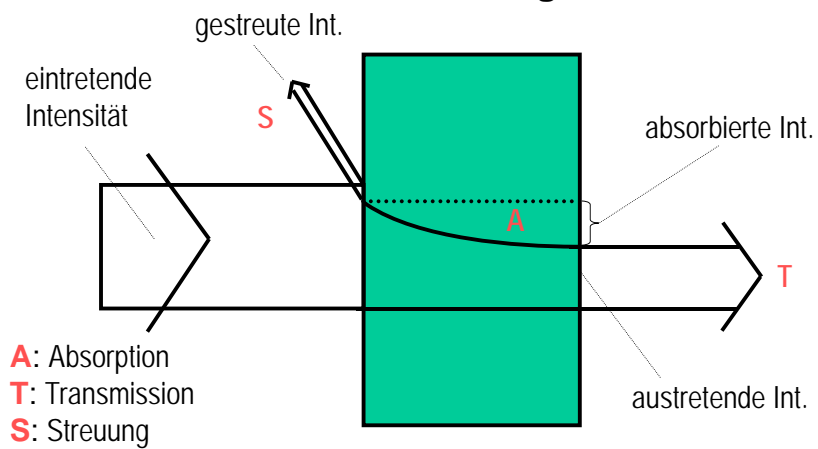


## Absorption und Streuung des Lichtes

## Absorption des Lichtes

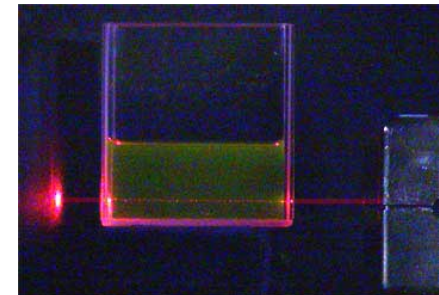


## Grunderscheinungen

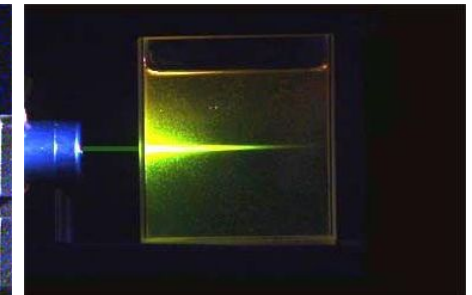


Annahme: Der größte Teil des Lichtes wird absorbiert oder durchquert.  
 Die Streuung ist jetzt vernachlässigbar.

## Absorption von Licht in einer Lösung



rote monokromatische Lichtquelle  
 (laser,  $\lambda = 633 \text{ nm}$ )  
 keine Absorption



grüne monokromatische Lichtquelle (laser,  $\lambda = 532 \text{ nm}$ )  
 starke Absorption

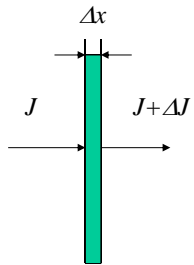
es gibt eine Absorptionsfähigkeit  
 die Absorptionsfähigkeit hängt von der Wellenlänge ab

## Quantitative Charakterisierung der Absorption

einfachste Situation: sehr kleine (infinitesimal kleine) Schichtdicke

(Parallelstrahl, senkrecht fällt auf ein Medium)

$J$ : die eintretende Intensität



$\Delta J$ : Veränderung der Intensität ( $<0$ )

$J + \Delta J$ : die austretende Intensität

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

differenzierte Form des Schwächungsgesetzes

$\mu$ : charakterisiert das Medium (Schwächungsfaktor)

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

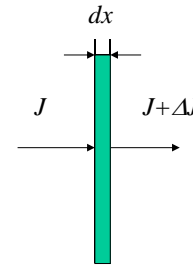
Veränderung (*genauer*: die Ableitung) einer Funktion (*hier*: Intensität) proportional zur Funktion (Intensität)

