

Medizinische Biophysik 11. Vorlesung

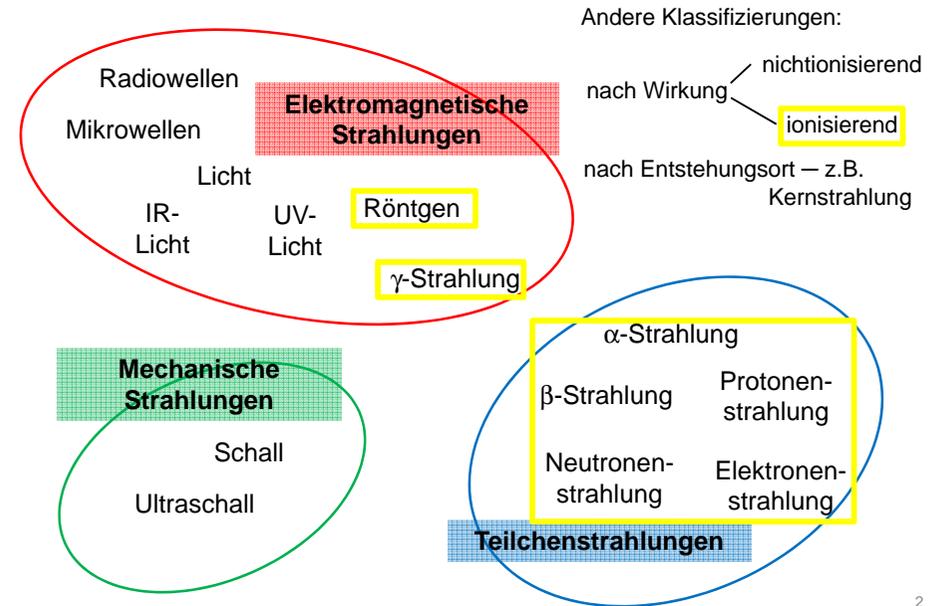
Strahlungen

Strukturuntersuchungsmethoden in der Medizin

Strahlungen

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

Strahlungen in der medizinischen Praxis



1. Gemeinsame Eigenschaften

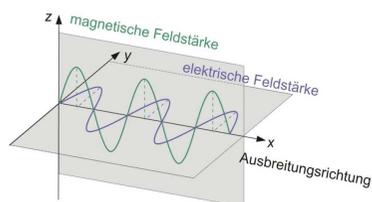
- Strahlung = Energietransport ! (Strahlungsintensität (J), ...)
- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

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

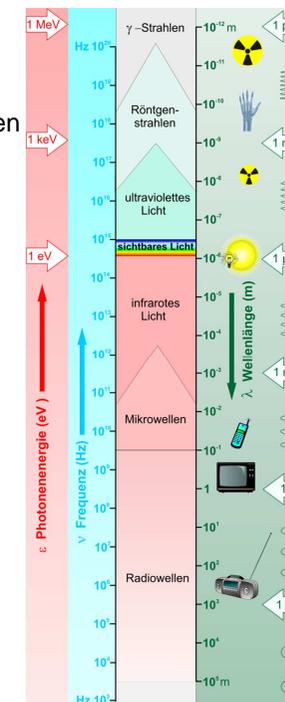
elektromagnetische Welle



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, die sich Gesetzen des Elektromagnetismus entsprechend, fortpflanzen.
 Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (1859)

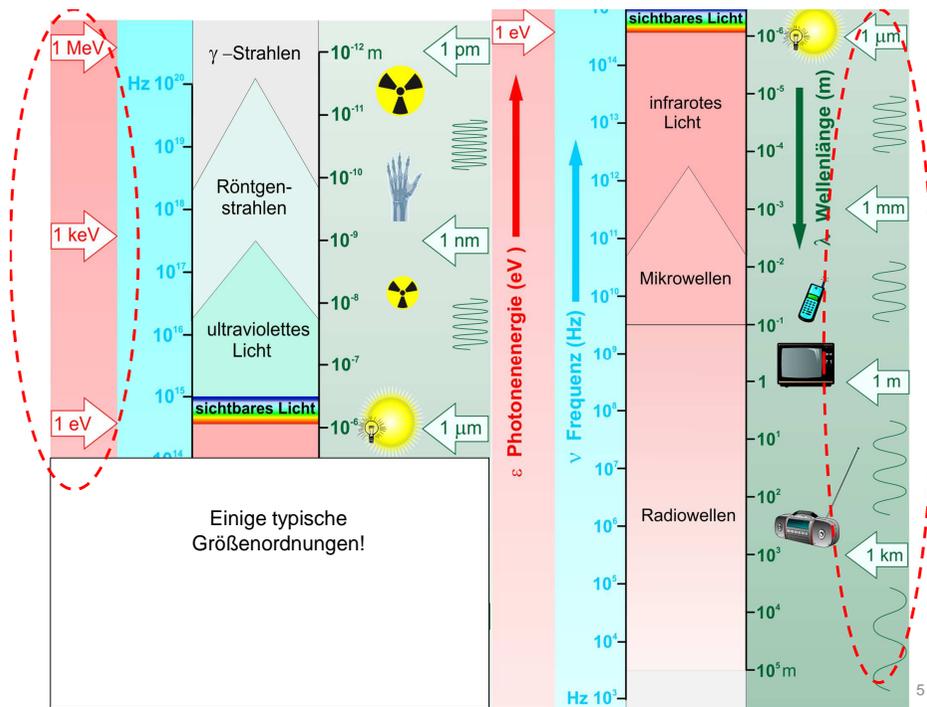
7 Bereiche:

