

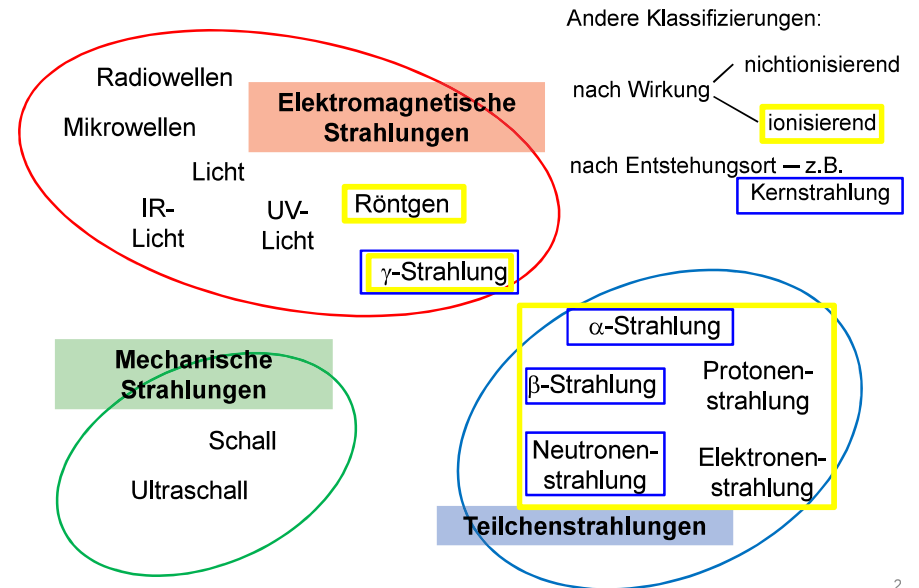
Medizinische Biophysik 11. Vorlesung

Strahlungen
Strukturuntersuchungsmethoden in der Medizin

Strahlungen

1. Gemeinsame Eigenschaften
2. Elektromagnetische Strahlungen
3. Teilchenstrahlungen
4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

Strahlungen in der medizinischen Praxis



1

2

1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung = Energietransport ! (Strahlungsintensität (J), ...)
- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

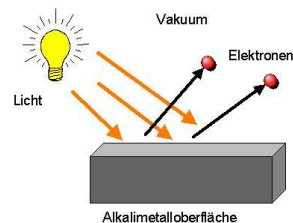
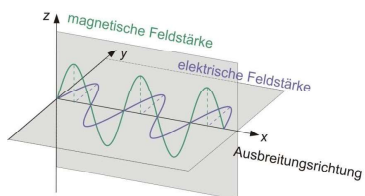
2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Vakuum})$$

elektromagnetische Welle

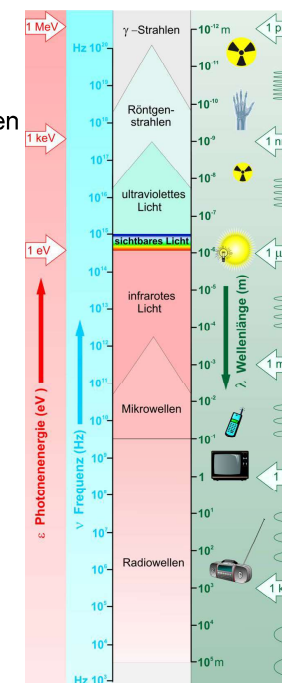
$$\varepsilon = h \cdot f$$



3

7 Bereiche:

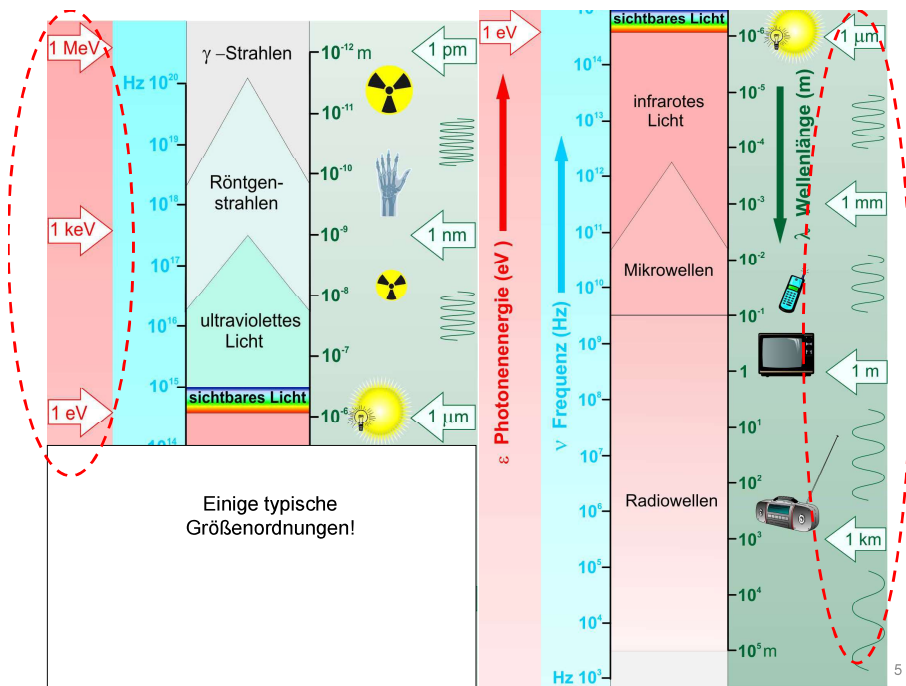
- γ-Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