## Quantitative Charakterisierung der Absorption

einfachste Situation: sehr kleine (infinitesimal kleine) Schichtdicke

(Parallelstrahl, senkrecht fällt auf ein Medium)

$J$ : die eintretende Intensität



$dJ$ : Veränderung der Intensität ( $<0$ )

$J + dJ$ : die austretende Intensität

$$dJ = -\mu J dx$$

differenzierte Form des Schwächungsgesetzes

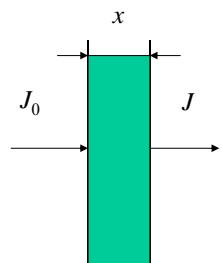
$\mu$ : charakterisiert das Medium (Schwächungsfaktor)

$$\frac{dJ}{dx} = -\mu J$$

die Ableitung einer Funktion (*hier*: Intensität) ist proportional zur Funktion selbst.

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

Lösung dieser Differentialgleichung:



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

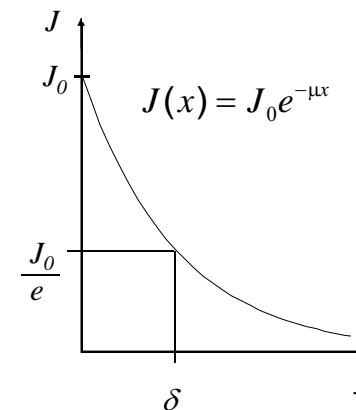
das Schwächungsgesetz

$J_0$ : die eintretende Intensität

$J$ : die austretende Intensität

$\mu$ : der (lineare) Schwächungskoeffizient (Schwächungsfaktor, Absorptionskoeffizient), Einheit: 1/m, 1/cm

## Graphische Darstellung des Schwächungsgesetzes



Einheit von  $\mu$ : 1/m, 1/cm

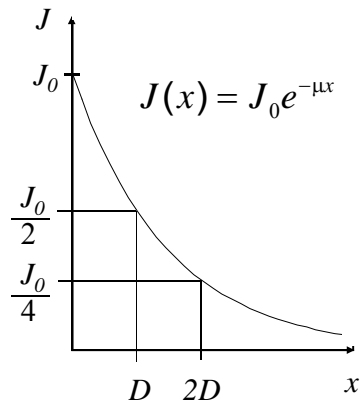
$\delta \equiv 1/\mu$ ,  $\delta$ : eine spezielle Schichtdicke

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

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

$\delta$ : 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

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

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

$$\mu D = \ln 2,$$

$$\mu = \frac{\ln 2}{D} = \frac{0.693}{D}$$

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

## 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	$\infty$	$\infty$
	Durchlässigkeit		Absorbance
	wichtige Grösse	keine Bedeutung	wichtigste Grösse

## Schwächungskoeffizient

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

$$\mu = \mu(\text{Medium; Strahlung}) = \mu\left(\text{Stoffart}, \frac{N}{V}; \lambda\right),$$

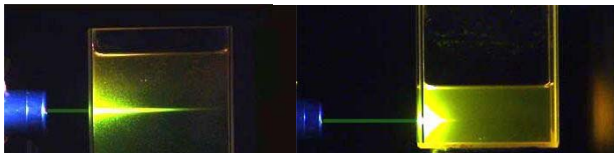
$$\mu\left(\text{Stoffart}, \frac{N}{V}; \lambda\right) = \begin{cases} \mu(\text{Stoffart}, c; \lambda) & \text{bei Lösungen} \\ \mu(\text{Stoffart}, \rho; \lambda) & \text{sonst} \end{cases}$$

wo N: Anzahl der Teilchen die absorbieren können (in Volumen V)