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



Anwendungsbeispiele:

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



3. Teilchenstrahlungen

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

- Materiewellen



de Broglie (1923): Materiewellen

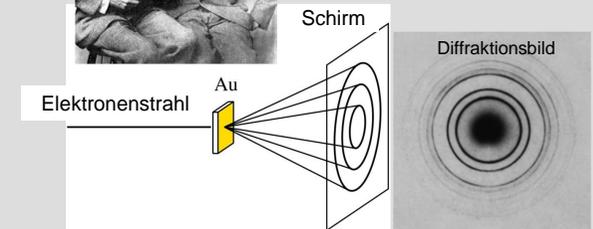
$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$



Davisson & Germer (1927): Elektronenbeugungsexperiment

- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie



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

- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

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

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



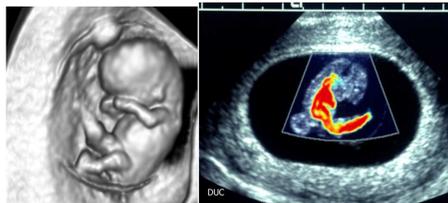
- transversale/longitudinale Wellen

- 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

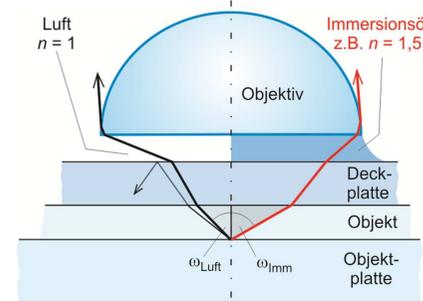
- Röntgendiffraktion
- Elektronendiffraktion
- Neutronendiffraktion

Typische Größen

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

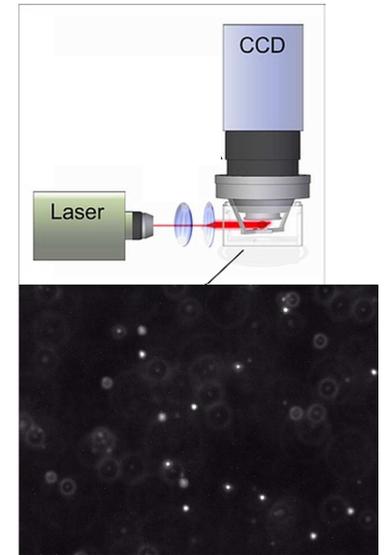
2. Mikroskopie

- a) Lichtmikroskop
- b) Spezielle Lichtmikroskope
 - Immersionsobjektiv



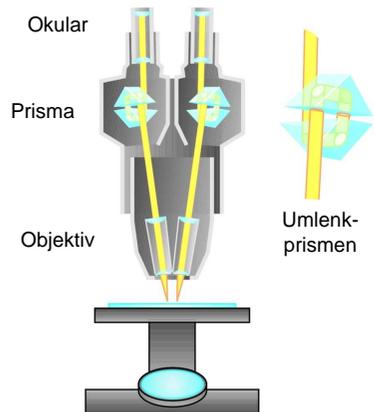
$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

- Ultramikroskop (Dunkelfeldmikroskop)



