

Medizinische Biophysik 11. Vorlesung

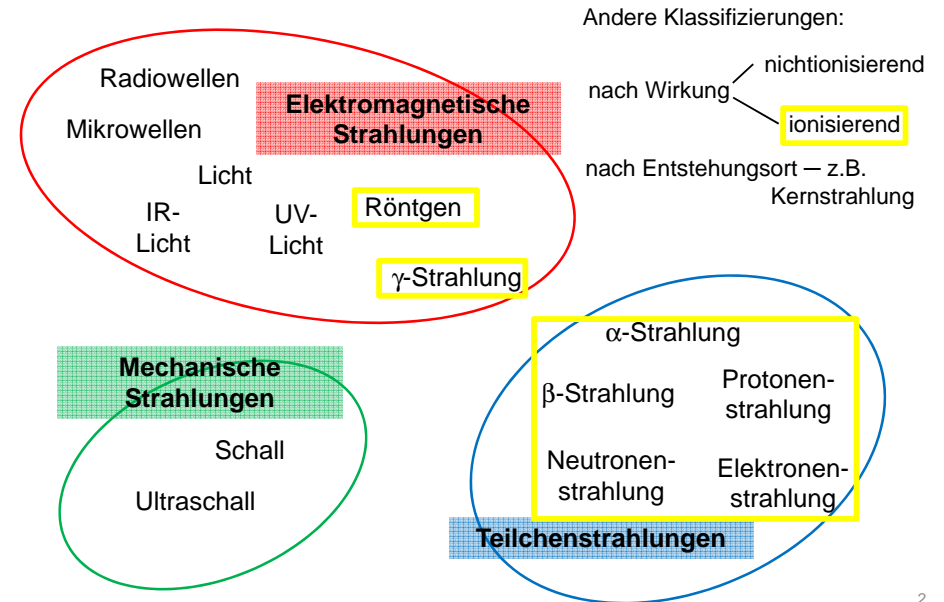
Strahlungen
Strukturuntersuchungsmethoden in der Medizin

Strahlungen

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

1

Strahlungen in der medizinischen Praxis



2

1. Gemeinsame Eigenschaften

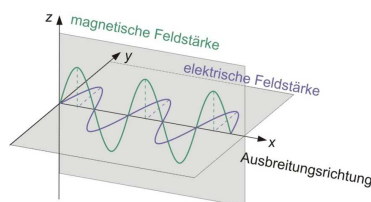
- Strahlung = Energietransport ! (Strahlungsintensität (J), ...)
- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

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

elektromagnetische Welle

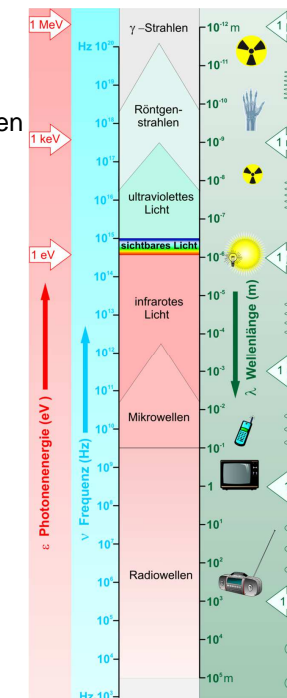


Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen
Diese Geschwindigkeit stimmt so gut mit der Lichtgeschwindigkeit überein, daß wir anscheinend allen Grund zur Annahme haben, das Licht (sowie die Wärmestrahlung, aber auch andere Strahlungen, wenn es solche gibt) sei eine elektromagnetische Störung, die sich in Form von Wellen durch das elektromagnetische Feld, den Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzt.
Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1859)

3

7 Bereiche:

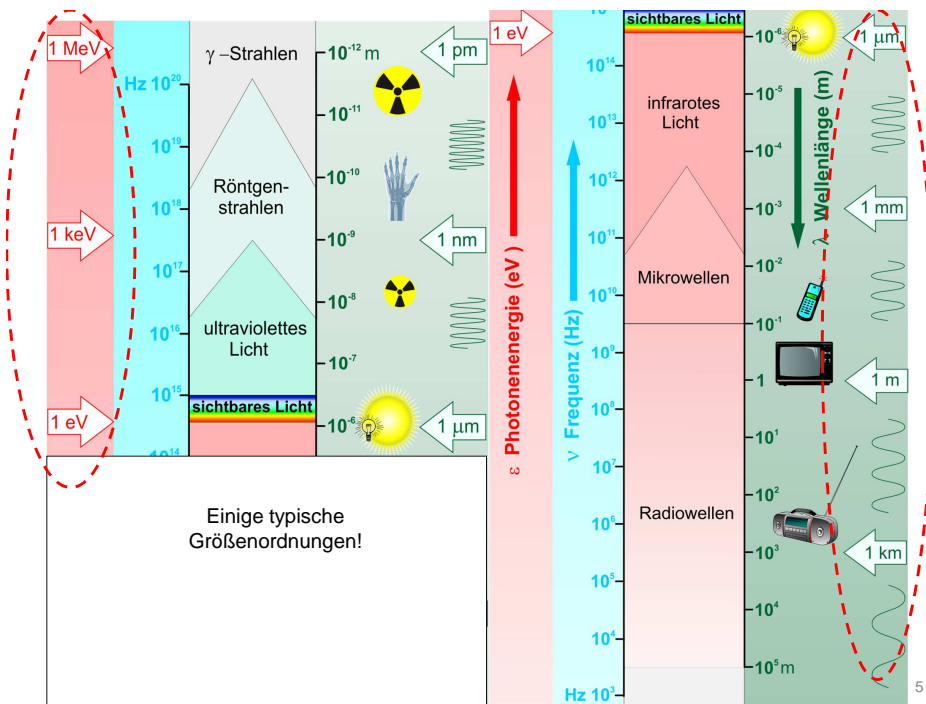
- γ-Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



