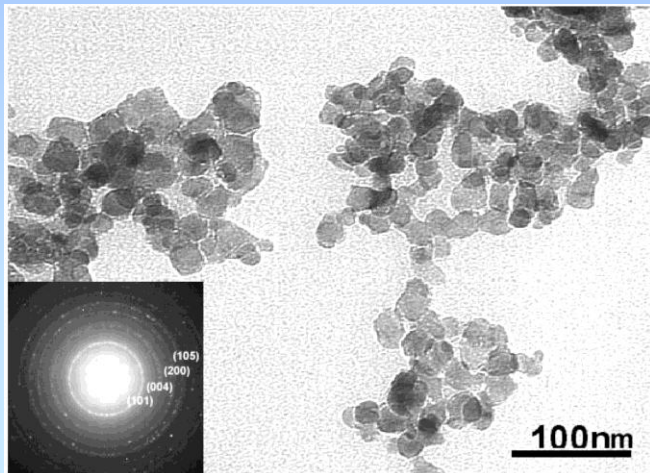

Nanomaterialien – Synthese, Charakterisierung und Eigenschaften

**Prof. Dr. Johann Plank
Department Chemie**

Technische Universität München

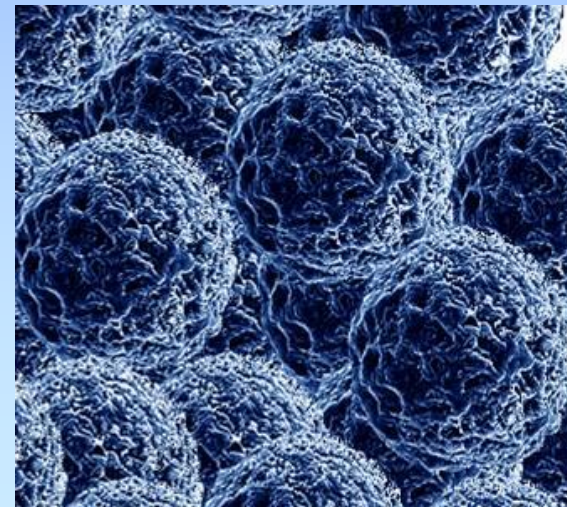
Nanopartikel

Sonnencreme



TiO₂ Nanopartikel

Desinfektion von Trinkwasser



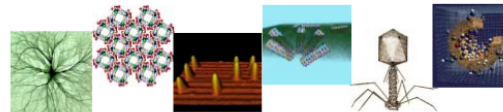
Ag Nanopartikel

National Nanotechnology Initiative



National Nanotechnology Initiative

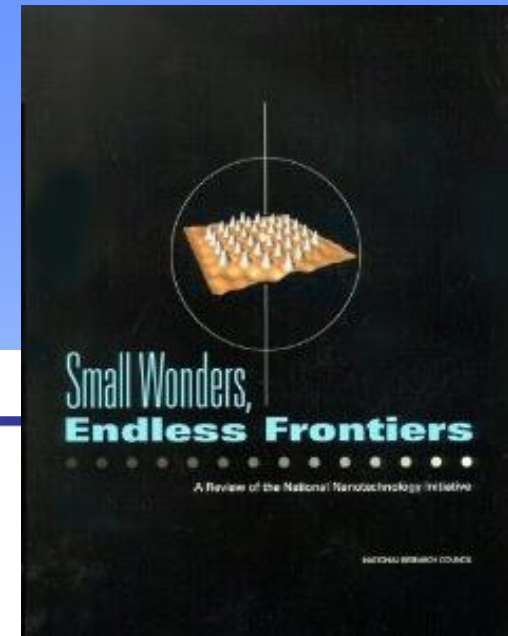
THE INITIATIVE AND ITS IMPLEMENTATION PLAN



Detailed Technical Report Associated with the
Supplemental Report to the President's FY 2003 Budget

National Science and Technology Council
Committee on Technology
Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology

June 2002



Nanostrukturierte Oberflächen - Beispiele

Selbstreinigende Dachpfannen

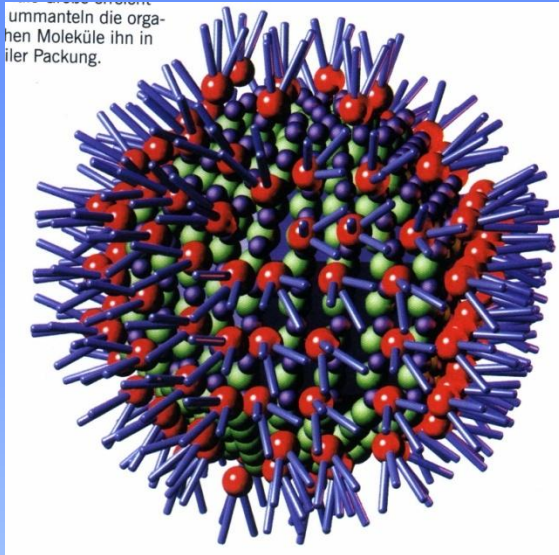


Selbstreinigende
Jeans

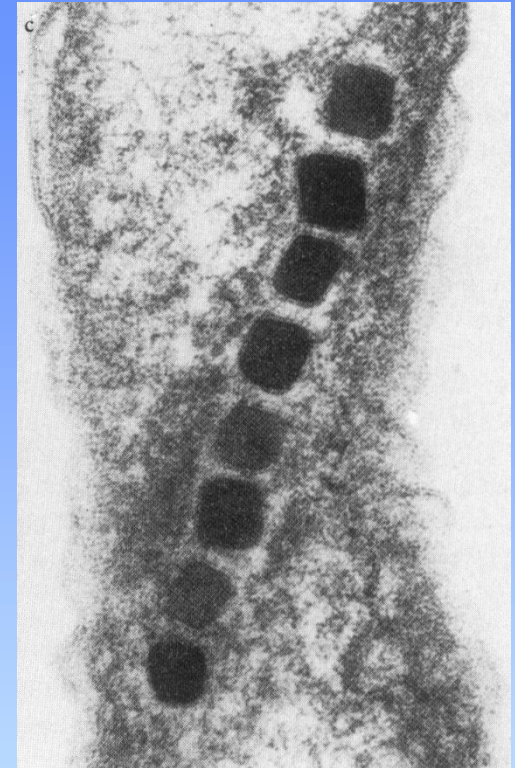
Selbstreinigender
Autolack



Nanopartikel



Magnetit
Nanokristalle in
Bakterien



Nanopartikel als Katalysatoren:

Automobilkatalysatoren (Pt)

Schadstoffabbau (TiO_2)

Elektroden in Brennstoffzellen (Pt)



Größenabhängige Lichtabsorption und
Lumineszenz von Nanopartikeln

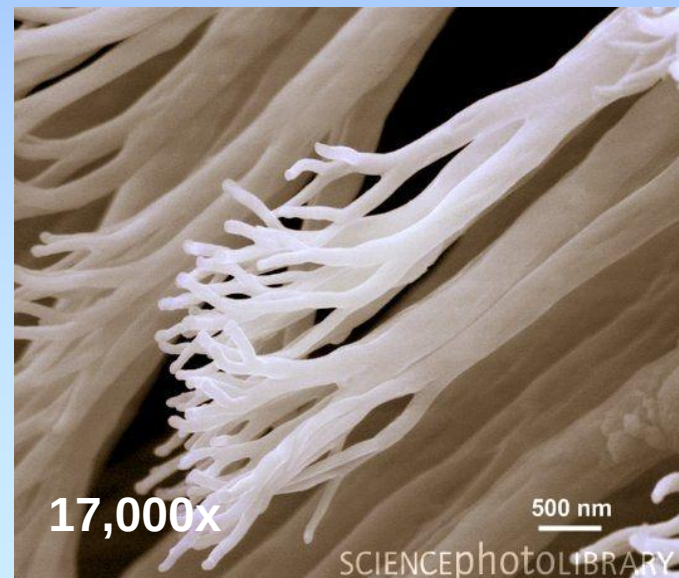
Nanostrukturierte Oberflächen in der Natur

Die Farben von Schmetterlingsflügeln entstehen durch die nanostrukturierte Oberfläche, nicht durch Farbpigmente.