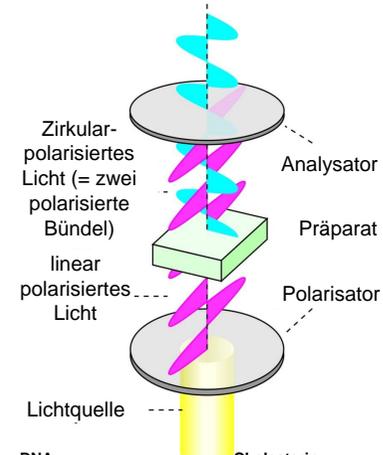
10

- Stereomikroskop

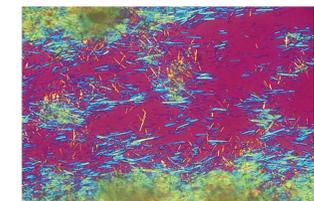


11

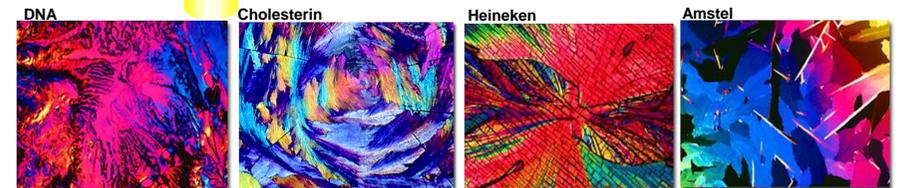
- Polarisationsmikroskop



Gicht

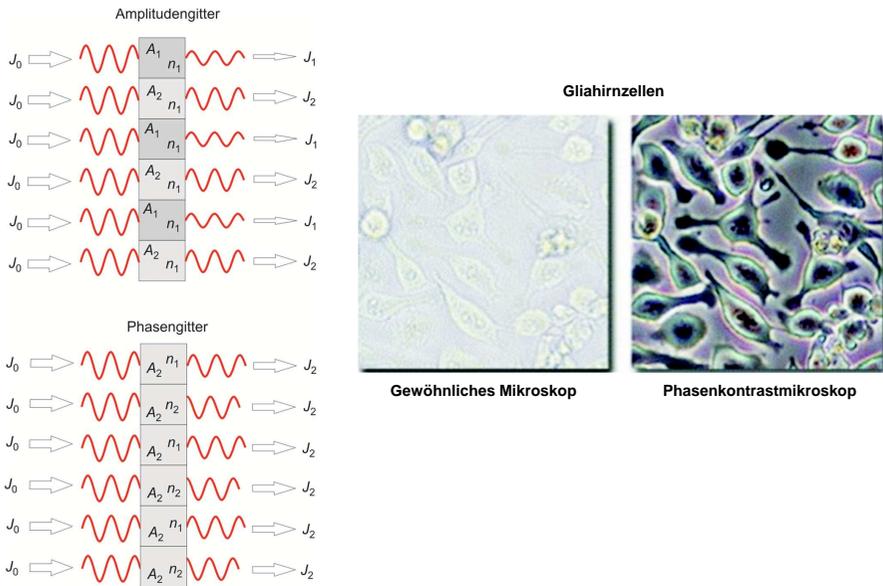


Polarisationsmikroskop



12

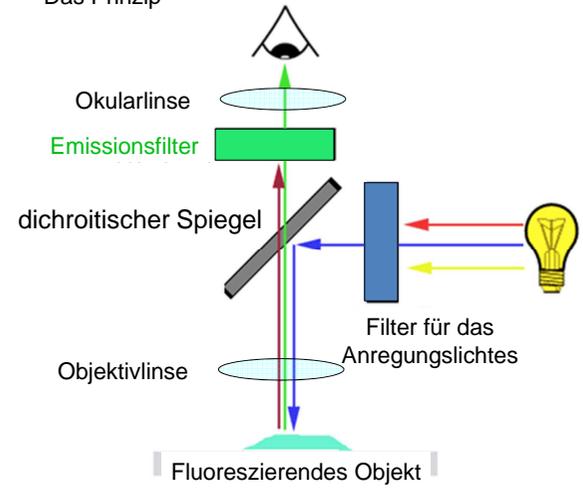
■ Phasenkontrastmikroskop



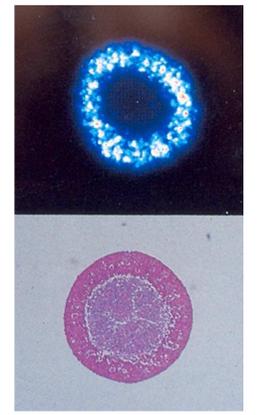
■ Fluoreszenzmikroskop

Epifluoreszenz-Anordnung:

Das Prinzip



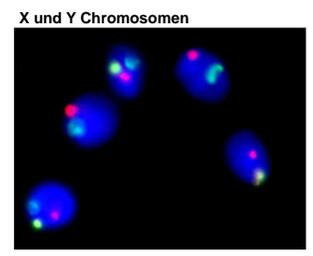
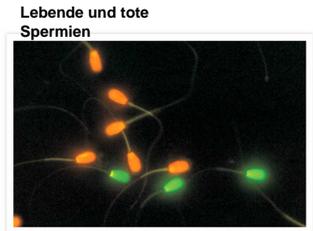
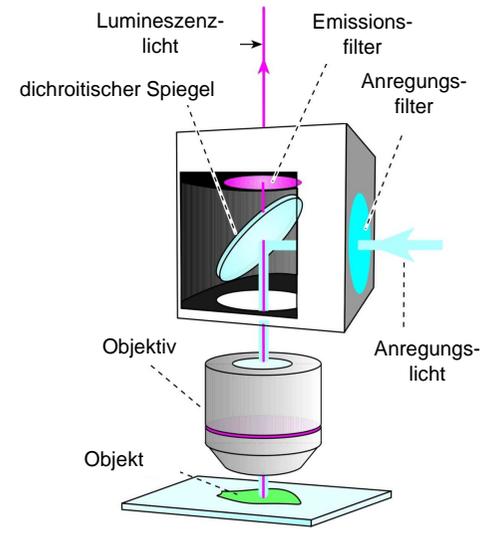
ATP-Verteilung visualisiert mit Luciferin



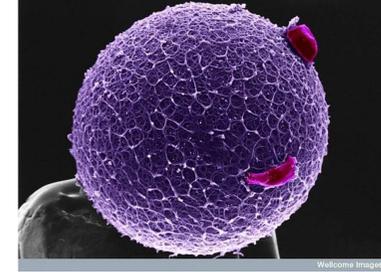
Konventionelle mikroskopische Aufnahme

Epifluoreszenz-Anordnung:

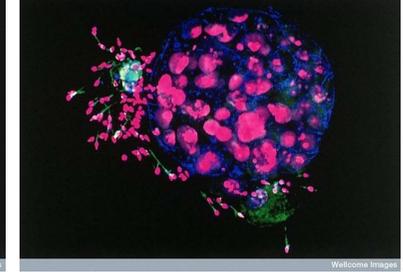
Die praktische Realisierung



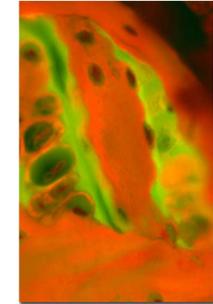
Eizelle



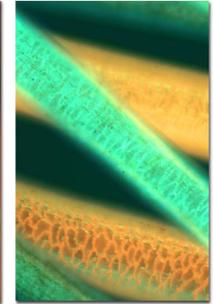
Eizelle nach Befruchtung



???