Anwendungsbeispiele:

- Gamma-Messer
- Röntgendiagnostik
- UV-Phototherapie
- Mikroskopie/Sehen
- Infrarotdiagnostik
- MRI

4



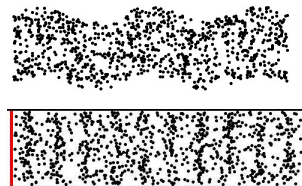
4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{in der Luft})$$

$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

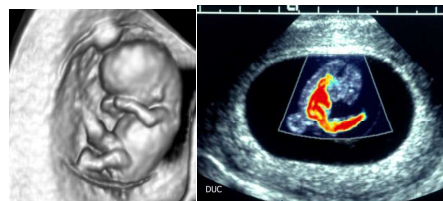


- transversale/longitudinale Wellen

3 Bereiche:	Infraschall	–	Hörschall	–	Ultraschall
	< 20 Hz		20 Hz – 20 kHz		20 kHz <

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören




7

3. Teilchenstrahlungen


- Teilchen (α , β , e^- , e^+ , p^+ , n^0 , ...)

- Materiewellen



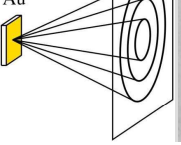
de Broglie (1923): Materiewellen

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

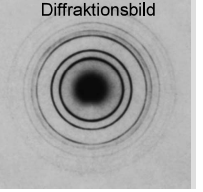


Davisson & Germer (1927): Elektronenbeugungsexperiment

Elektronenstrahl



Schirm



Diffraktionsbild

6

- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie

Struktur Untersuchungsmethoden in der medizinischen Forschung

1. Spektroskopische Verfahren

- Fluoreszenzspektroskopie ✓
- Absorptionsspektroskopie (UV-VIS) ✓
- Infrarotspektroskopie

2. Mikroskopie

- Lichtmikroskop ✓
- Spezielle Lichtmikroskope (Stereo-, Polarisations-, Phasenkontrast-, Fluoreszenzmikroskop)
- Superresolutionsmikroskope
- Rastersondenmikroskope (SPM; STM, AFM), Piezoelektrizität
- Elektronenmikroskope (TEM, SEM)