Nanostrukturierte Oberflächen in der Natur

Nanostrukturierte Füße des Geckos ermöglichen exzellente Klettereigenschaften.



Nanostrukturierte Oberflächen in der Natur

Van-der-Waals Kräfte lassen den Gecko an der Oberfläche kleben.

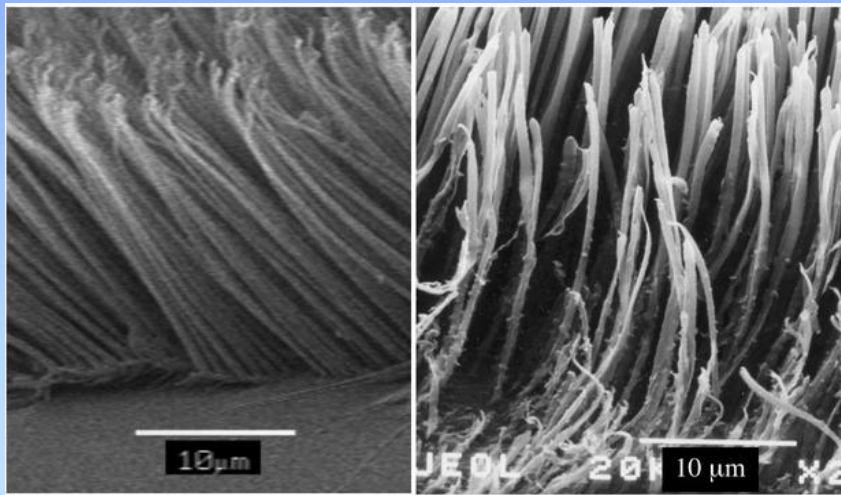


Public Broadcasting Station, „Smart Materials“

Biomimetik – Lernen von der Natur

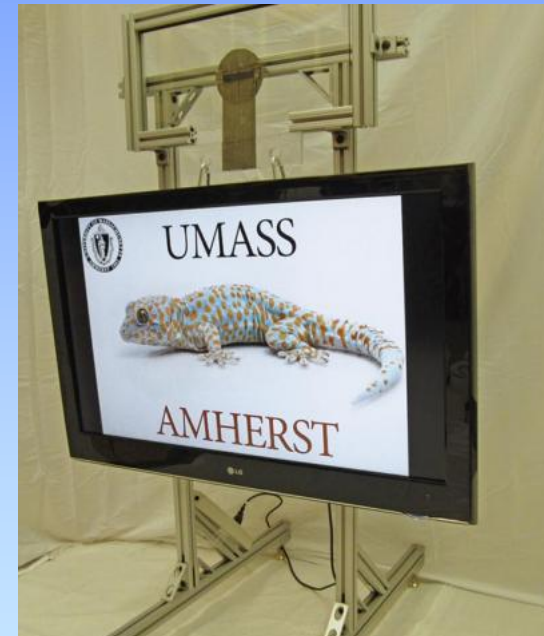
Klebeband („Gecko-Tape“) nach Vorbild des Geckos:

- **Starke Haftung („Anisotrop“, also richtungsabhängig)**
- **Reversibel (kann zerstörungsfrei entfernt werden)**
- **Wiederverwendbar**



Härchen am
Geckofuß

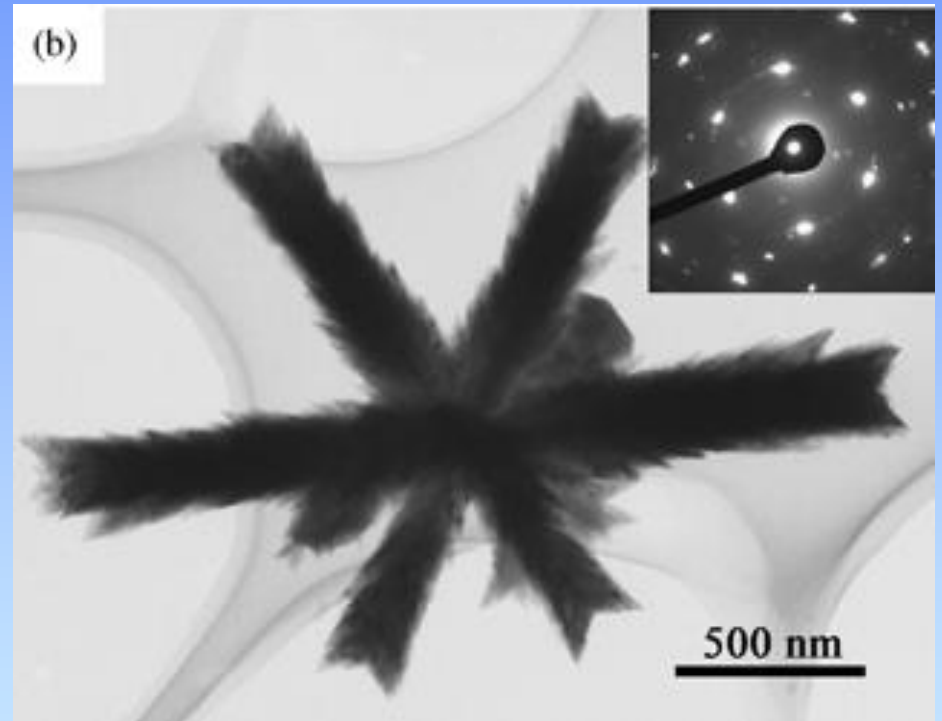
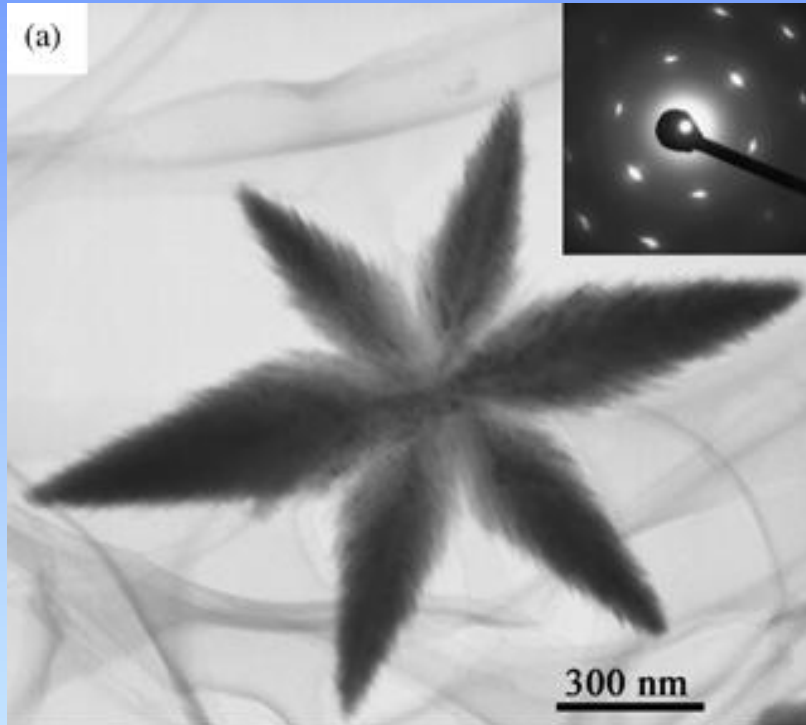
Synthetisch
nachgebildete
Geckohärchen