c: Konzentration der Lösung

$\lambda$ : Wellenlänge

$\rho$ : Dichte



## Lambert-Beersches Gesetz

→ für dünne Lösungen:  $\mu \sim c$

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

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

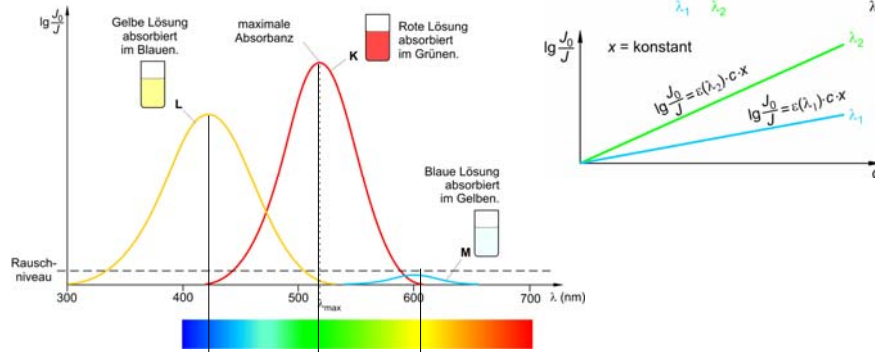
Gültigkeit: für dünne Lösungen

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

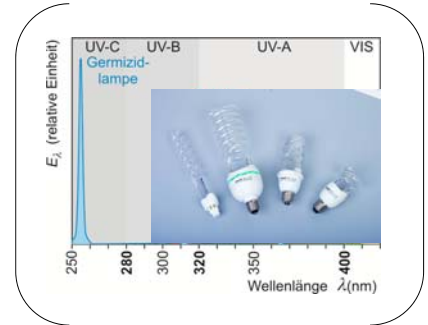
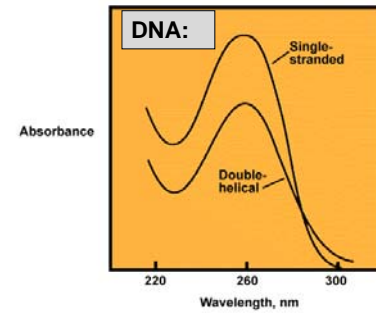
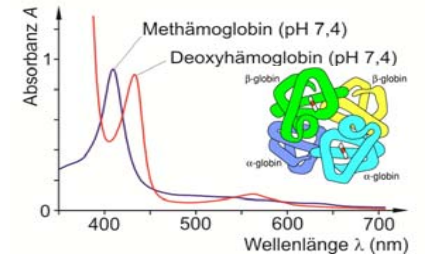
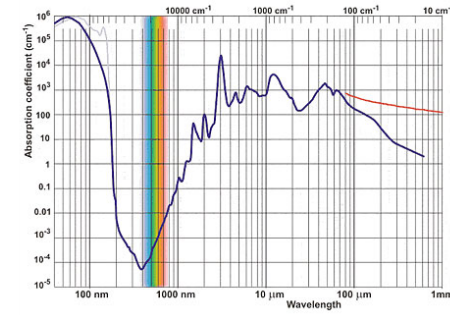
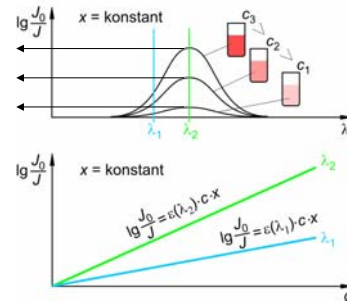
wichtig:  $\epsilon$  hängt von der Konzentration nicht ab

## Absorptionsspektrum

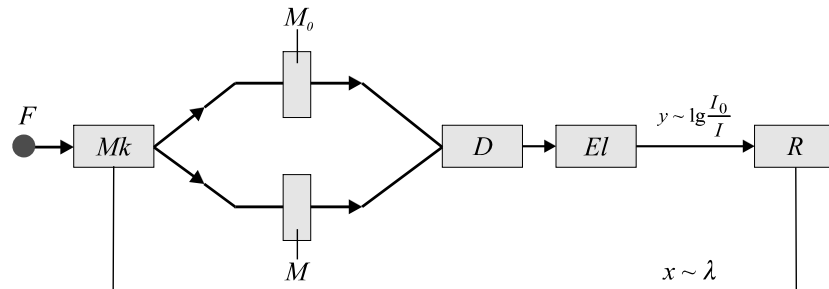
wie groß ist die Spitze:  
quantitative Analyse



