

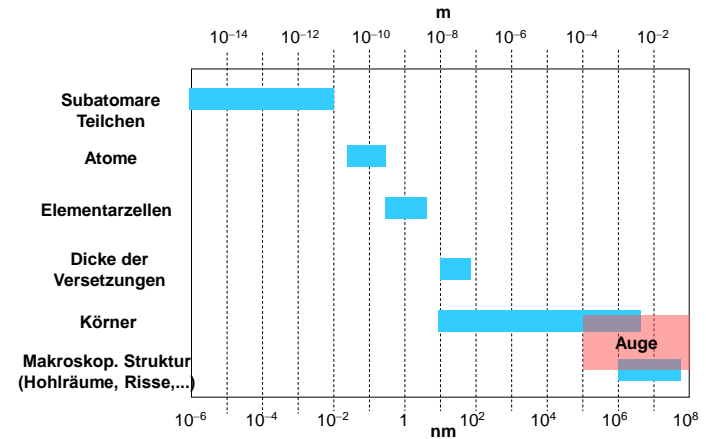
## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 4.

**Struktur der Materie**  
Strukturuntersuchungsmethoden

1

## Dimensionen der Strukturbaulemente

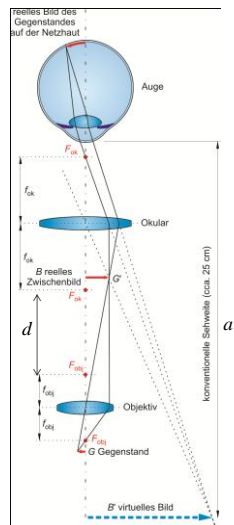


2

## Lichtmikroskop

$$N = N_{obj} \cdot N_{ok} = -\frac{a \cdot d}{f_{obj} \cdot f_{ok}}$$

(< 2000)



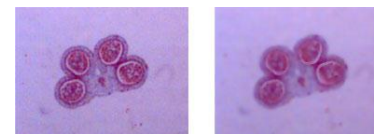
3

**Auflösungsgrenze ( $\delta$ ):**

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

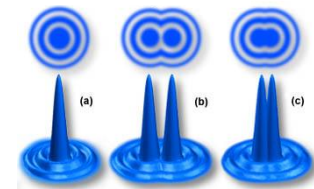
$$\delta \approx \frac{\lambda}{NA}$$

numerische Apertur (NA)



**Grund der endlichen Auflösung:**

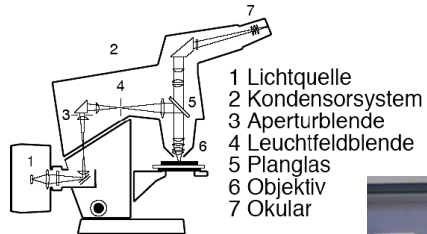
Gegenstandspunkte  
Beugung  
„Flecke“ (Airy-Scheiben)



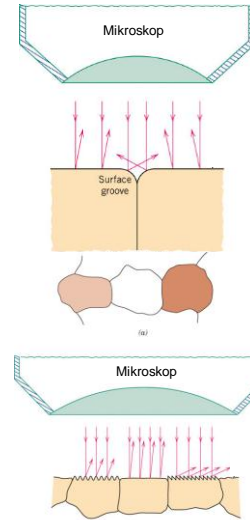
$\delta \approx 200 \text{ nm}$

4

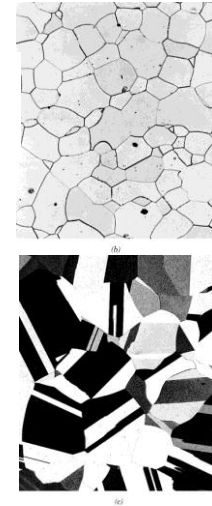
## Metallmikroskop (Auflichtmikroskop)



5



Vorbereitung :  
• Schleifen  
• Polieren  
• Ätzen



6

## Elektronenmikroskop



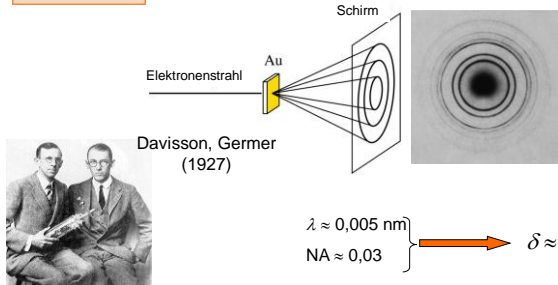
Grundlage:  
de Broglie (1923):

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

Planck-Konstante  
( $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$ )