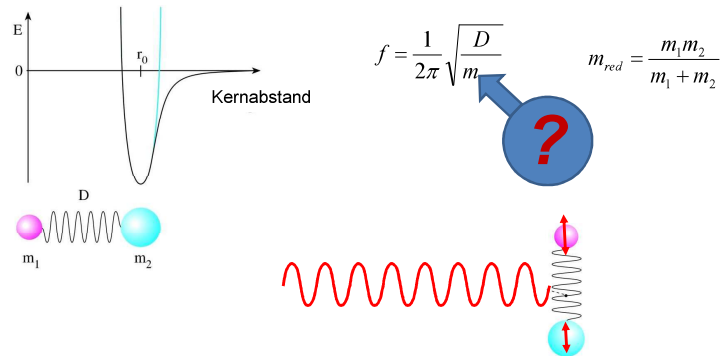
3. Diffraktionsmethoden

- Röntgendiffraktion
- Elektronendiffraktion
- Neutronendiffraktion

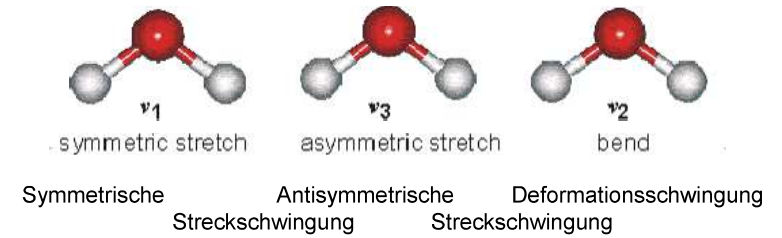
8

Infrarotspektroskopie

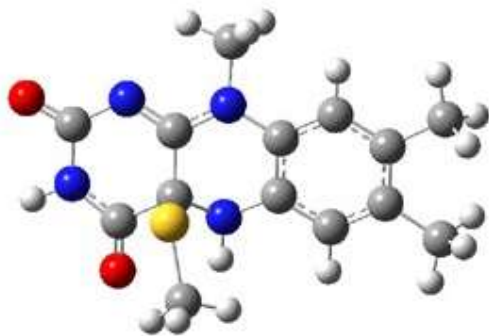
- Infrarotes Licht: $\lambda=800 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$
Mittleres Infrarot: $2,5\text{-}50 \mu\text{m}$
- Absorptionsspektroskopie
- Das absorbierte Licht induziert Molekülschwingungen
- Besonders empfindlich für die Molekülstruktur



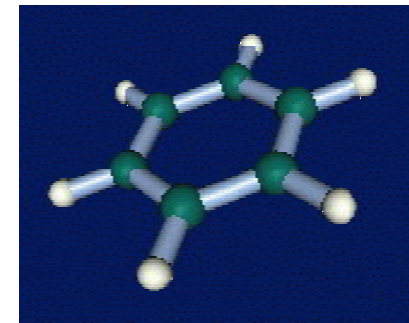
Mehratomige Moleküle: Die Schwingungen des Wassers



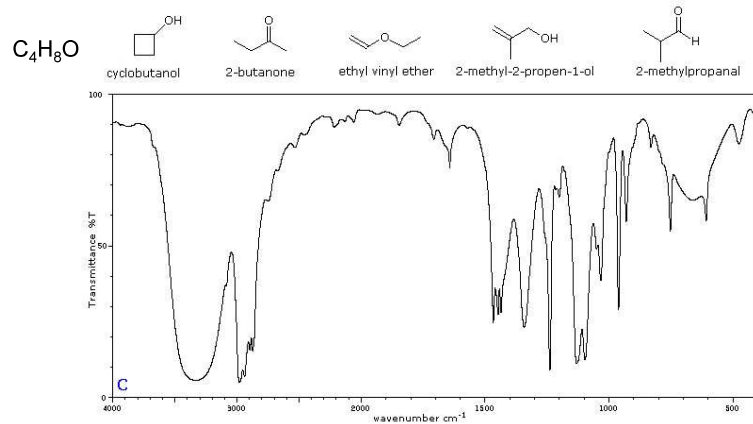
Weitere Beispiele: Flavin



Weitere Beispiele: Benzol



Anwendung: Identifizierung der Moleküle, Beweisung des Raumstruktures



<http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/InfraRed/infrared.htm>

14

Typische Abmessungen von einigen Objekten



15

Mikroskopische Methoden



2. Mikroskopie

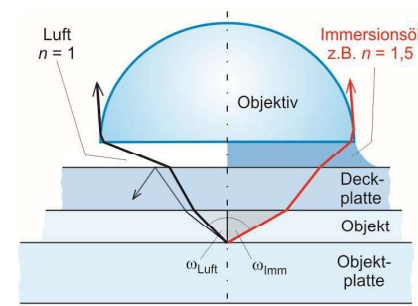
a) Lichtmikroskop ✓

b) Spezielle Lichtmikroskope

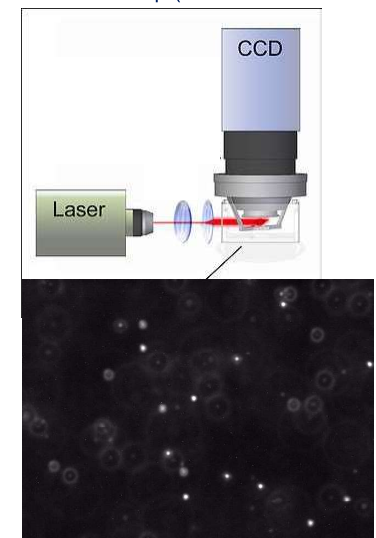
■ Immersionsobjektiv

Zur Erinnerung!