Anwendungsbeispiele:

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

4



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

Schirm

Elektronenstrahl

Au

Diffractionsbild

- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie

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

- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

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

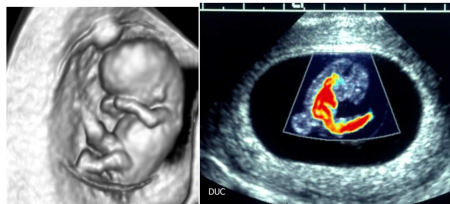
$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

- transversale/longitudinale Wellen

- 3 Bereiche:
- | Infraschall | Hörschall | Ultraschall |
|-------------|----------------|-------------|
| < 20 Hz | 20 Hz – 20 kHz | 20 kHz > |

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören



Strukturuntersuchungsmethoden in der medizinischen Forschung

1. Spektroskopische Verfahren

- Fluoreszenzspektroskopie ✓
- Absorptionsspektroskopie ✓



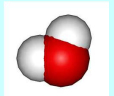


2. Mikroskopie

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

3. Diffraktionsmethoden

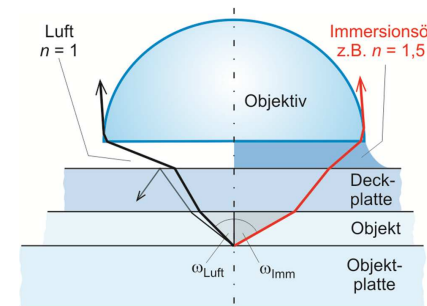
- Röntgendiffraktion
- Elektronendiffraktion
- Neutronendiffraktion

Typische Größen

m		
10^0	meter	Mann
10^{-3}	millimeter	Abstand der man mit Auge sehen kann
10^{-6}	mikrometer	Zelle (z.B. Blutkörpern)  $\varnothing 7\mu\text{m}$
10^{-9}	nanometer	Protein 
10^{-10}	– Angström	Durchmesser des Atoms, H Atom $\varnothing \approx 1 \text{ \AA}$ 
10^{-12}	pikometer	Wellenlänge der g-Strahlung 
10^{-15}	femtometer	Proton, Atomkern 

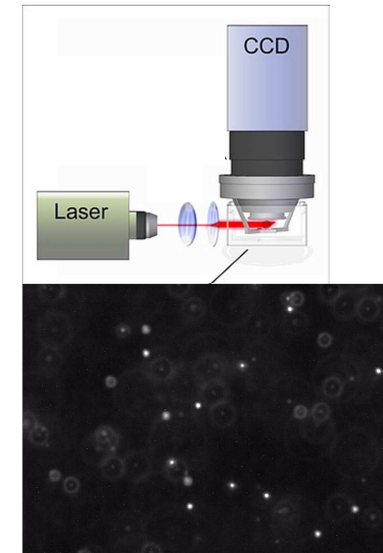
2. Mikroskopie

- a) Lichtmikroskop
- b) Spezielle Lichtmikroskope
 - Immersionsobjektiv



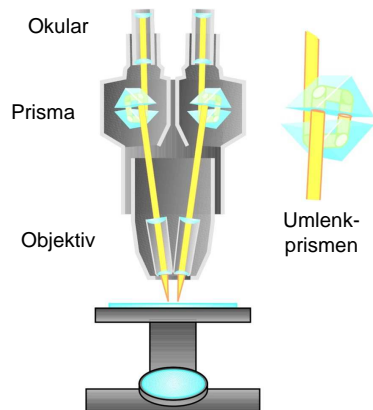
$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

- Ultramikroskop (Dunkelfeldmikroskop)