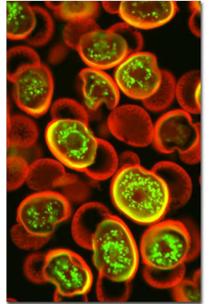
Bauchhaar



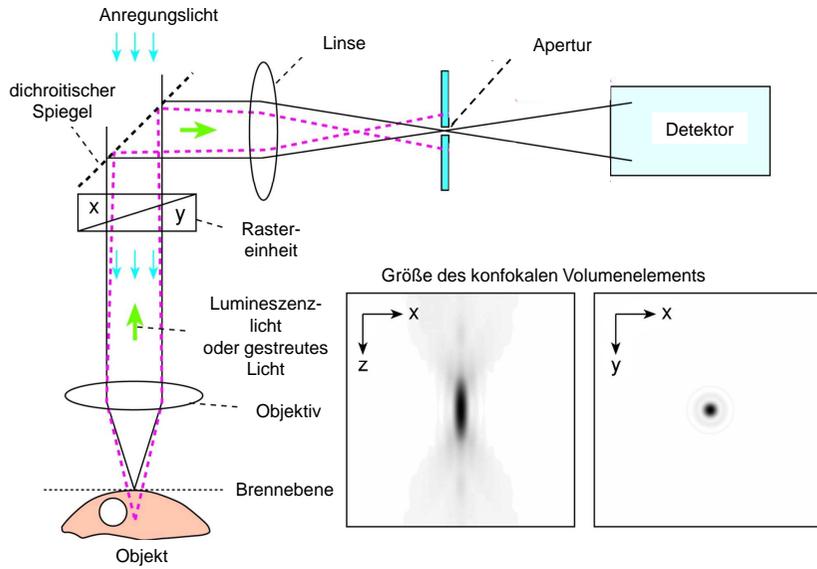
Knochengewebe



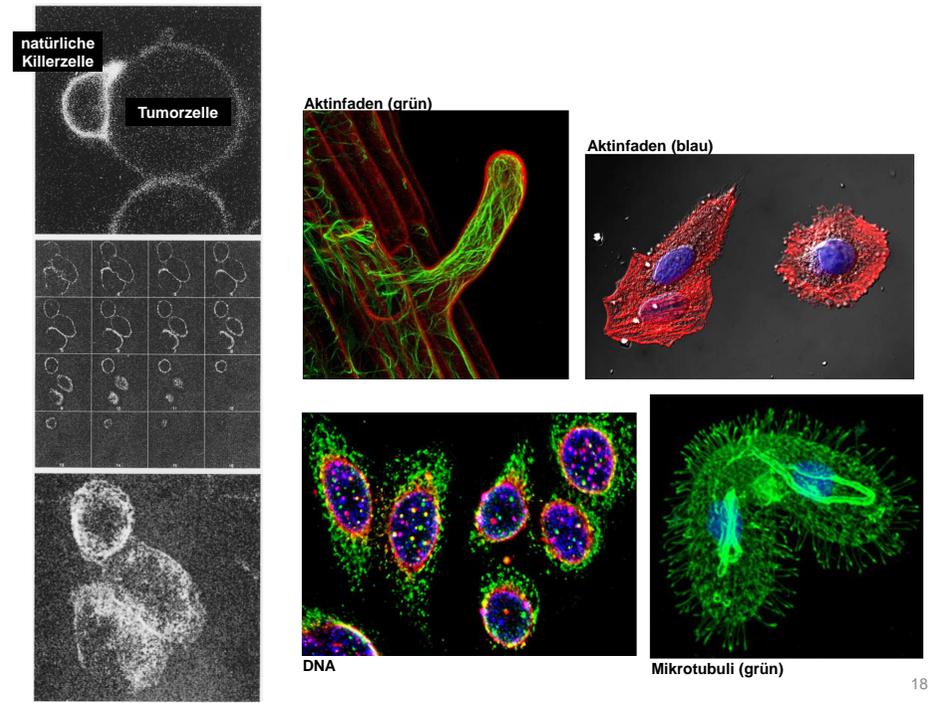
Pollen



▪ Konfokales Laser Rastermikroskop (CLSM)



17

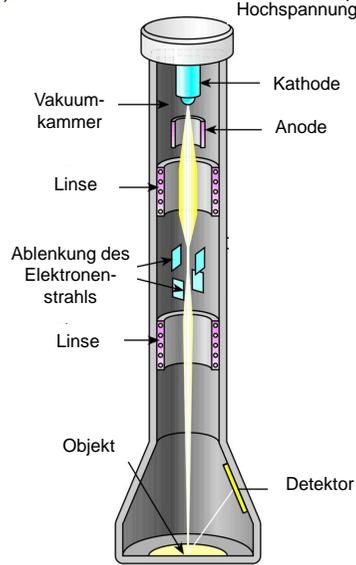
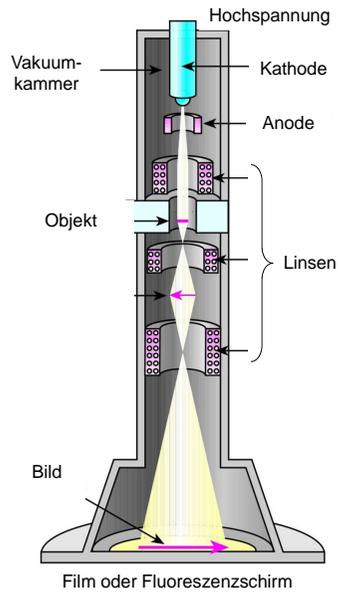


18

c) Elektronenmikroskope

▪ Transmissionselektronenmikroskop (TEM)

▪ Rasterelektronenmikroskop (SEM)



19

▪ Auflösungsgrenze (δ):

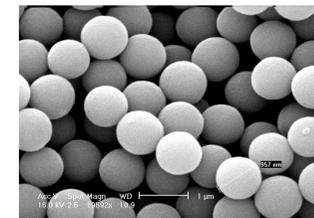
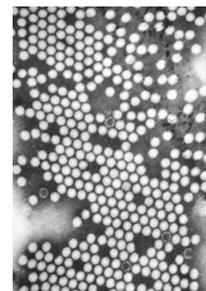
$$\delta \approx \frac{\lambda}{NA}$$

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

$$NA \approx 0,03$$

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

Viren der Kinderlähmung (TEM)