wo ist die Spitze: qualitative Analyse



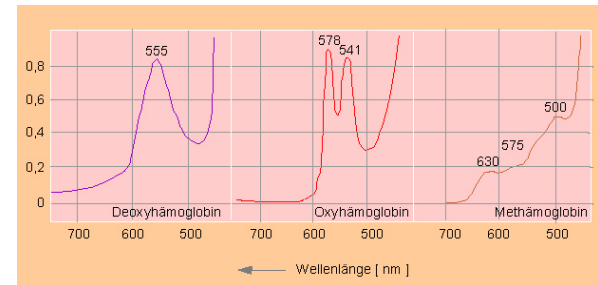
## Das Messgerät: Absorptionsspektrophotometer



- $F$ : 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

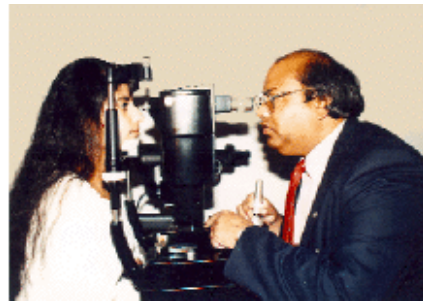
...



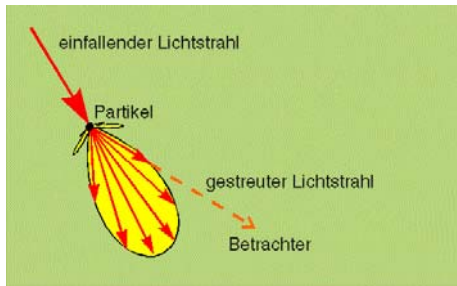
## Sterilisation

Germizidlampe emittiert  
wo die DNS absorbiert

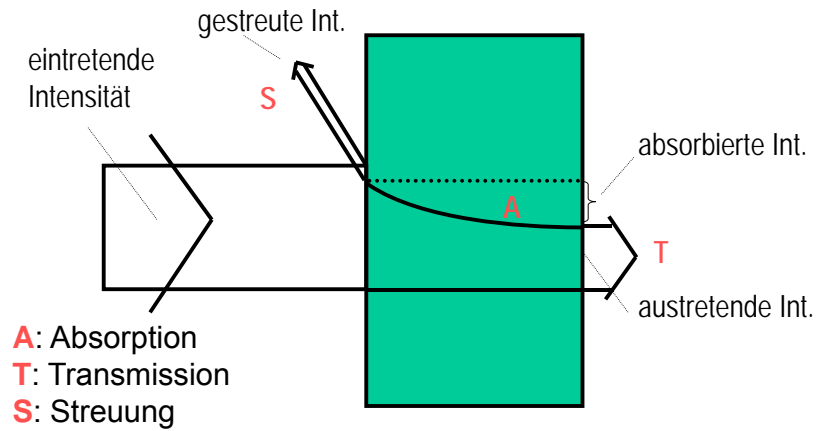




## Lichtstreuung

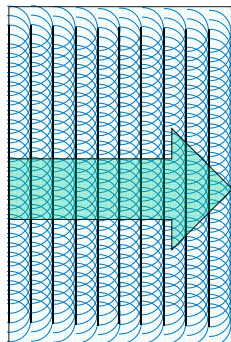


## Grunderscheinungen

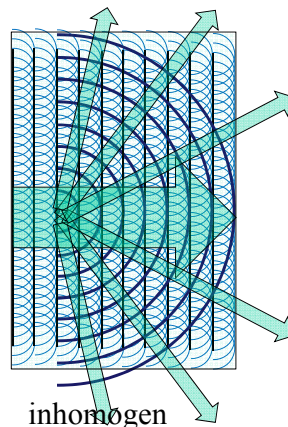


Lichtstreuung:  
**Ablenkung des Lichtes** an kleinen Teilchen  
 (Inhomogenitäten)