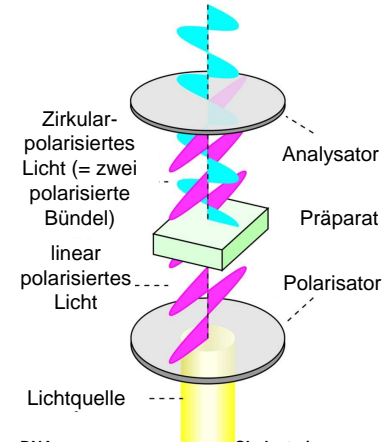
10

- Stereomikroskop

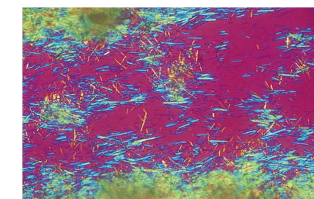


11

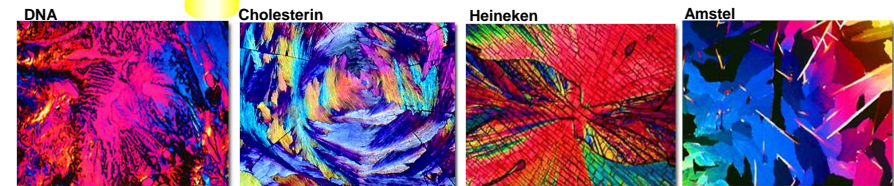
- Polarisationsmikroskop



Gicht



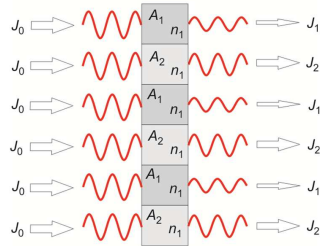
Polarisationsmikroskop



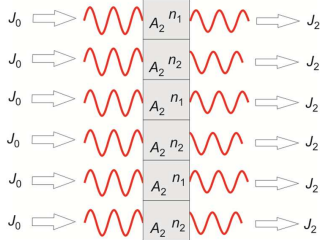
12

Phasenkontrastmikroskop

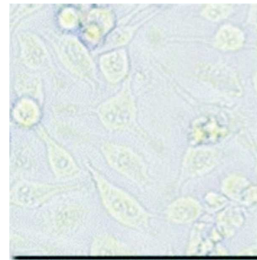
Amplitudengitter



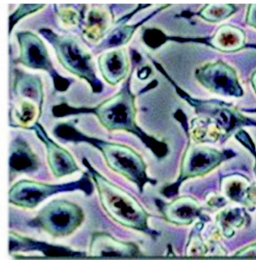
Phasengitter



Gliahirnzellen



Gewöhnliches Mikroskop



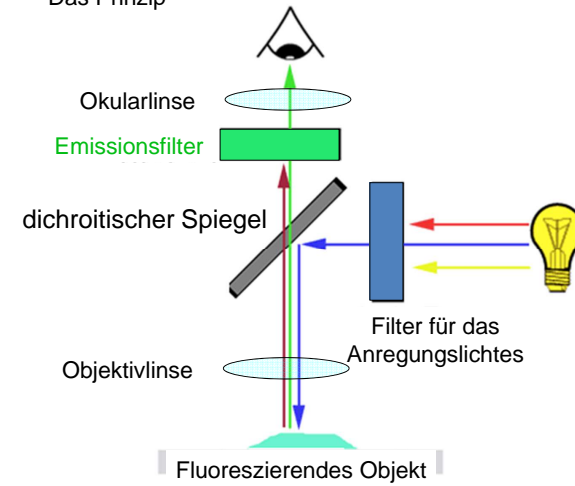
Phasenkontrastmikroskop

13

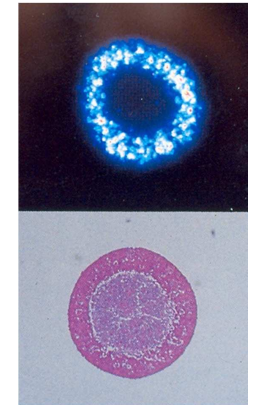
Fluoreszenzmikroskop

Epifluoreszenz-Anordnung:

Das Prinzip



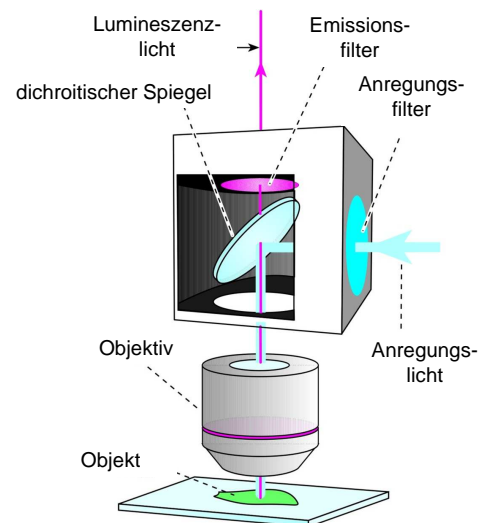
ATP-Verteilung
visualisiert mit Luciferin