■ Ultramikroskop (Dunkelfeldmikroskop)

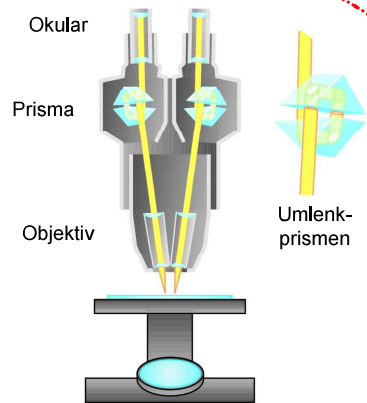


$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$



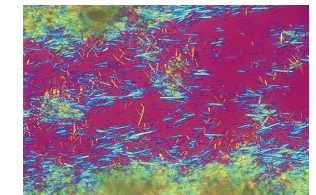
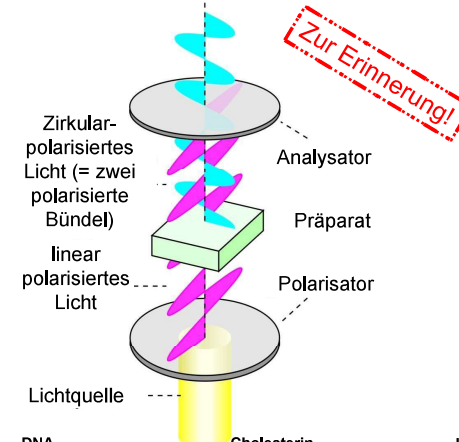
16

■ Stereomikroskop

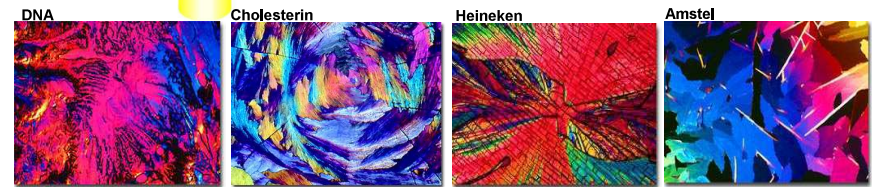


17

■ Polarisationsmikroskop

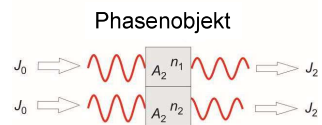
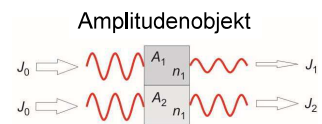


Polarisationsmikroskop

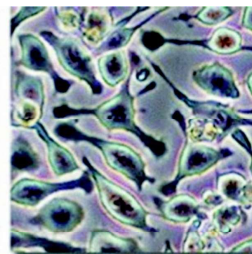
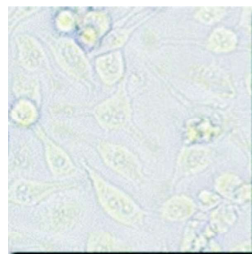


18

■ Phasenkontrastmikroskop



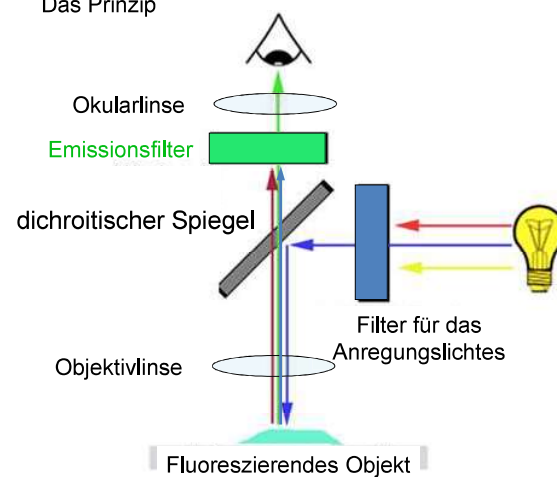
Gliahirnzellen



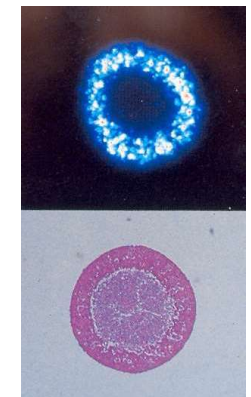
19

■ Fluoreszenzmikroskop

Epifluoreszenz-Anordnung:
Das Prinzip



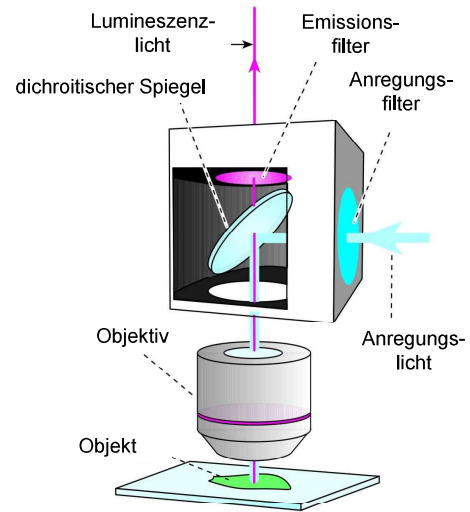
ATP-Verteilung
visualisiert mit Luciferin