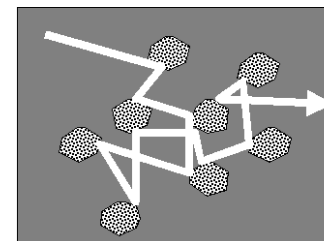
Huygens Fresnel Prinzip



homogen



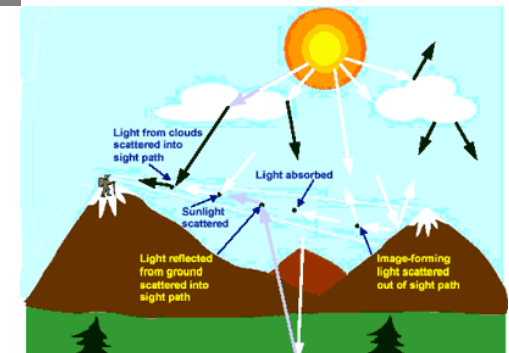
inhomogen



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

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

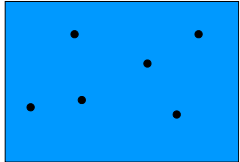
Durch Lichtstreuung  
 wird gerichtetes  
 Licht in **diffuses**  
**Licht** verwandelt.



## Inhomogenitäten

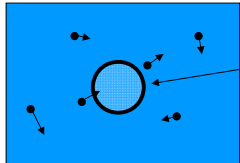
“in der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes”  
streuen Licht

**räumliche** Inhomogenitäten – **statische** Lichtstreuung



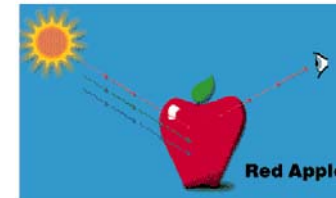
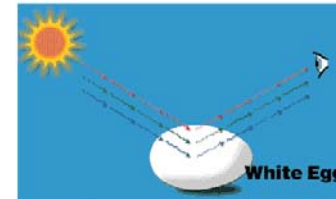
Teilchen in einer Lösung/Gas

**zeitliche** Inhomogenitäten/Fluktuationen – **dynamische**  
Lichtstreuung



Beobachtungsvolumen

## Farbe von Gegenständen: Absorption + Streuung



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

## 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 ( $d < 0.1 \lambda$ ).

Die gestreute Intensität ist stark wellenlängeabhängig ( $1/\lambda^4$ )

### Mie-Streuung

Der Durchmesser der Partikel ist in der  
Größenordnung der Wellenlänge  
( $0.1 \lambda < d < 10 \lambda$ )