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

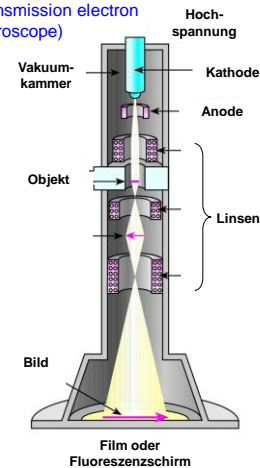
Impuls des Elektrons



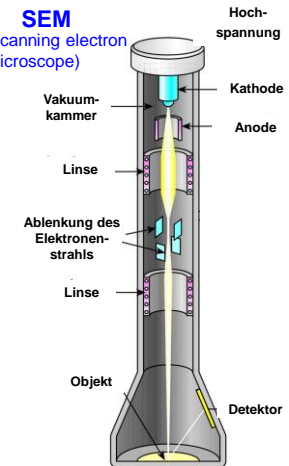
$$\left. \begin{array}{l} \lambda \approx 0,005 \text{ nm} \\ NA \approx 0,03 \end{array} \right\} \longrightarrow \delta \approx 0,2 \text{ nm}$$

7

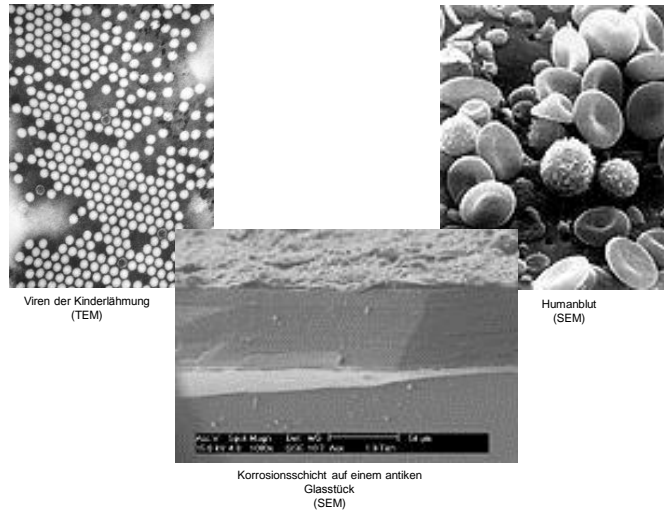
## TEM (transmission electron microscope)



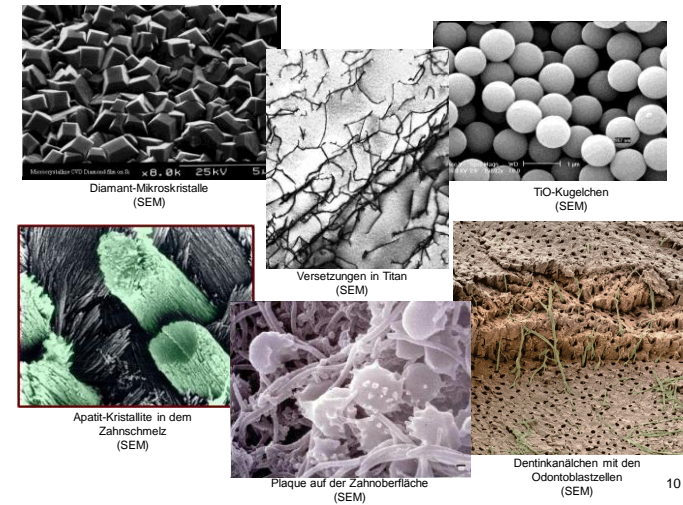
## SEM (scanning electron microscope)



8



9



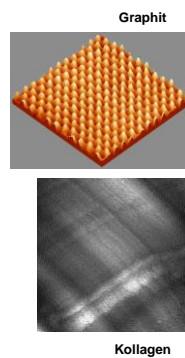
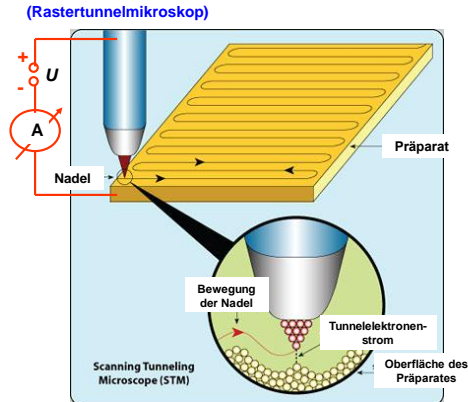
10

## Rastersondenmikroskope

(SPM – scanning probe microscope)