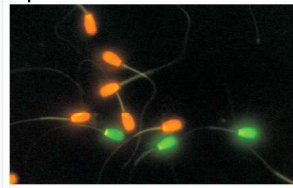
Konventionelle mikroskopische Aufnahme

Epifluoreszenz-Anordnung:

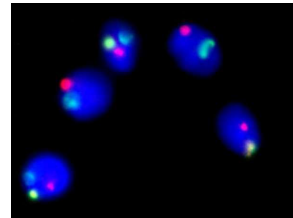
Die praktische Realisierung



Lebende und tote Spermien

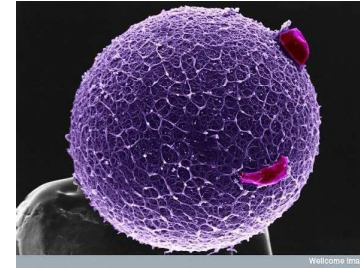


X und Y Chromosomen

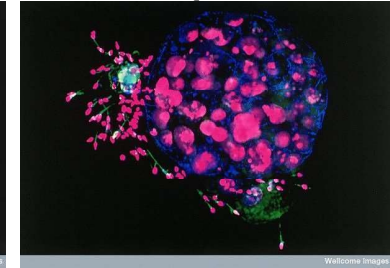


21

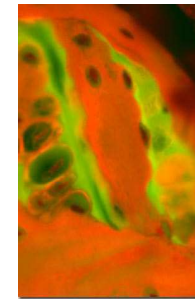
Eizelle



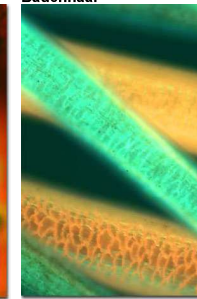
Eizelle nach Befruchtung



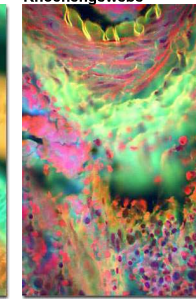
???



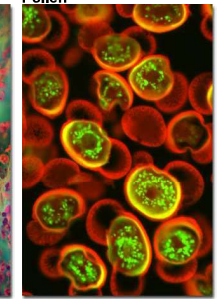
Bauchhaar



Knochengewebe

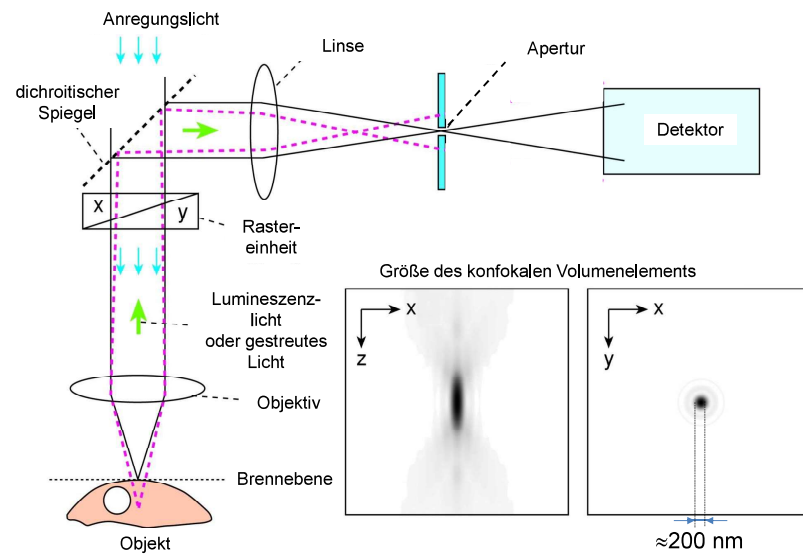


Pollen

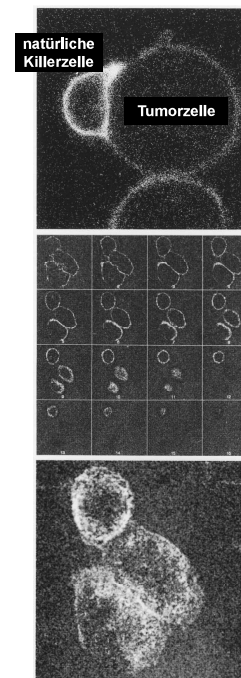


22

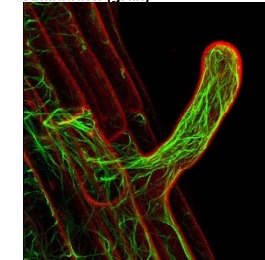
Konfokales Laser Rastermikroskop (CLSM)