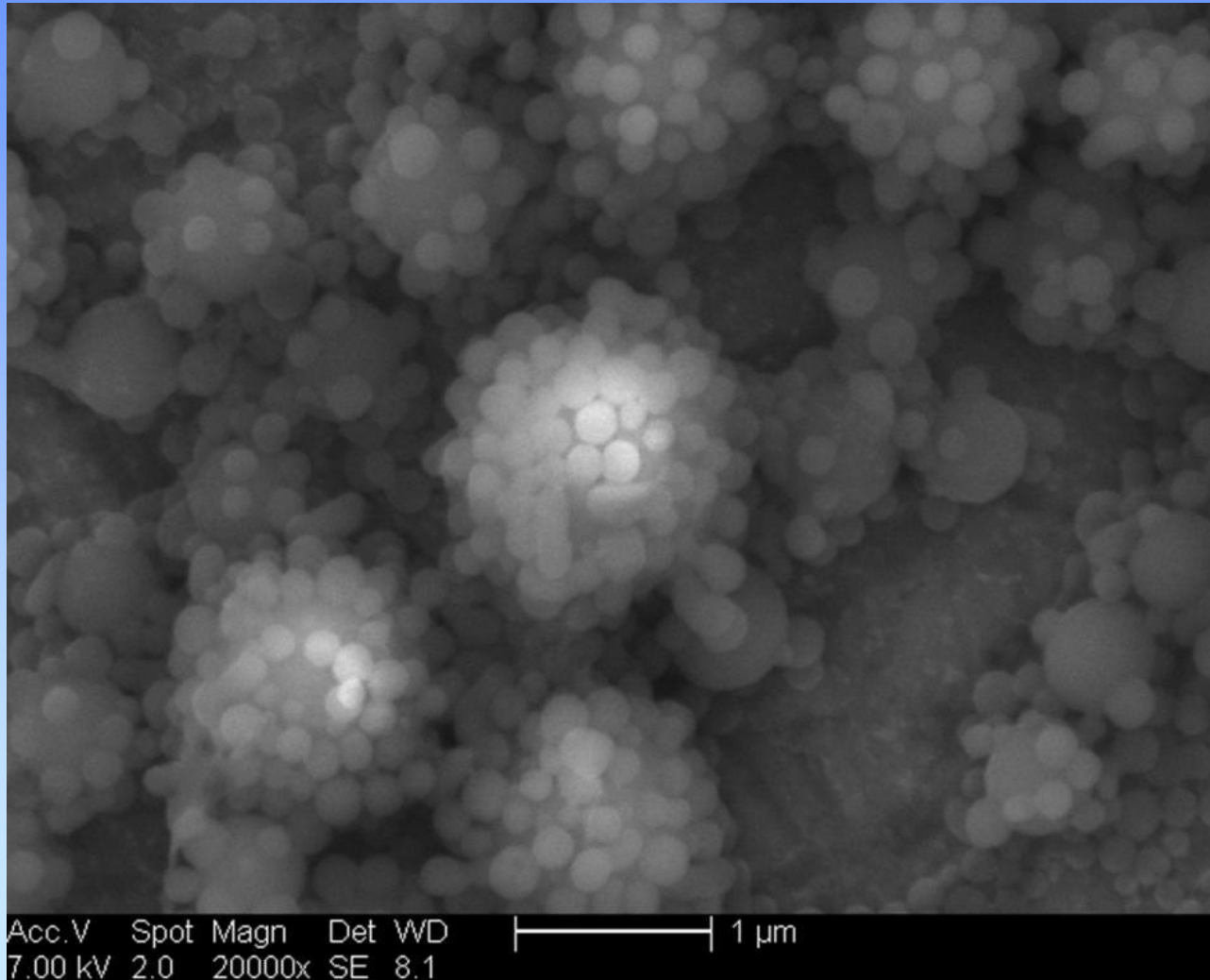
10 x 10 cm Gecko-Tape
Halten einen 42“-TV
auf Glas fest

Anorganische Nanopartikel

Sternförmige Anatas Nanokristalle



Organische Nanopartikel mit Himbeerstruktur



I Nanopartikel und Kolloide - Definitionen

II Nanopartikel und Kolloide - Allgemeines

- a Brown'sche Molekularbewegung
- b Lichtstreuung
- c Theorien zur Kolloidstabilisierung (DLVO Theorie)
- d Oberflächenladung von Kolloiden (Zetapotential und Strömungspotential)
- e Einfluss von Salzen/Elektrolyten auf die Oberflächenladung
- f Koagulation, Aggregation, Ausflockung

III Synthese von Nanopartikeln

- a Physikalische Prozesse – „Break down“ Methoden
- b Chemische Prozesse – „Bottom up“ Methoden
- c Umsetzungen in der Gasphase (CVD, Flammenpyrolyse)

IV Industriell hergestellte Nanopartikel

- a Ruß („Carbon Black“)
- b Pyrogene Kieselsäure

V Sol-Gel Prozess

- a Grundlagen
- b Xerogele und Aerogele

VI Organische Nanopartikel

- a Latexpartikel und Dispersionen

VII 3-dimensional nanostrukturierte Materialien

- a Nanoporöse Materialien
- b Nanokristalle
- c Core-shell Partikel
- d Nanokapseln