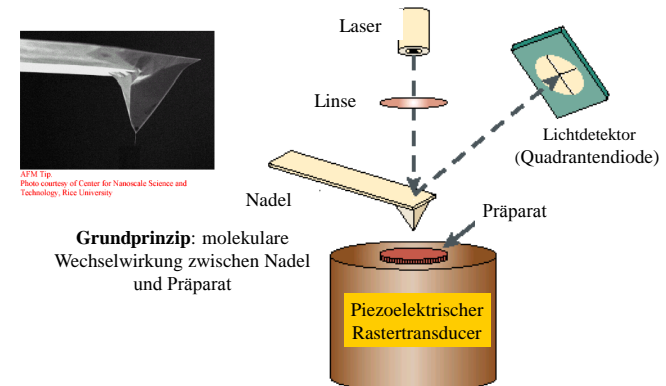
Tunnelelektronenmikroskop  
(Rastertunnelmikroskop)

(STM - scanning tunneling microscope)



11

## Atomkraftmikroskop (AFM - atomic force microscope)



12

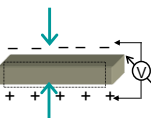
## Umweg: Piezoelektrizität

1880 P. Curie (piezein = gör összenyom)

Quartzplatte



Deformation



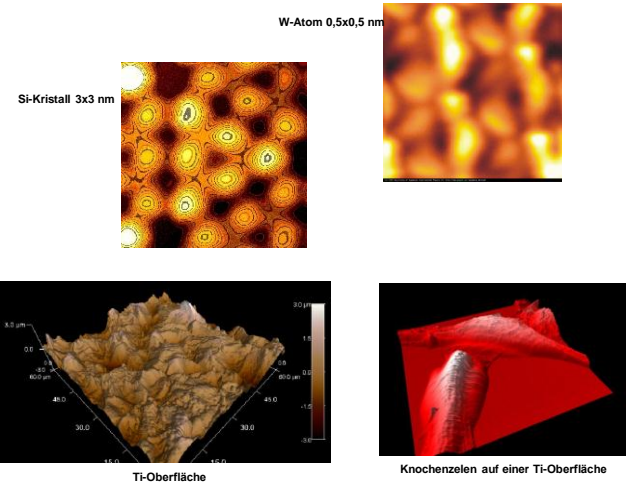
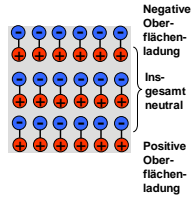
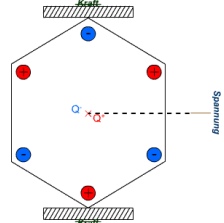
$$U = \delta \cdot \Delta x$$

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

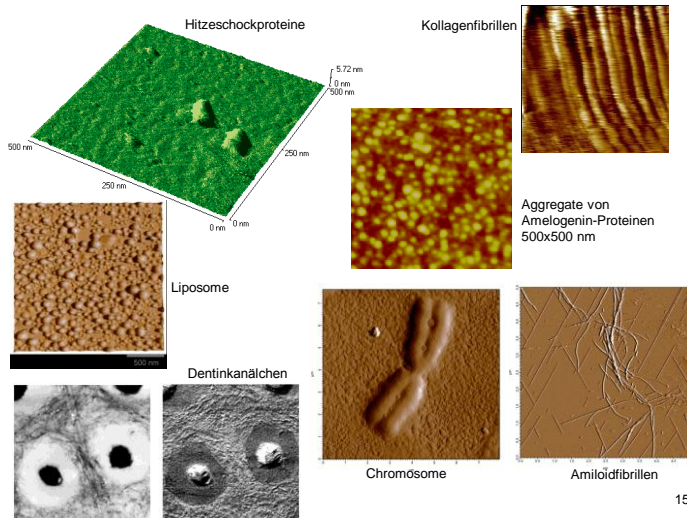
**Piezoelektrischer Effekt:** Deformation  $\Rightarrow$  elektrische Spannung

**Inverser piezoelektrischer Effekt:** elektrische Spannung  $\Rightarrow$  Deformation

Z.B.:  
Quartz

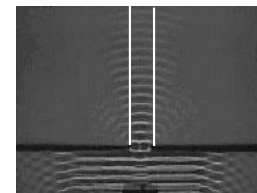


14



15

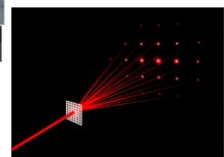
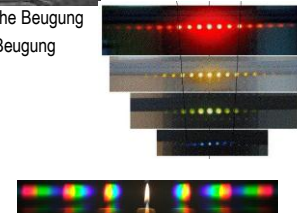
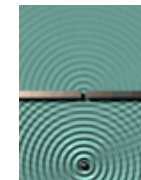
## Diffraction (Beugung)