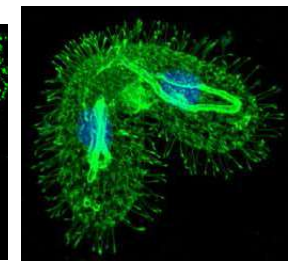
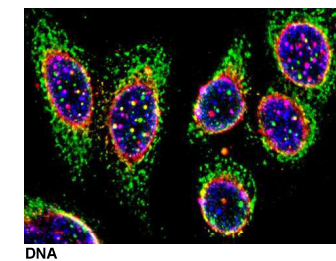
23



Aktinfaden (grün)



Aktinfaden (blau)



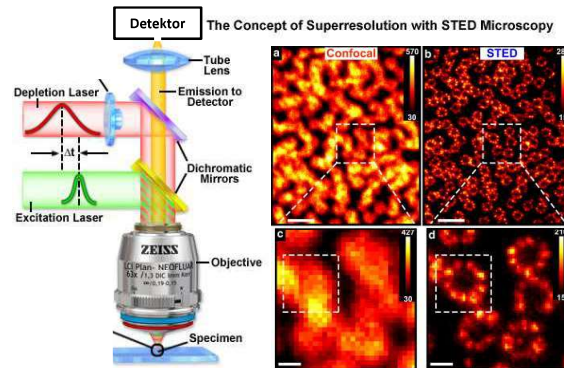
Mikrotubuli (grün)

24

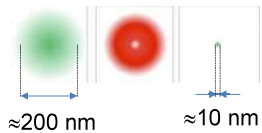
c) Superresolutionsmikroskopie. Beispiel: STED



Stefan W. Hell
Nobel Preis 2014
Semmelweis Award 2016



STED: Stimulierte Emission Depletion



Abbesche Grenze

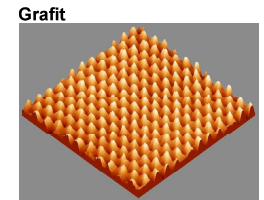
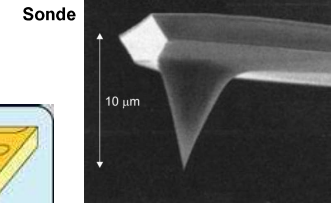
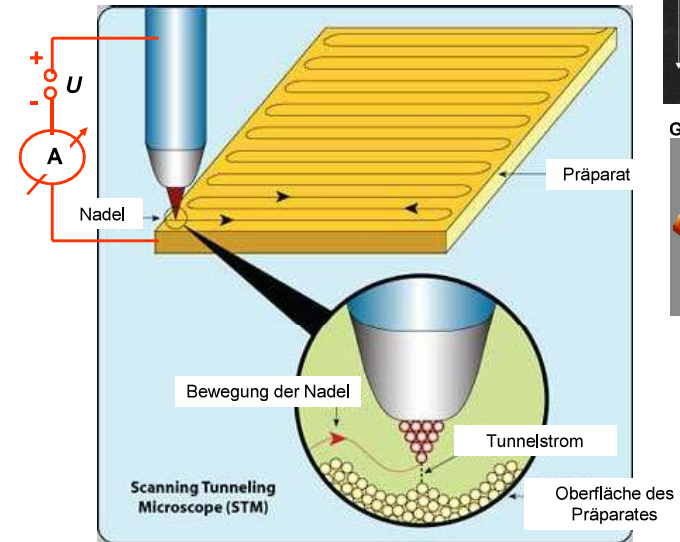
- Anregung
- Stimulierte Emission
- Fluorophore nur in sehr kleinen Raumteil emittieren
- Abtastung

Auflösung c.a. $10 \text{ nm} \ll 200 \text{ nm}$

25

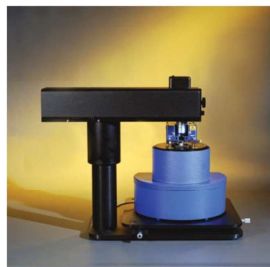
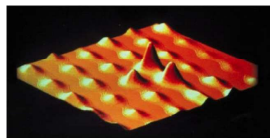
d) Rastersondenmikroskopie (SPM)

■ Rastertunnelmikroskop (STM)