VIII Nano TiO_2

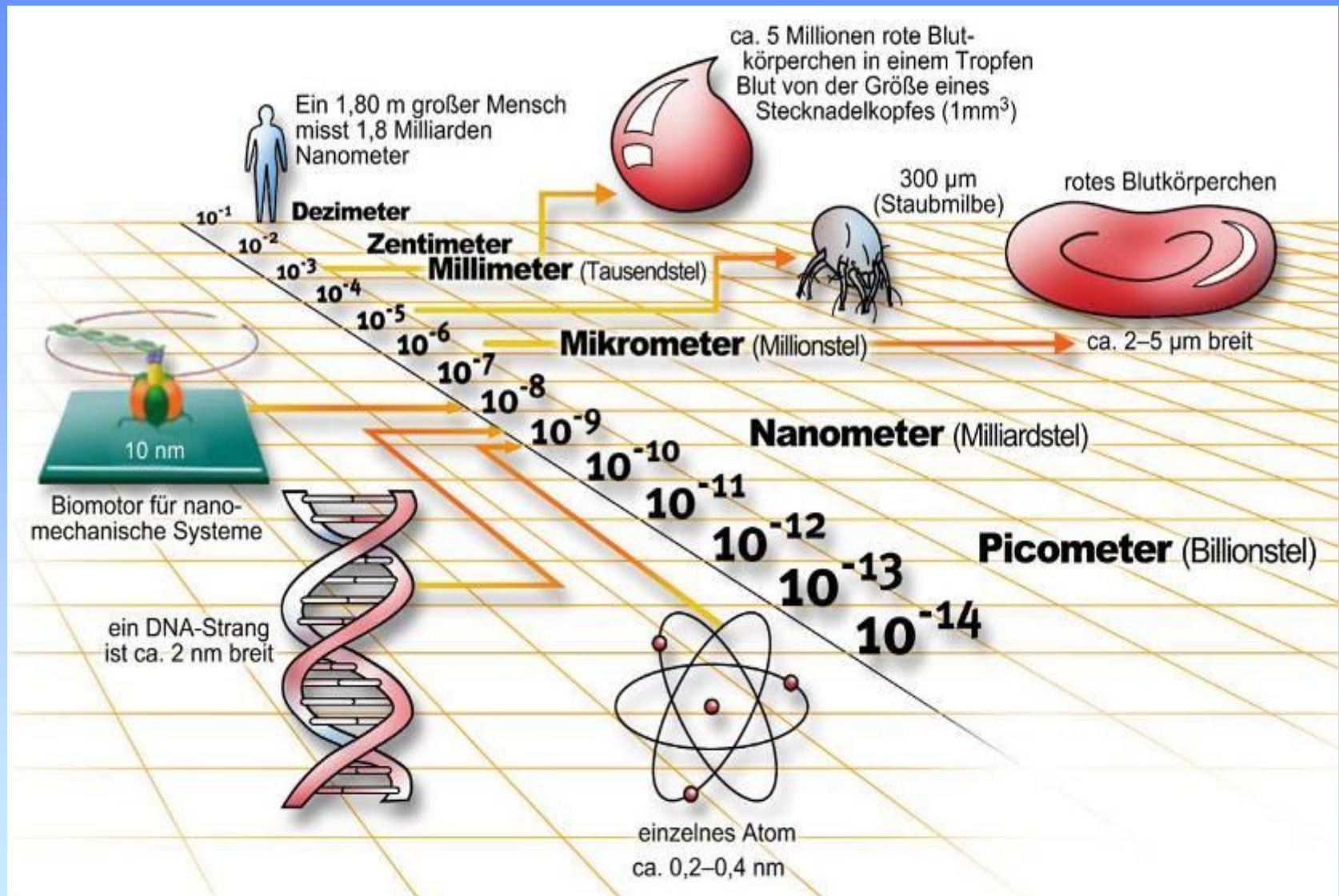
- a Photokatalyse
- b Superhydrophile Eigenschaften
- c Nanostrukturierte selbstreinigende Oberflächen

IX Carbon Nanotubes

- a SWCTs, DWCTs, MWCTs
- b Self-assembly von CNTs
- c Kristallartige CNTs

X SiO_x Nano Wires

Kolloide und Nanopartikel



Verschiedene Größenklassen im Vergleich

Definition von Kolloiden

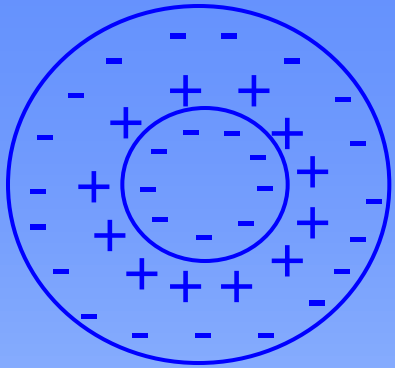
Thomas Graham (1805-1869, Präsident der Chemical Society of London) hat den Begriff „Kolloid“ geprägt.

Die Größenordnung von Kolloiden liegt zwischen der von Molekülen und derjenigen von makroskopisch erkennbaren Inhomogenitäten von Materie.

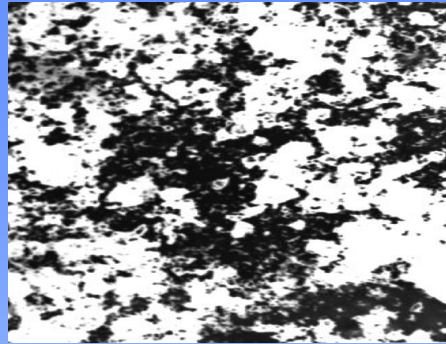
Typische Größen: 1 – 500 nm

Kolloidwissenschaften beschäftigen sich mit kolloidalen Partikeln, deren Herstellung, Eigenschaften und **Grenzflächen**.