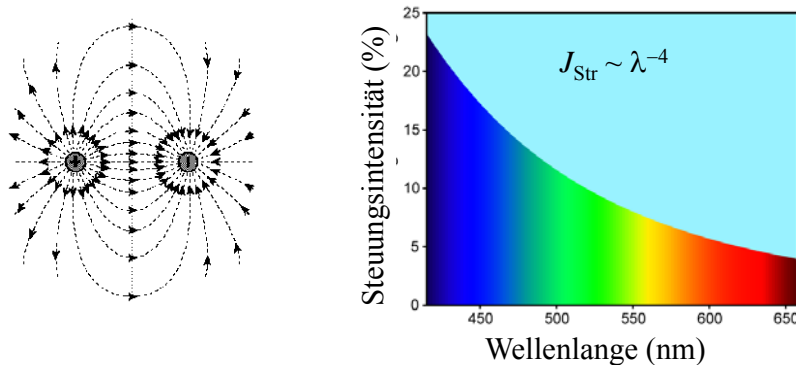
Gustav Mie

### nicht-selektive Streuung

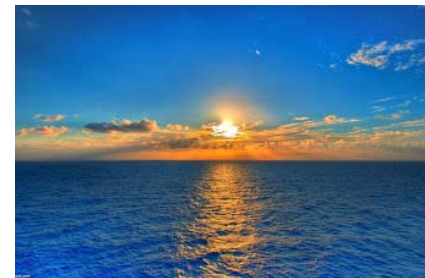
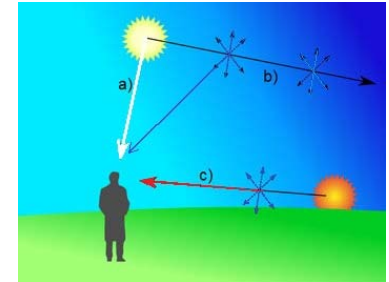
Alle Wellenlängen werden ungefähr gleich beeinflusst  
Durchmesser der Partikel ist viel größer als die Wellenlänge  
( $d > 10 \lambda$ ).

## 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.



## Messmethode:

Statische Lichtstreuung

Dynamische Lichtstreuung



## Statische Lichtstreuung

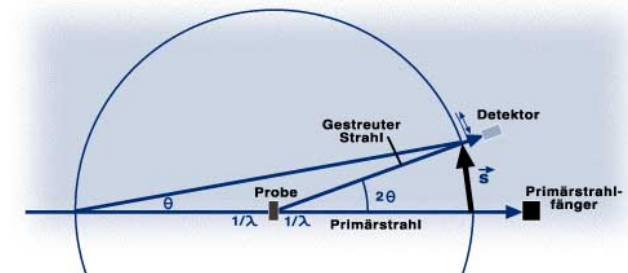
Die Streulichtintensität wird bei einem Winkel bestimmt.

Die Streuintensität nimmt mit der sechsten Potenz des **Durchmessers** zu!