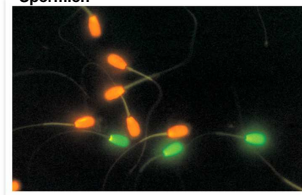
Konventionelle
mikroskopische
Aufnahme

Epifluoreszenz-Anordnung:

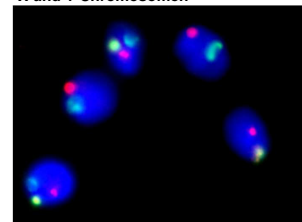
Die praktische Realisierung



Lebende und tote
Spermien

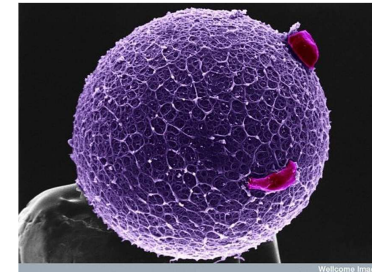


X und Y Chromosomen

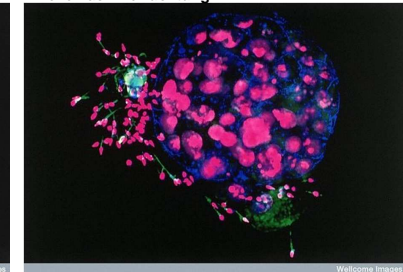


15

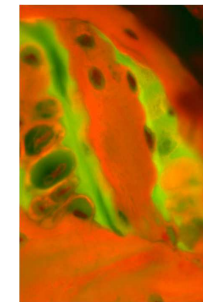
Eizelle



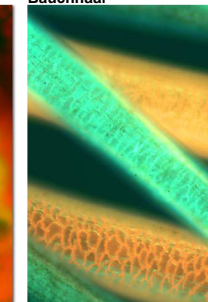
Eizelle nach Befruchtung



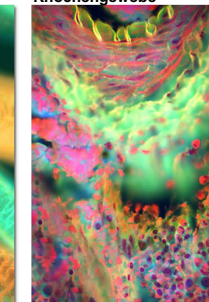
???