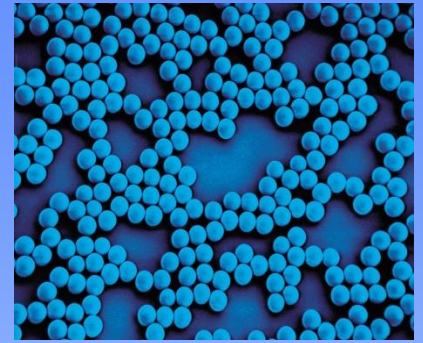
Typische Kolloidsysteme



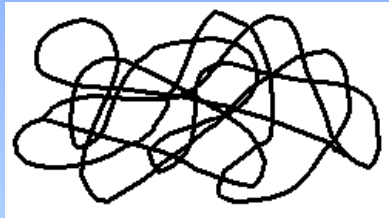
Dispersionskolloid



Zementleim



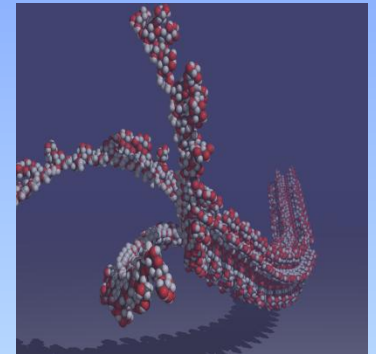
Latex-Dispersion



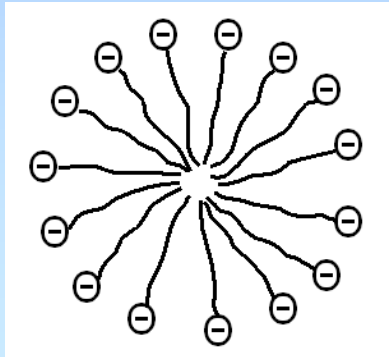
Molekülkolloid



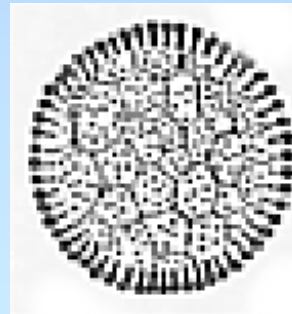
Methylcellulose



Xanthan gum

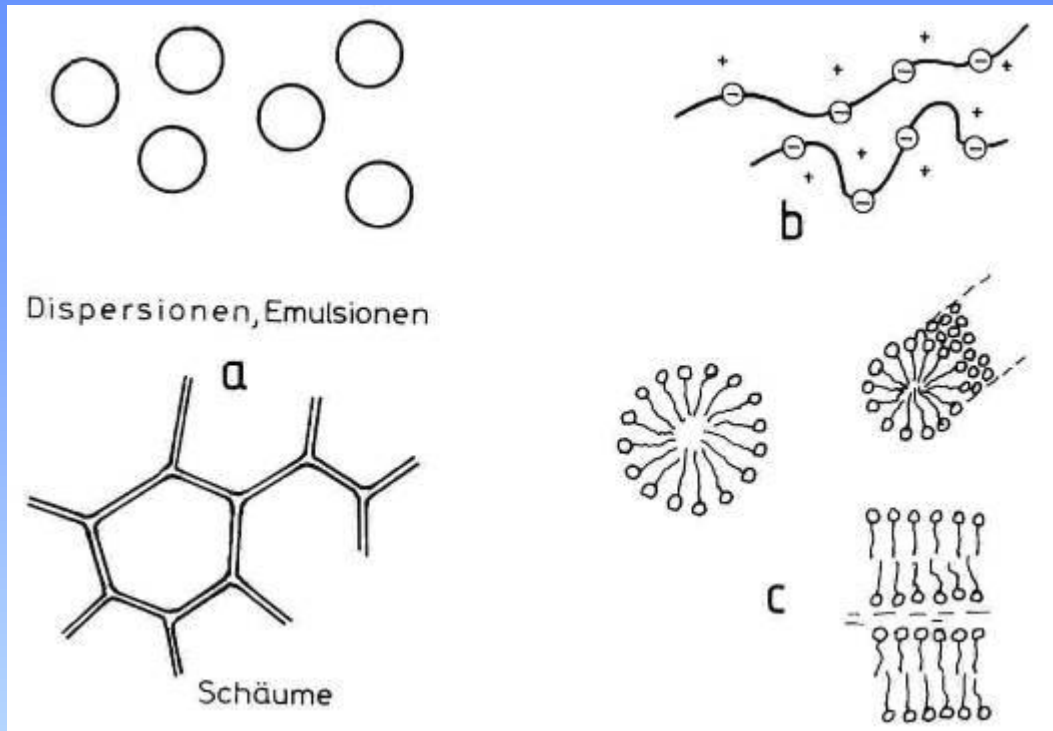


Assoziationskolloid



Emulgator-Mizellen

Arten von Kolloidsystemen



3 Arten von kolloidalen Systemen:

a Zweiphasensysteme (Emulsionen, Dispersionen)

b Makromoleküle in Lösung (Polymere)

c Assoziationskolloide

Beispiele von Kolloidsystemen im Alltag

Kontinuierliche Phase	Disperse Phase	Bezeichnung
gasförmig	flüssig	Aerosol (flüssiger Teilchen), Dunst, Nebel
gasförmig	fest	Aerosol (fester Teilchen), Rauch
flüssig	gasförmig	Schaum
flüssig	flüssig	Emulsion
flüssig	fest	Dispersion (Sol, Suspension, Schlicker, Paste)
fest	gasförmig	fester Schaum
fest	flüssig	feste Emulsion
fest	fest	festes Sol, fest-fest-Dispersion, Legierung

Zweiphasen Kolloidsysteme

Beispiele: Milch, Mayonnaise, Bailey's
Wässrige Ton- oder Zementsuspensionen
Kolloidales Gold (Rubinglas)
Zeolithe
Dispersionsfarben

Definitionen von Nanopartikeln

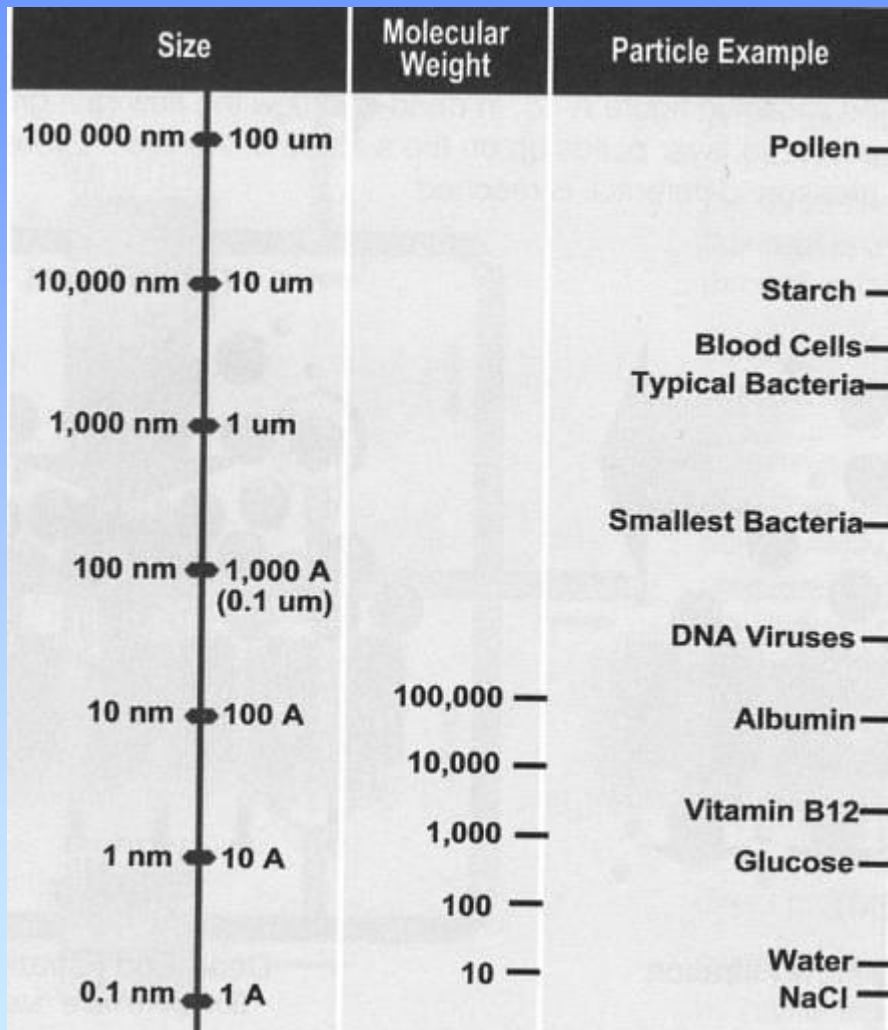
3 Definitionen:

a) Partikel im Größenbereich 1 - 1000 nm

b) Partikel im Größenbereich 1 - 100 nm

c) Partikel in einem Größenbereich, in dem eine diskontinuierliche Änderung der Eigenschaften mit der Größe eintritt
= „Quantum Size Effekt“

II Verhalten von Kolloiden und Nanopartikeln



Partikeldurchmesser/nm	Totale Anzahl an Atomen	Anteil an Oberflächenatomen/%
20	250 000	10
10	30 000	20
5	4 000	40
2	250	80
1	30	99

Zunahme des **Anteils von Oberflächenatomen** mit abnehmender Partikelgröße

Oberflächenatome weisen ungesättigte Bindungen bzw. Koordinationssphären auf, verhalten sich anders als Atome im Inneren des Teilchens

Folge:

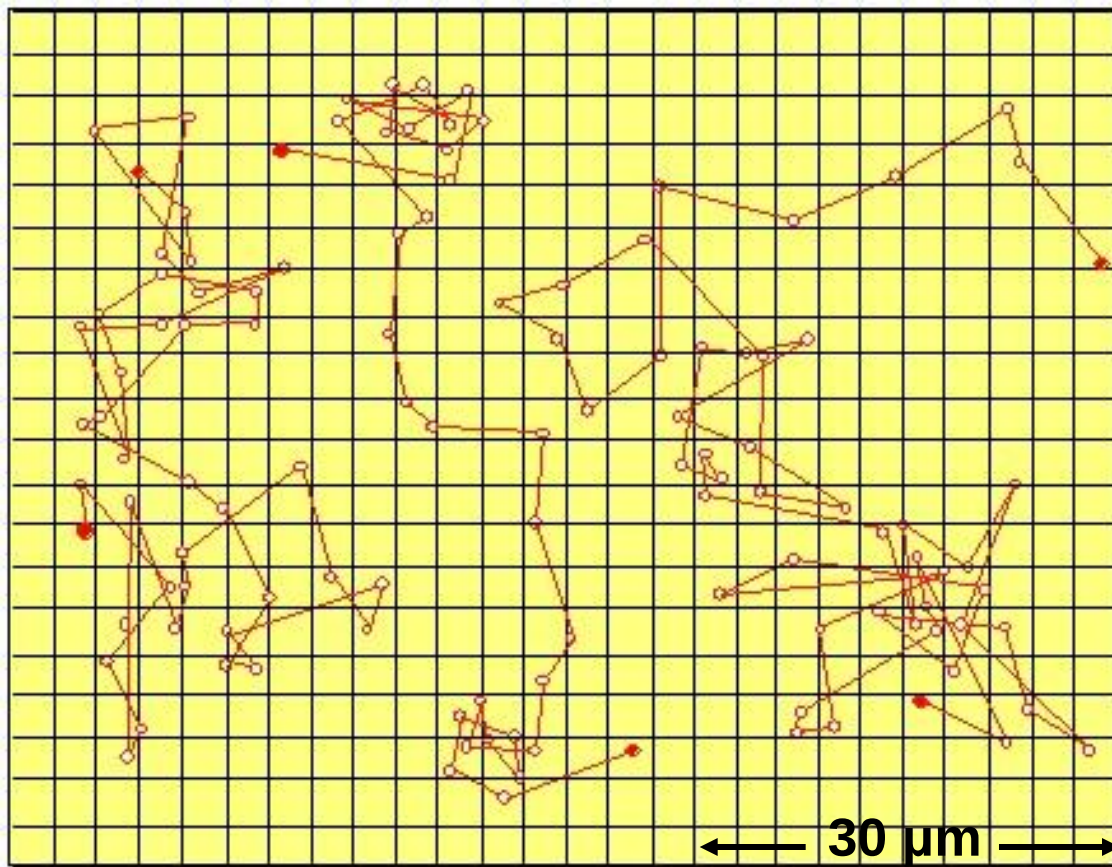
Das chemisch-physikalische Verhalten des Teilchens ändert sich grundlegend

Größenvergleich

Brown'sche Molekularbewegung

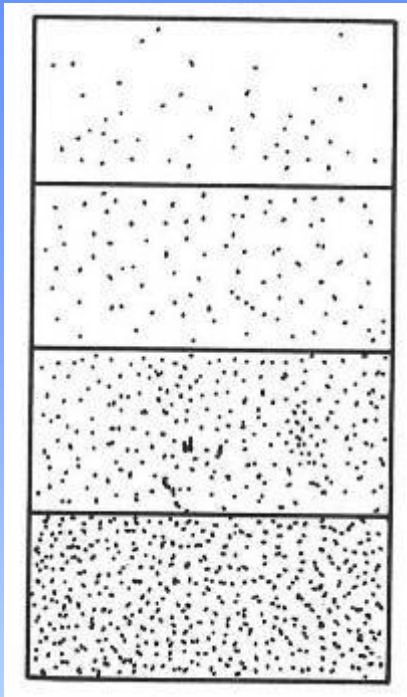
Brown'sche Molekularbewegung:

Vom schottischen Botaniker Robert Brown im Jahr 1827 entdeckte, thermisch getriebene Eigenbewegung der Moleküle.



Spontane Bewegung kolloidalen Teilchen unter dem Mikroskop

Diffusion und Sedimentation



Teilchen unterschiedlicher Größe
(Gleichgewicht zwischen Sedimentation und Brown'scher Molekularbewegung)

TAB. 2 TEILCHENBEWEGUNG UND SEDIMENTATION FÜR KUGELFÖRMIGE PARTIKEL [28].

Partikel-durch-messer/ μm	Mittlerer Fortbewegungs-radius durch Brownsche Bewegung/ μm	Wegstrecke durch gravitative Sedimentation / μm
0,1	2,358	0,005
0,5	1,052	0,138
1,0	0,745	0,554
5,0	0,334	13,848
10,0	0,236	55,398

zugrundeliegende Daten: Zeitdauer 1 s, Partikeldichte 2000 kg/m³, Medium: Wasser 21 °C

Sedimentationsgleichgewicht feiner Teilchen

$$d \ln c_i = \frac{-M_i \cdot g \cdot dh}{RT}$$

c= Konzentration

M= Molmasse

g= Erdbeschleunigung

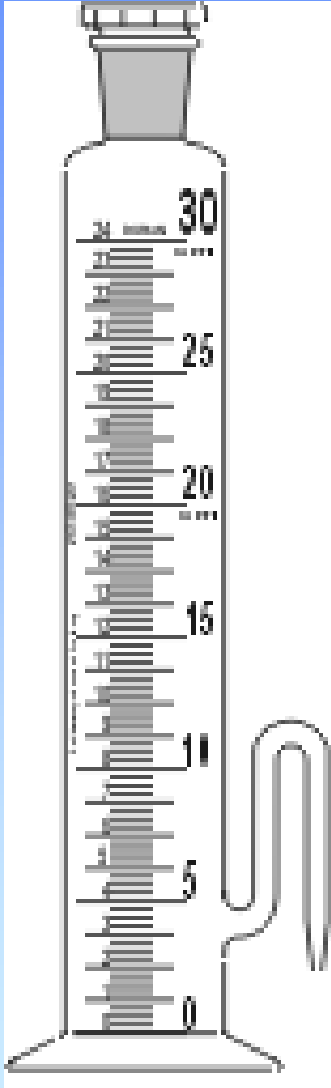
h= Höhe

R= Gaskonstante

T= Temperatur

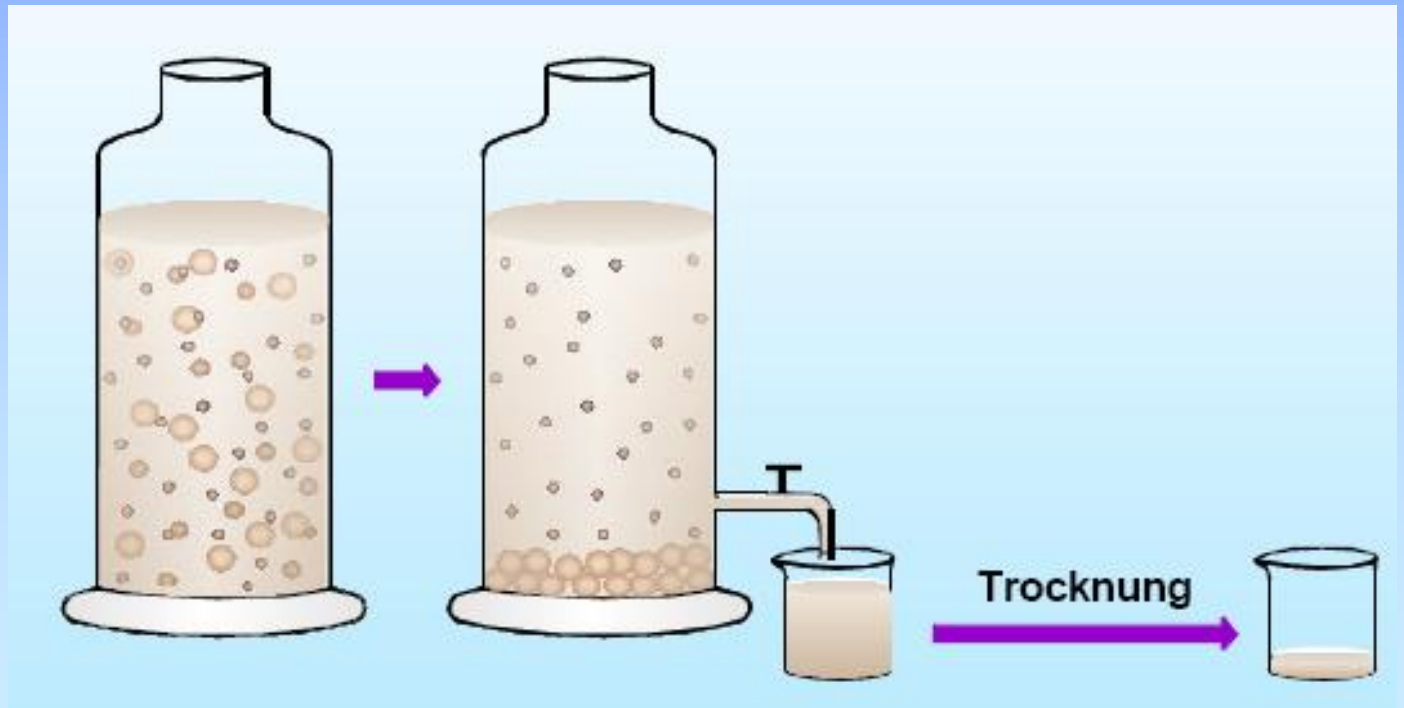
Brown'sche Molekularbewegung - Anwendung