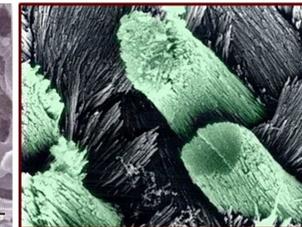


TiO-Kugeln (SEM)

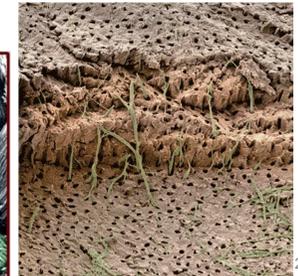
Zahnplaque (SEM)



Zahnschmelzprismen mit den Apatitkristallen (SEM)



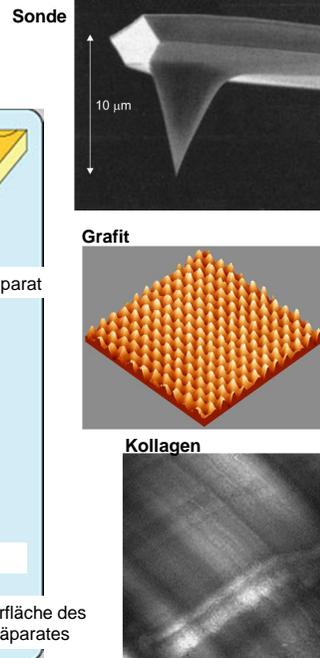
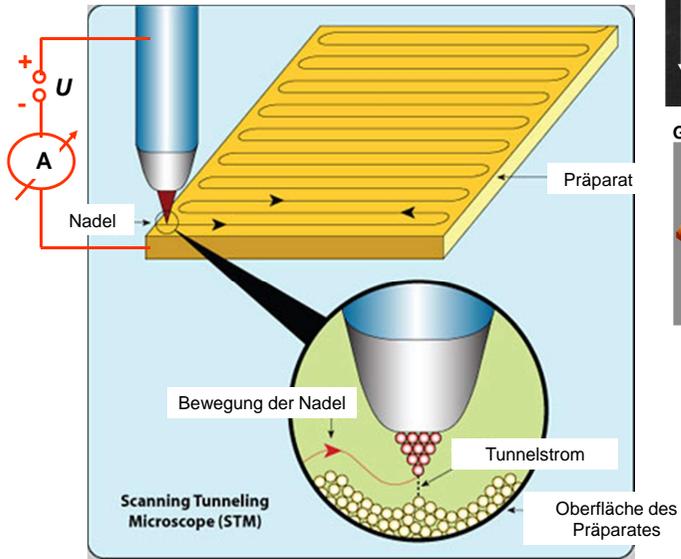
Dentin mit den Odontoblasten (SEM)



20

d) Rastersondenmikroskope (SPM)

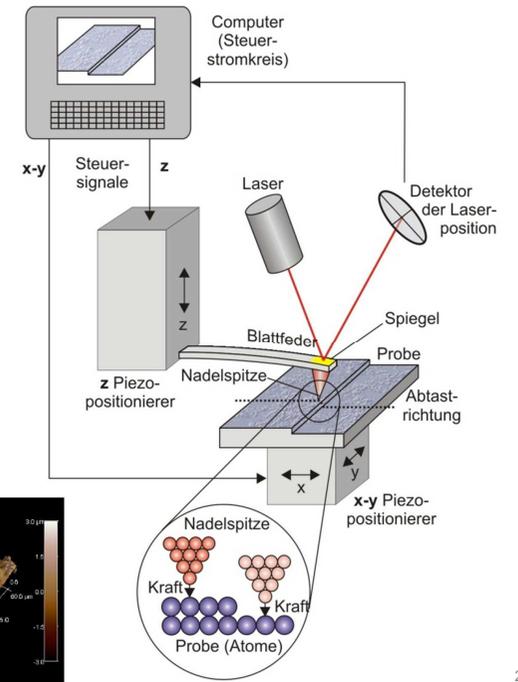
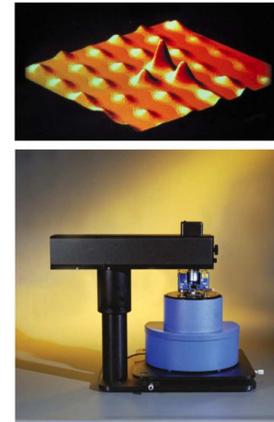
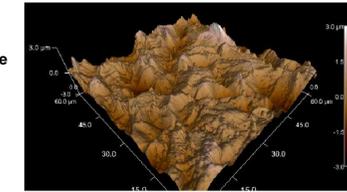
▪ Rastertunnelmikroskop (STM)