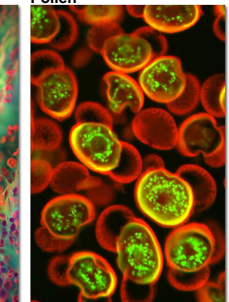
Bauchhaar



Knochengewebe

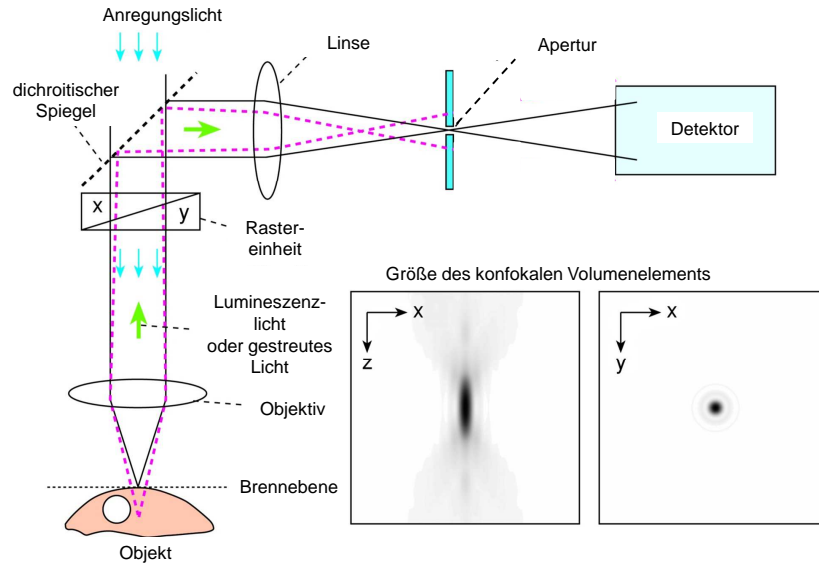


Pollen

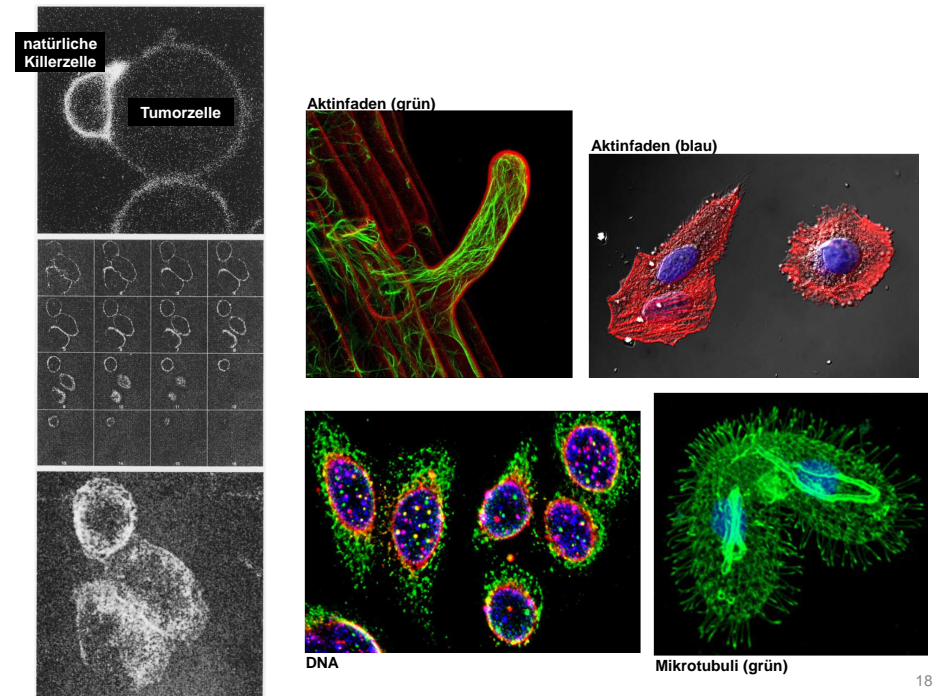


16

▪ Konfokales Laser Rastermikroskop (CLSM)



17

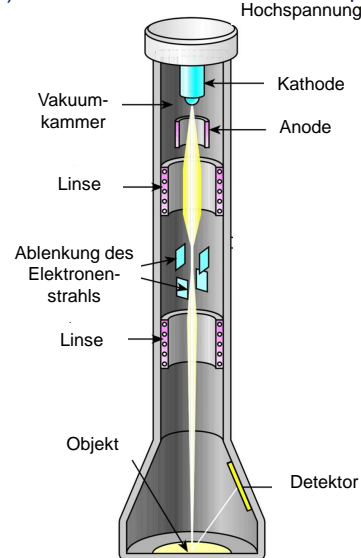
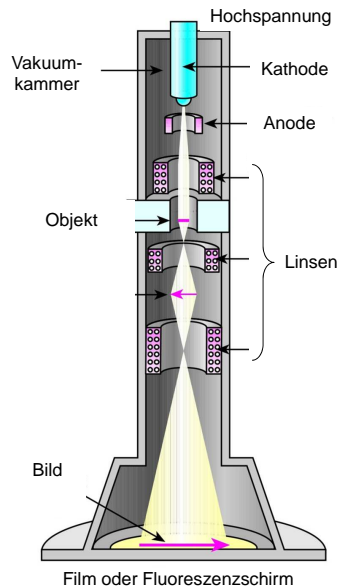


18

c) Elektronenmikroskope

▪ Transmissionselektronenmikroskop (TEM)

▪ Rasterelektronenmikroskop (SEM)



19

▪ Auflösungsgrenze (δ):

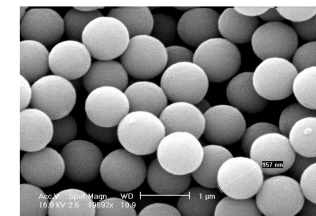
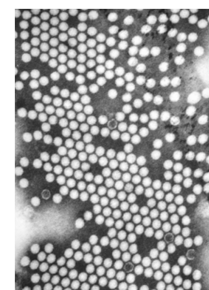
$$\delta \approx \frac{\lambda}{NA}$$

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

$$NA \approx 0,03$$

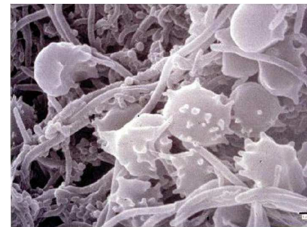
$$\delta \approx 0,2 \text{ nm}$$

Viren der Kinderlähmung (TEM)



TiO₂-Kugeln (SEM)

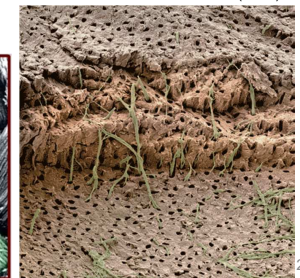
Zahnplaque (SEM)



Zahnschmelzprismen mit den Apatitkristallen (SEM)