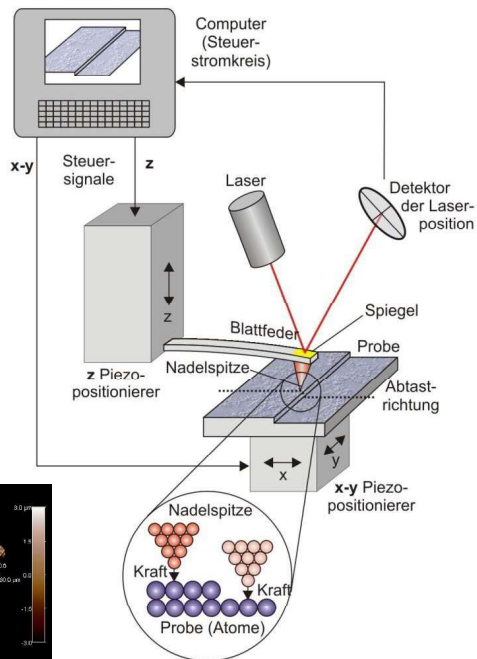
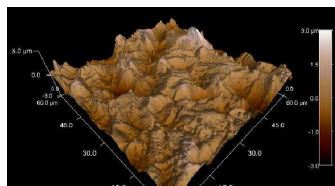


26

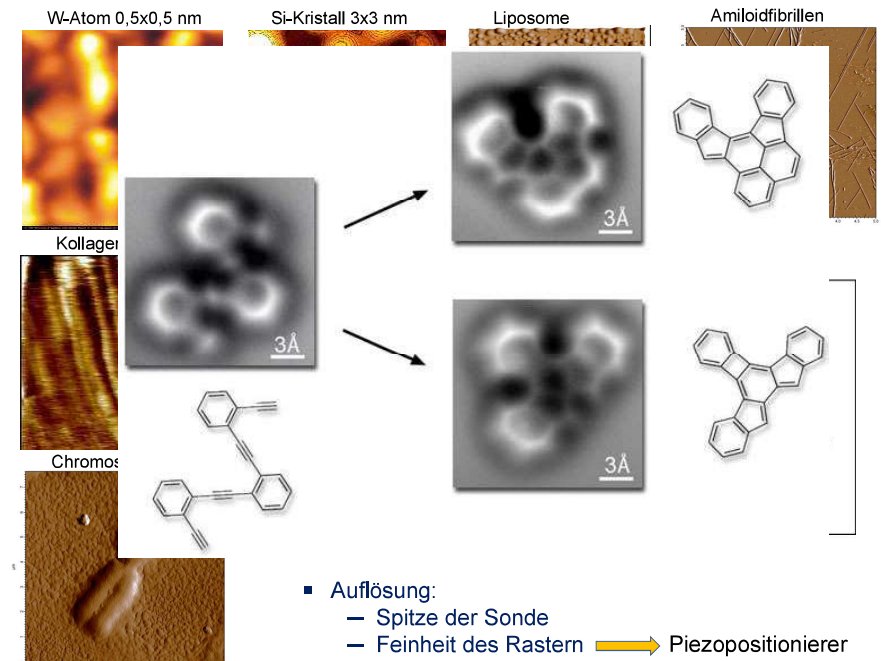
■ Rasterkraftmikroskop (AFM)



Titan-Oberfläche



27



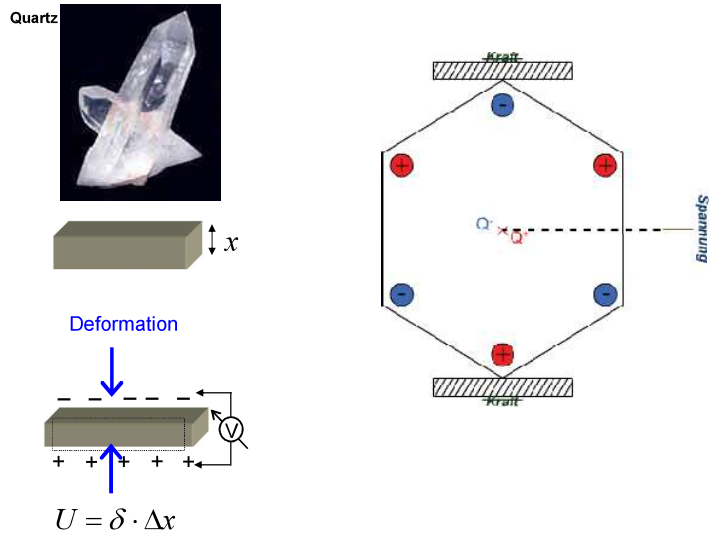
■ Auflösung:

- Spitze der Sonde
- Feinheit des Rastern \rightarrow Piezopositionierer

28

■ Piezoelektrizität (piezoelektrischer Effekt)

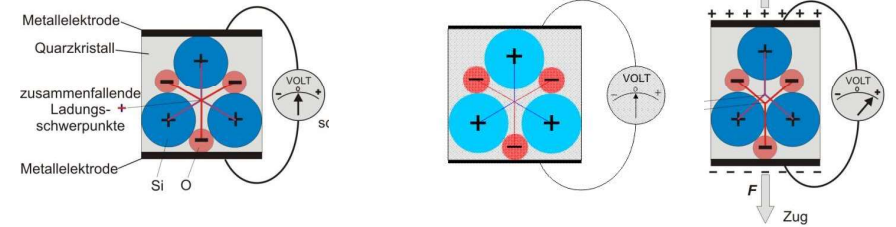
(s. später Sonographie)



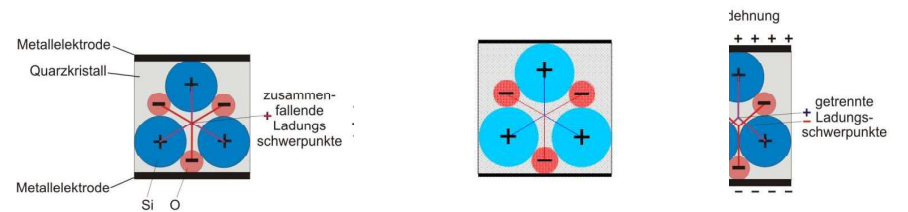
z.B für Quarz: $\delta \approx 10^{12} \text{ V/m}$

29

■ Direkter piezoelektrischer E



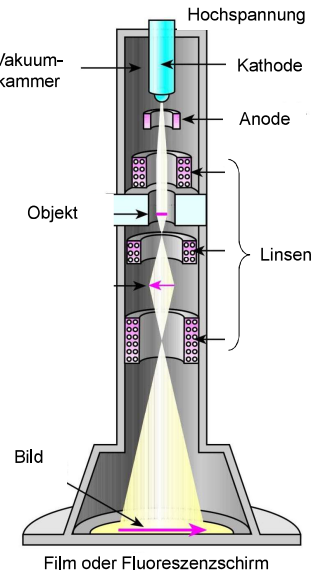
■ Inverser piezoelektrischer E



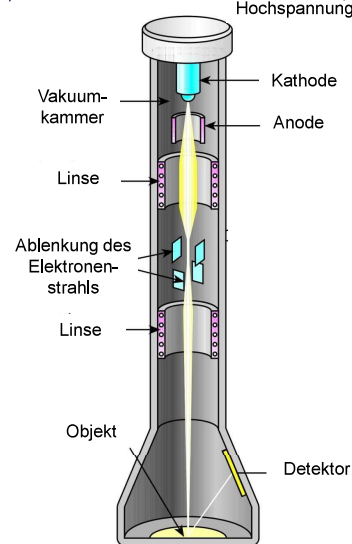
30

c) Elektronenmikroskope

■ Transmissionselektronenmikroskop (TEM)



■ Rasterelektronenmikroskop (SEM)



31

■ Auflösungsgrenze (δ):

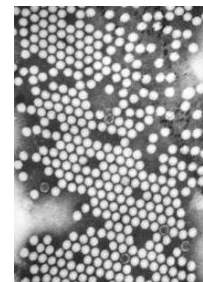
$$\delta \approx \frac{\lambda}{NA}$$

$$\lambda \approx 0,005 \text{ nm}$$

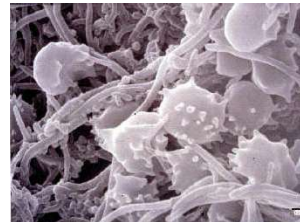
$$NA \approx 0,03$$

$$\delta \approx 0,2 \text{ nm}$$

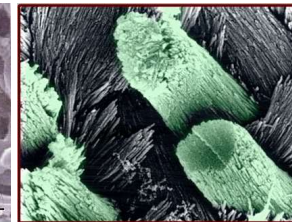
Viren der Kinderlähmung (TEM)



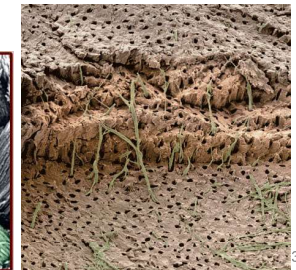
Zahnplaque (SEM)



Zahnschmelzprismen mit den Apatitkristallen (SEM)



Dentin mit den Odontoblasten (SEM)



32