21

▪ Rasterkraftmikroskop (AFM)

Titan-Oberfläche



22

W-Atom 0,5x0,5 nm Si-Kristall 3x3 nm Liposome Amiloidfibrillen

Kollagen Chromos

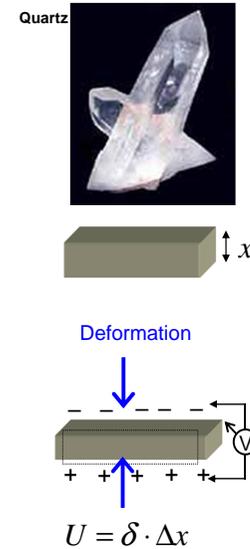
3Å 3Å 3Å

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

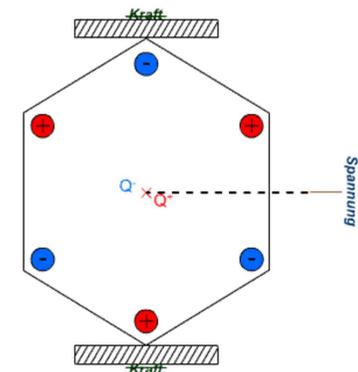
23

▪ Piezoelektrizität (piezoelektrischer Effekt)

(s. später Sonographie)

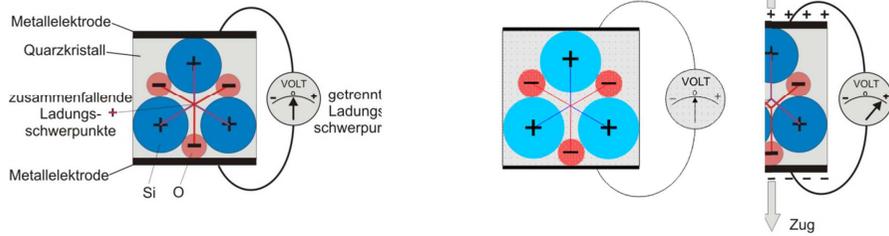


z.B für Quartz: $\delta \approx 10^{12} \text{ V/m}$

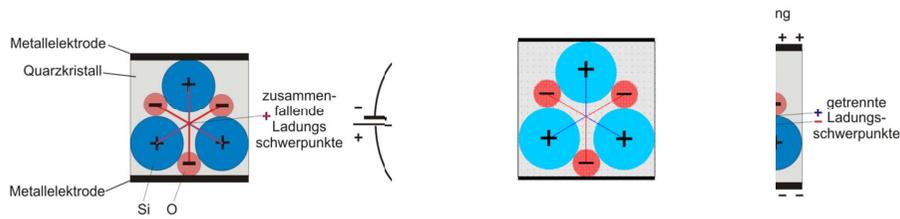


24

▪ Direkter piezoelektrischer Effekt



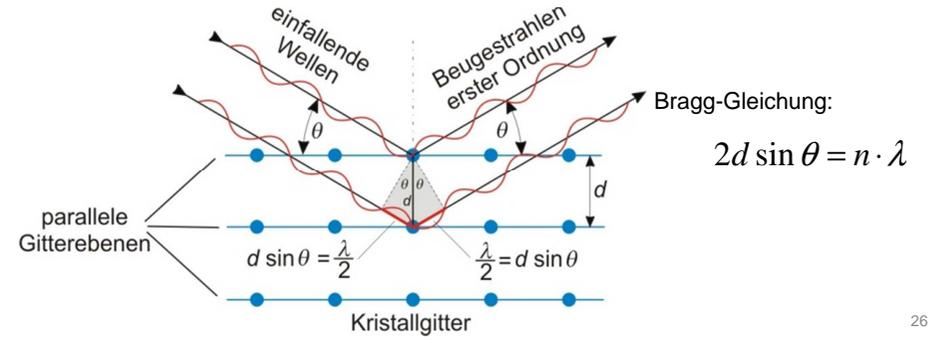
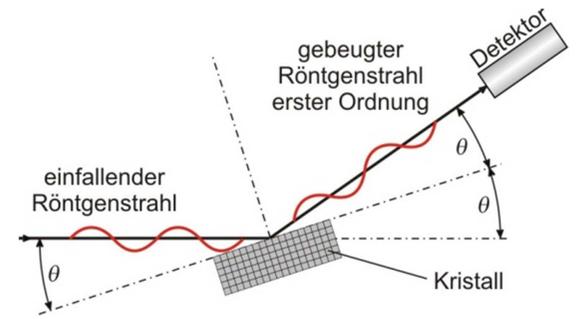
▪ Inverser piezoelektrischer Effekt