Anwendung der Brown'schen Molekularbewegung für die Analytik



Atterberg-Analyse von Tonen (Atterberg-Zylinder)

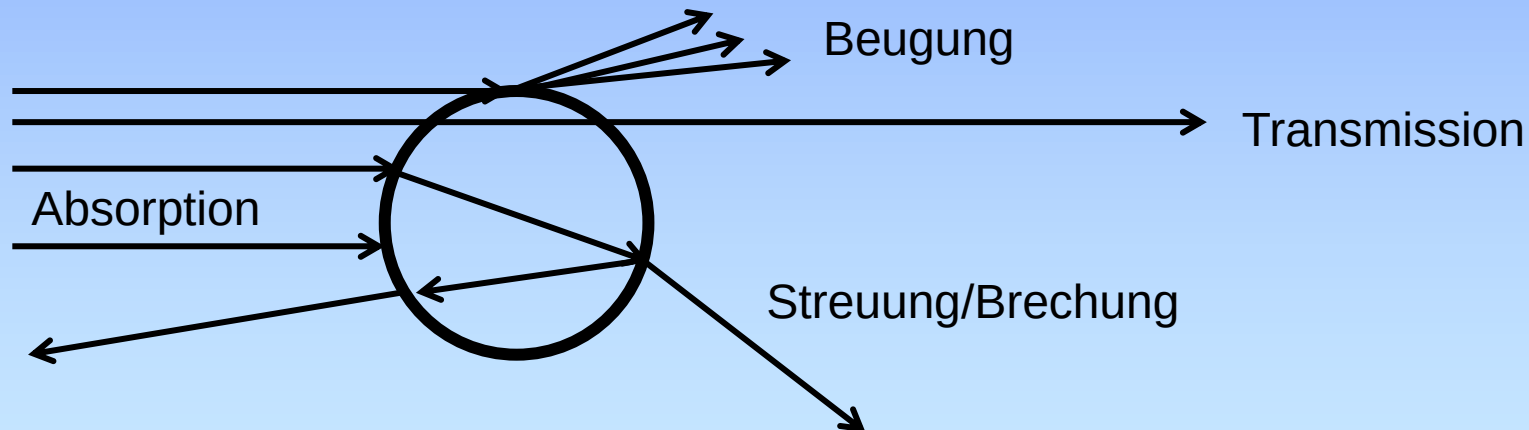
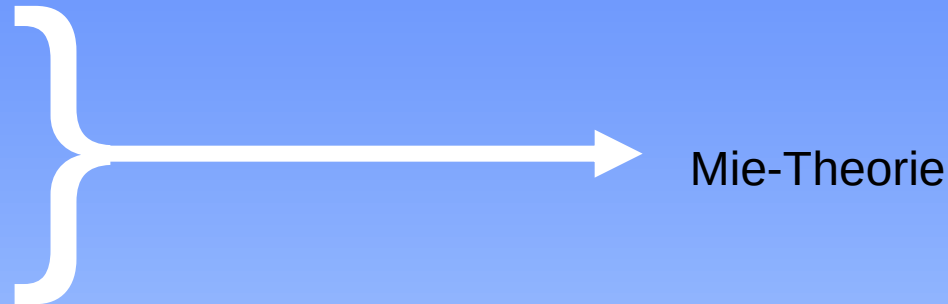
Dynamische Lichtstreuung
(Photonenkorrelationsspektroskopie)



Lichtstreuung

Wechselwirkung von Teilchen mit Licht:

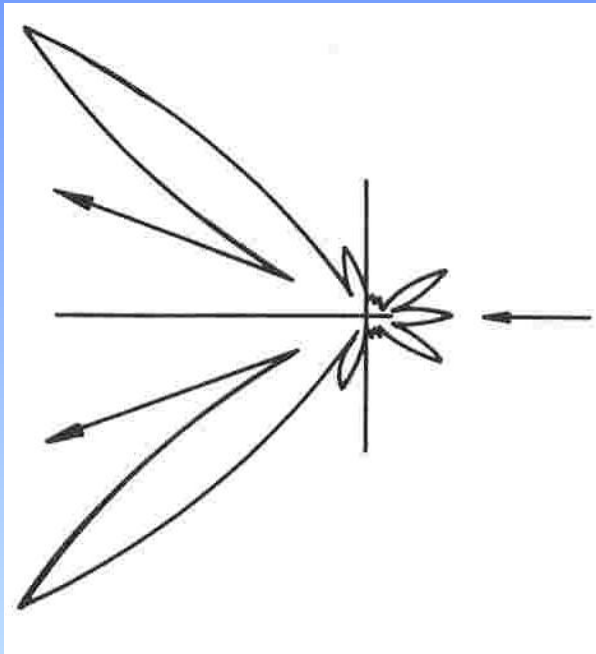
- a Absorption
- b Transmission
- c Streuung
- d Brechung
- e Beugung



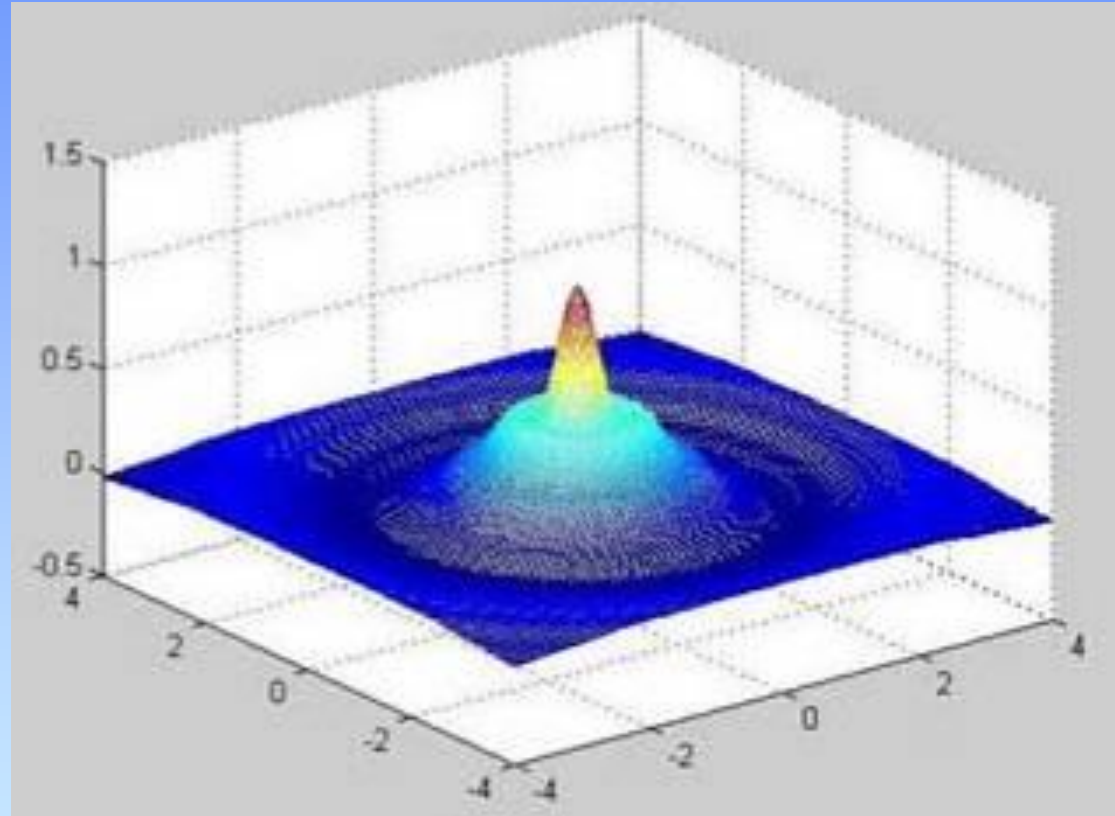
G. Mie, Ann. Phys. (Leipzig) 330 (1908), 377.