Bestimmung von **Molmassen**



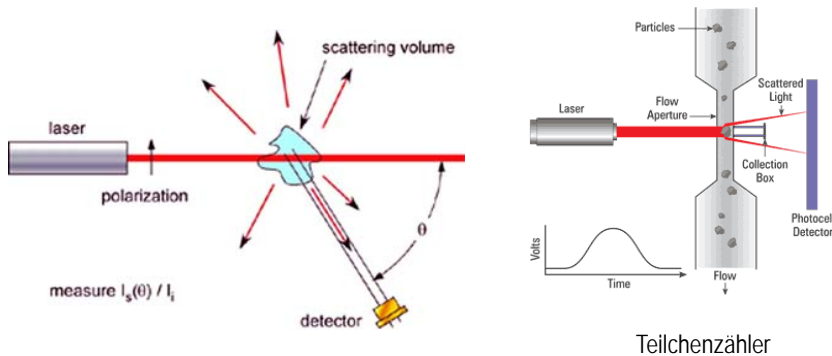
$$J_{\text{Str}} \sim d^6$$



## Statische Lichtstreuung

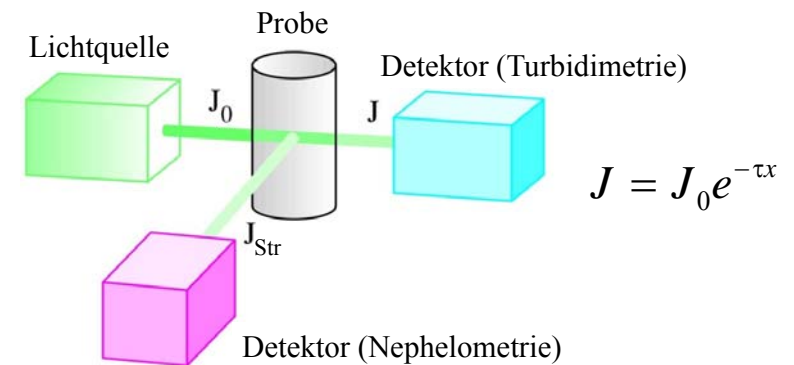
### Anwendung

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



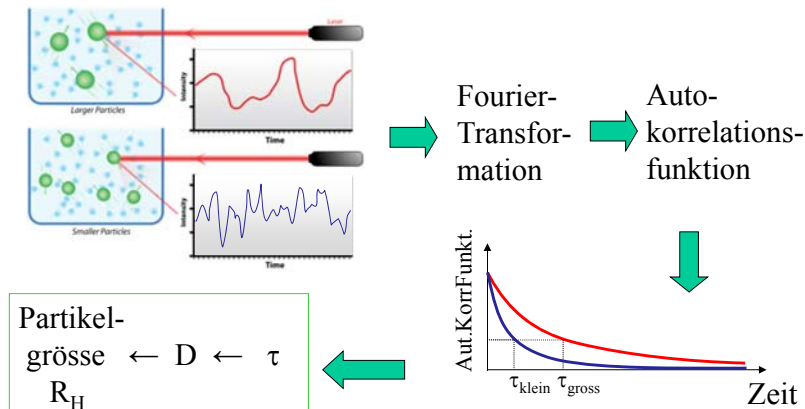
## Messung der Lichtstreuung:

### Nephelometrie und Turbidimetrie (Trübung)



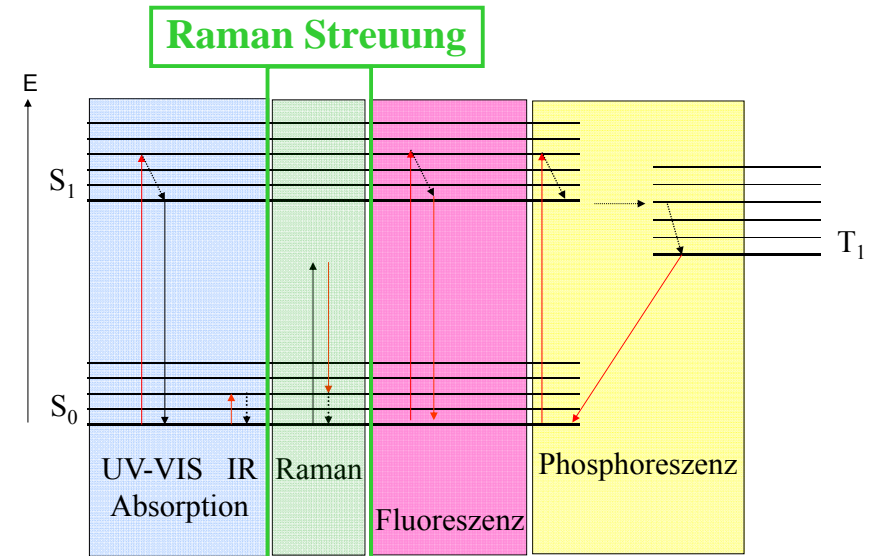


## Dynamische Lichtstreuung



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**

## Nichtelastische Streuung: Raman-Streuung

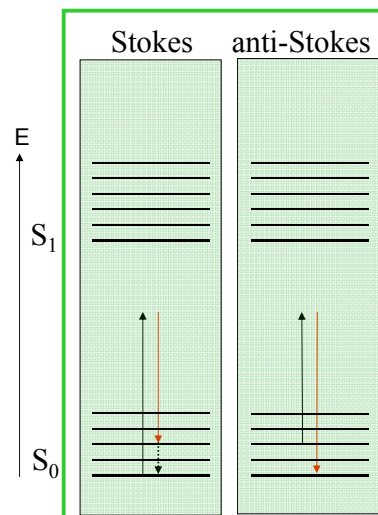


## Raman-Streuung



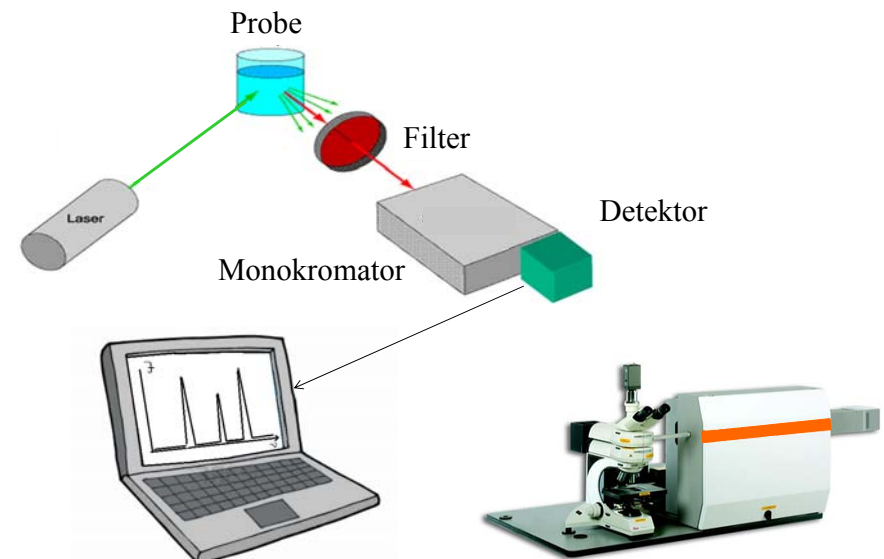
Bei der Raman-Streuung werden Moleküle in andere Vibrationszustand versetzt..

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



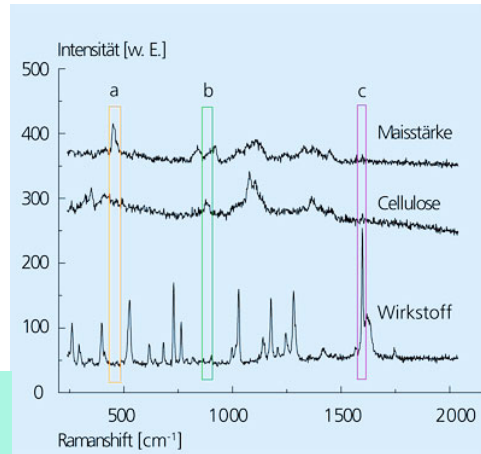
## Raman-Streuung

Vibrationszustände  
sind spezifisch für  
die Moleküle.

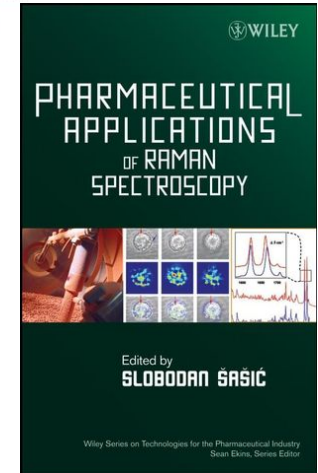
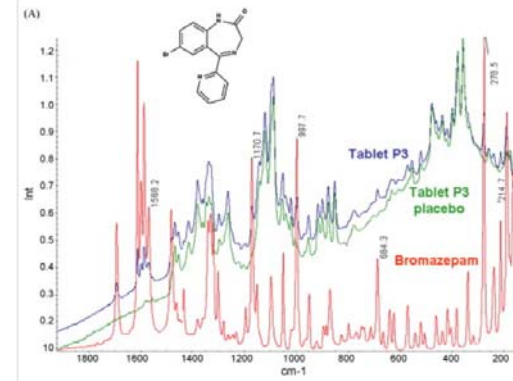
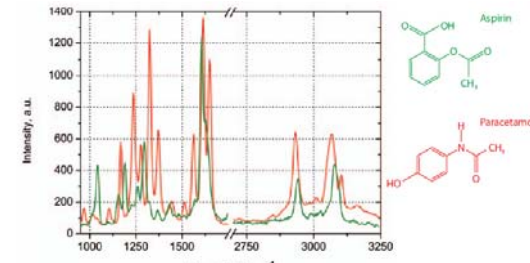


Raman  
Spektroskopie

Wirkstoffgehalt  
einer Tablette



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



## Tragbare Raman Spektrometern für Stoffidentifizierung