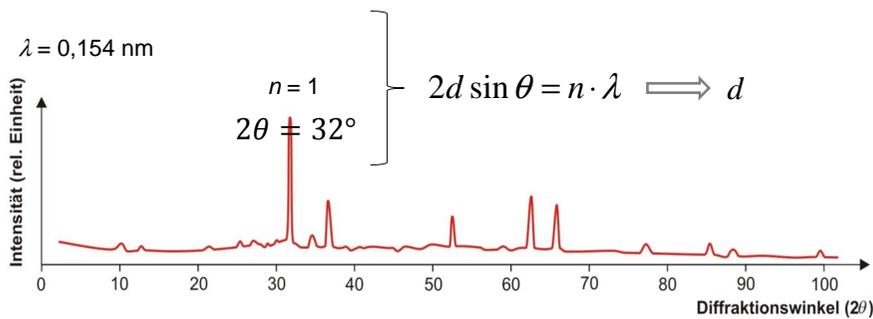
3. Diffraktionsmethoden

a) Röntgendiffraktion

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



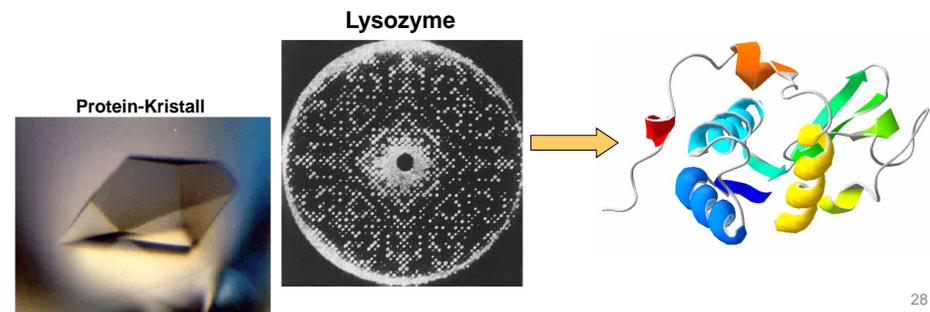
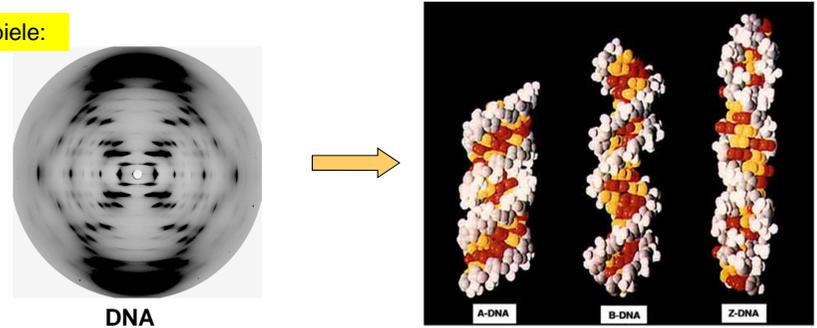
Beispiel:
Röntgendiffraktionsspektrum von Blei (Pb)



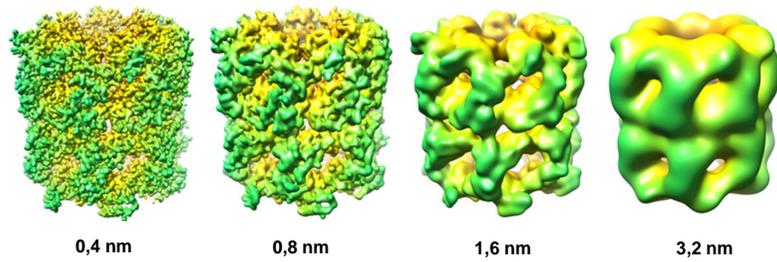
b) Elektronendiffraktion $\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$

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

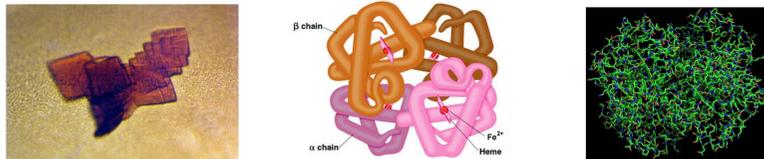
Beispiele:



GroEL bei verschiedenen Auflösungen:



Hämoglobin:



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