Lichtstreuung

In kolloidalen Systemen gilt: Partikelgröße $\sim$ Wellenlänge des Lichts
→ Streuung hat größte Bedeutung



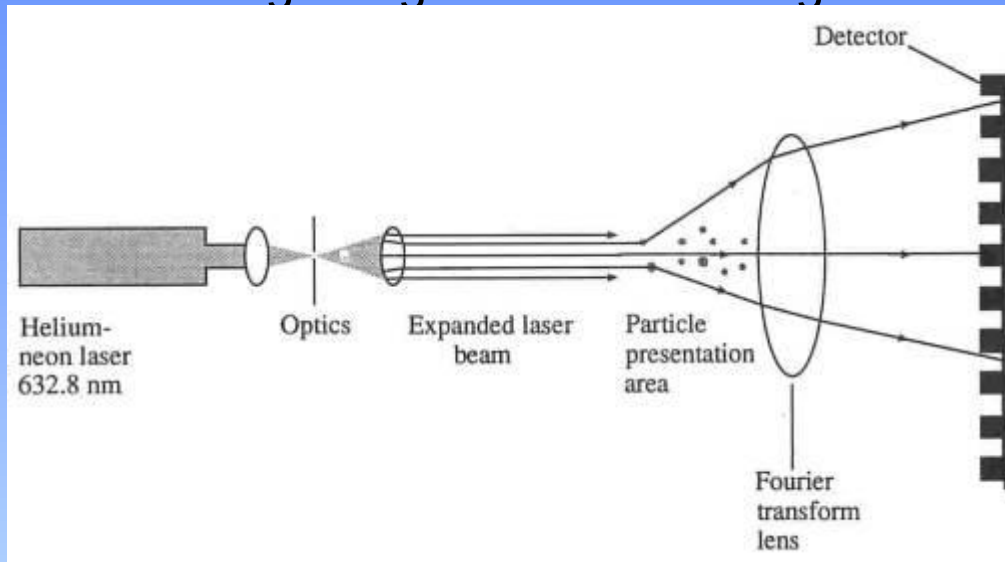
Berechnetes Streulicht-
muster eines runden
Teilchens nach Mie-Theorie



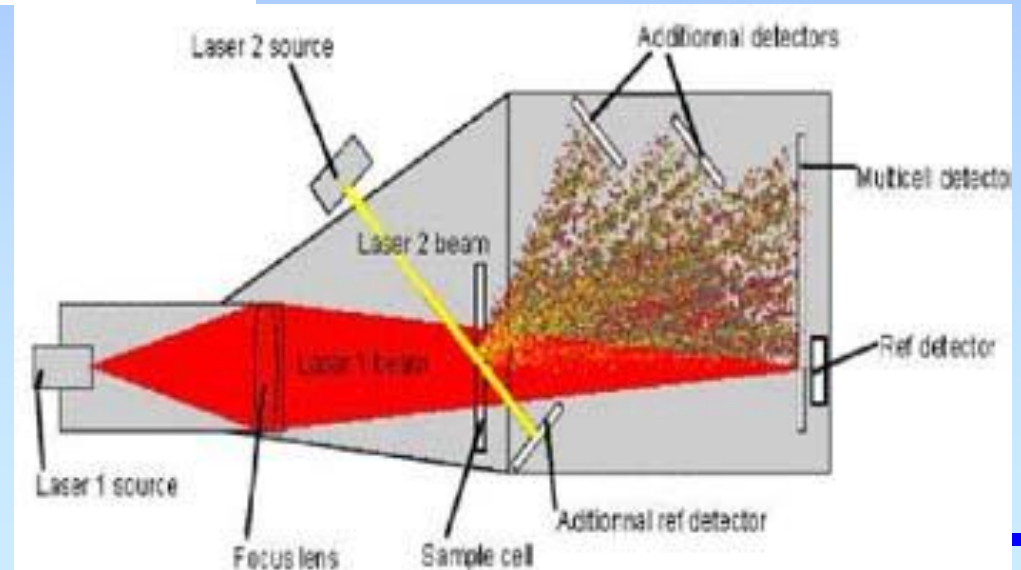
3D-Streulichtmuster eines
Partikelgemisches

Lichtstreuung

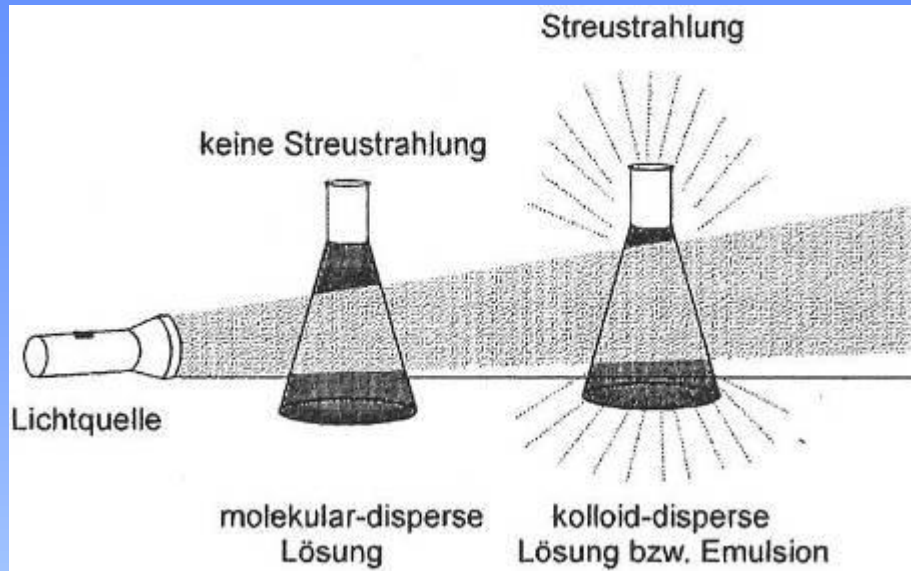
In kolloidalen Systemen gilt: Partikelgröße $\sim$ Wellenlänge des Lichts
→ Streuung hat größte Bedeutung



Schematischer Aufbau eines
Lasergranulometers



Lichtstreuung: Tyndall-Effekt



Versuch: Tyndall-Effekt