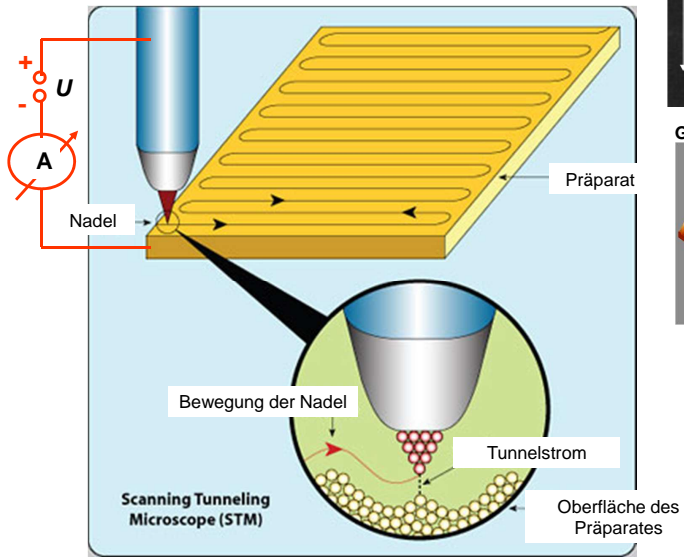
Dentin mit den Odontoblasten (SEM)



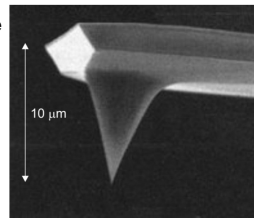
20

d) Rastersondenmikroskope (SPM)

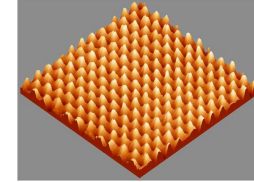
▪ Rastertunnelmikroskop (STM)



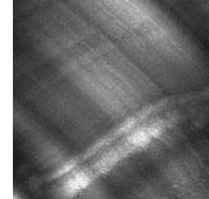
Sonde



Grafit



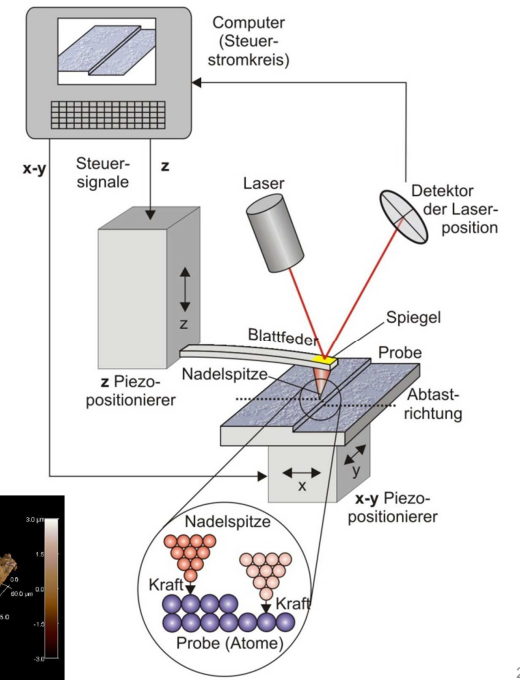
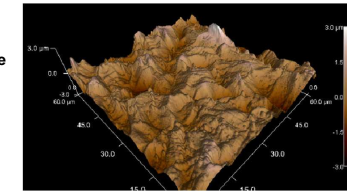
Kollagen



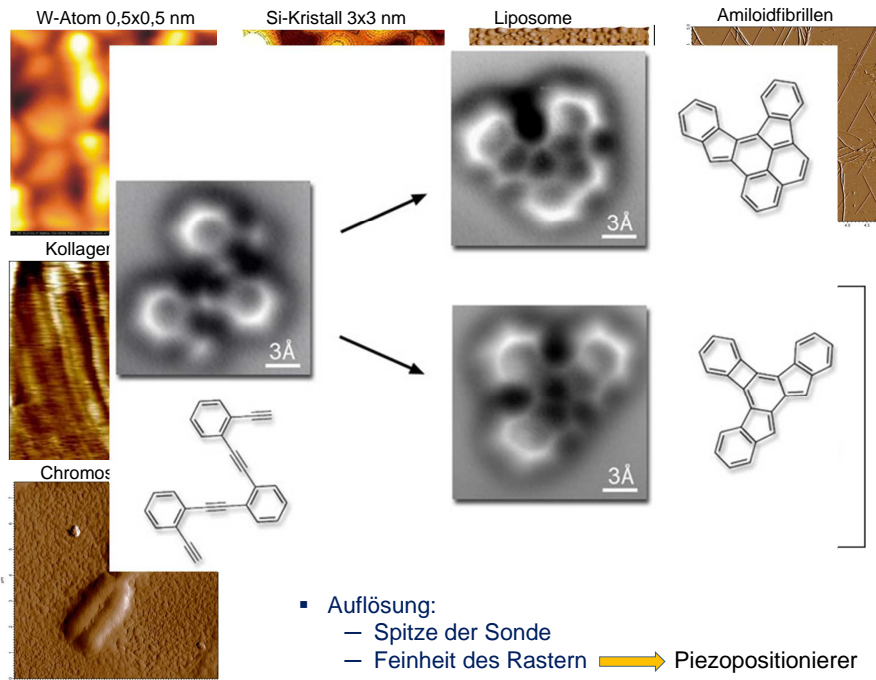
21

▪ Rasterkraftmikroskop (AFM)

Titan-Oberfläche



22

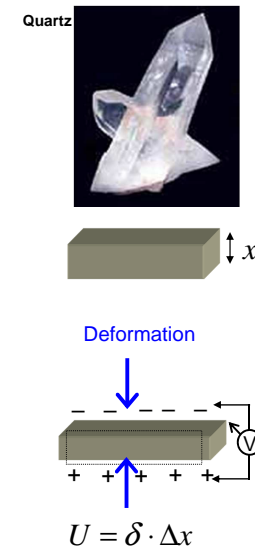


- Auflösung:
 - Spitze der Sonde
 - Feinheit des Rastern → Piezopositionierer

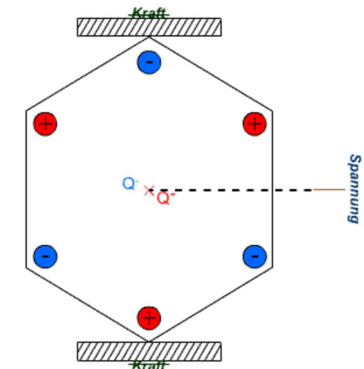
23

▪ Piezoelektrizität (piezoelektrischer Effekt)

(s. später Sonographie)

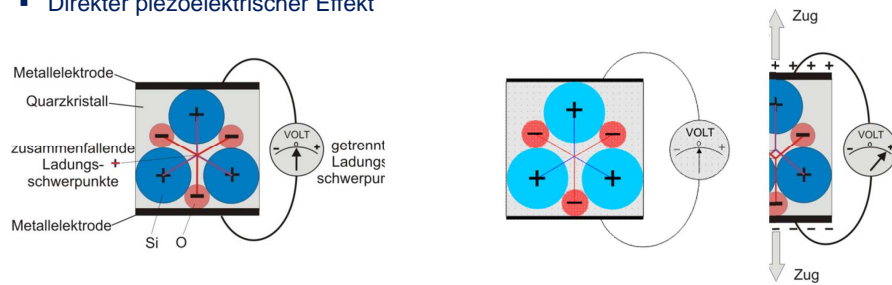


z.B für Quarz: $\delta \approx 10^{12} \text{ V/m}$

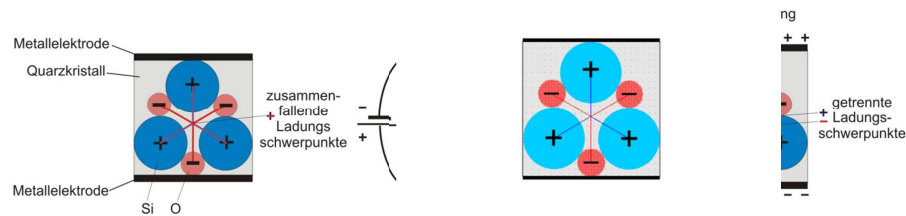


24

Direkter piezoelektrischer Effekt



Inverser piezoelektrischer Effekt

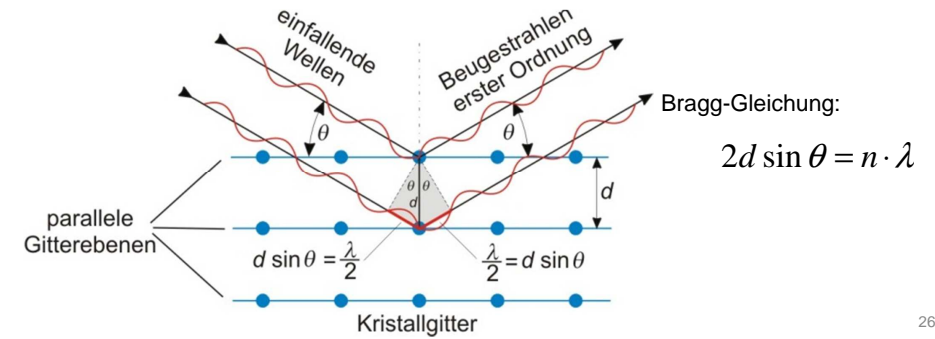
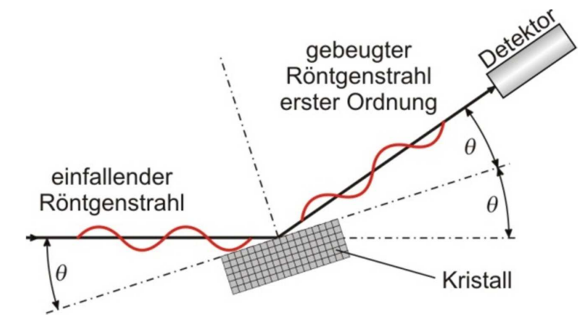


25

3. Diffraktionsmethoden

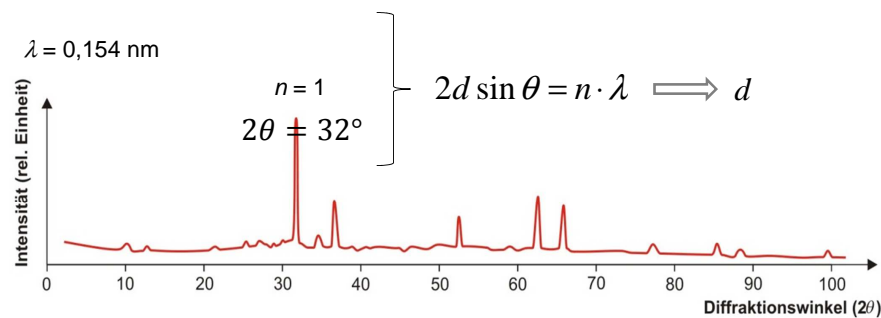
a) Röntgendiffraktion

$$\lambda \approx 0,01-0,1 \text{ nm}$$



26

Beispiel: Röntgendiffraktionsspektrum von Blei (Pb)

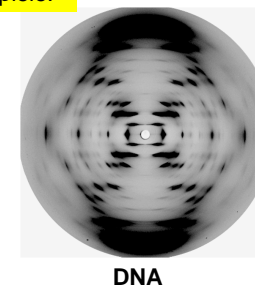


b) Elektronendiffraktion $\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$

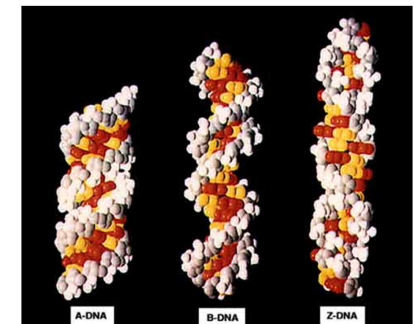
c) Neutronendiffraktion $\approx 0,01 \text{ nm}$

27

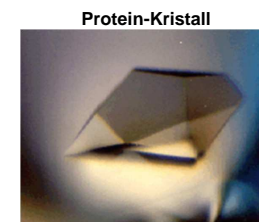
Beispiele:



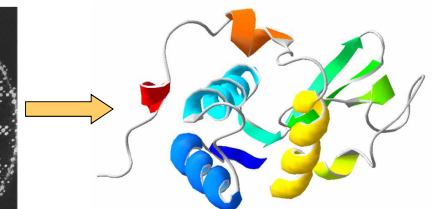
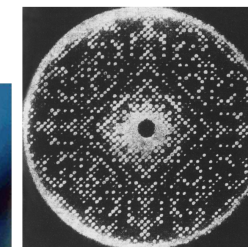
DNA



Lysozyme

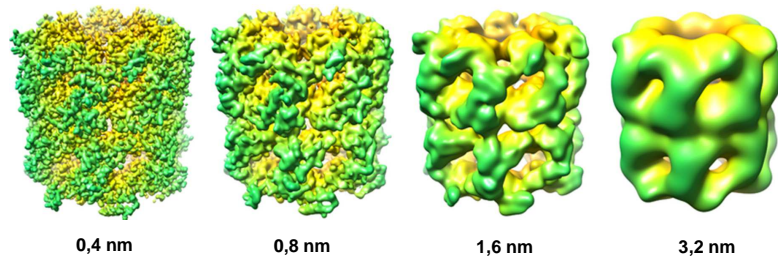


Protein-Kristall

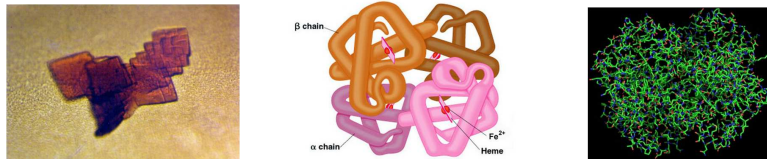


28

GroEL bei verschiedenen
Auflösungen:



Hämoglobin:



29

Typische Auflösungen

m			
10 ⁻³	millimeter	Auge	
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵			
10 ⁻⁶	mikrometer	Lichtmikroskopische Verfahren	
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸		Atomkraftmikroskope	
10 ⁻⁹	nanometer	Elektronenmikroskope	
10 ⁻¹⁰	Angström	Diffraktionsmethode	

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung
10.1-3 und 9-10



31