$d/\lambda \gg 1$ : schwache Beugung  
 $d/\lambda \approx 1$ : starke Beugung



$$d \sin \alpha = k \cdot \lambda$$

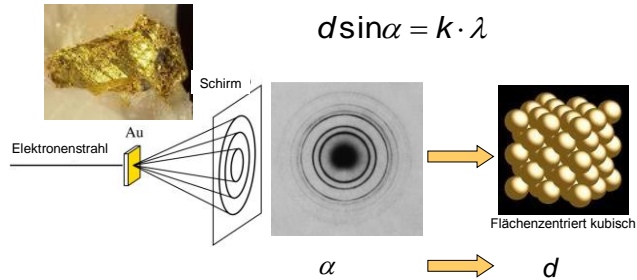


16

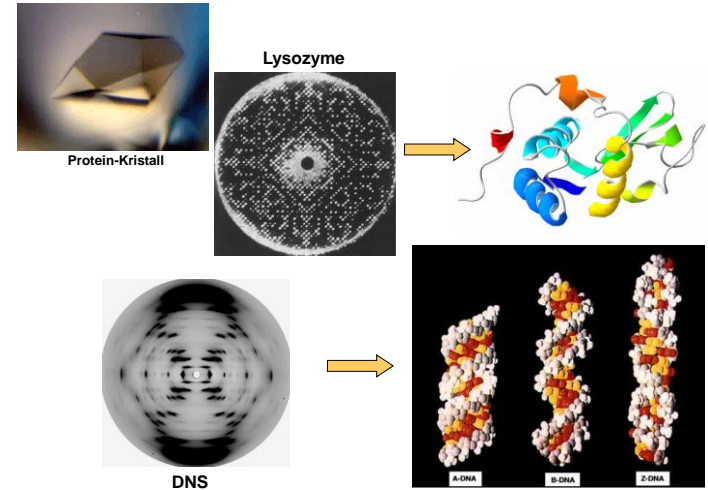


## Diffractionsmethoden

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

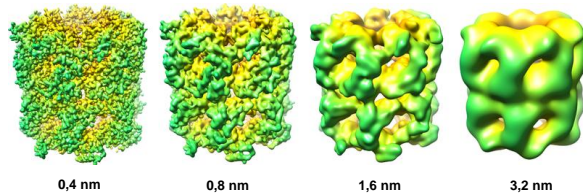


17



18

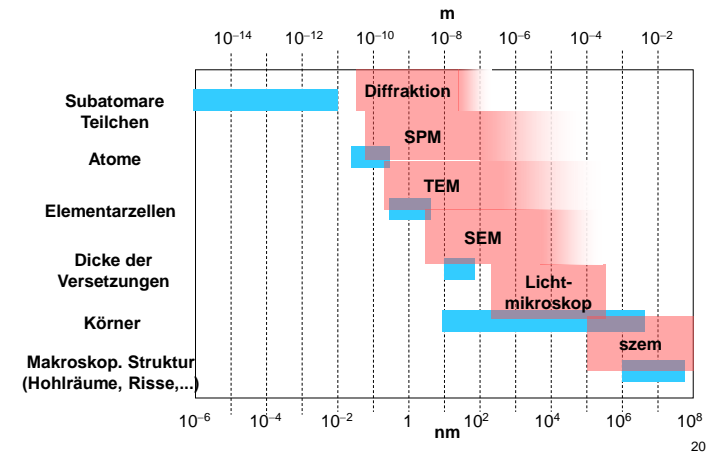
GroEL bei verschiedenen Auflösungen:



Hämoglobin:



19



20

- Auge
- Mikroskopie
  - Lichtmikroskope
  - Elektronenmikroskope (TEM, SEM)
  - Rastersondenmikroskope (STM, SPM)
- Diffraktionsmethoden
  - Röntgendiffraktion
  - Elektronendiffraktion
  - Neutronendiffraktion
- Spektroskopische Verfahren
  - Absorptionsspektroskopie (VIS, UV, IR)
  - Emissionsspektroskopie (Fluoreszenz, Röntgenfluoreszenz)
  - Raman-Spektroskopie
  - Magnetische Resonanzspektroskopie (ESR, NMR)

21

## Hausaufgaben

2.1. a) Was ist die Auflösungsgrenze eines Lichtmikroskops, wenn die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes 550 nm, und der Halboffnungswinkel der Objektlinse  $70^\circ$  beträgt?

b) Auf welchen Wert kann die Auflösungsgrenze durch die Verwendung von Immersionsöl (Brechzahl: 1,6) reduziert werden?

2.4. Die Wellenlänge des Elektronenstrahls in einem Elektronenmikroskop beträgt 20 pm. Die numerische Apertur beträgt 0,025. Berechnen Sie: Auflösungsgrenze und Vergrößerung, wenn auf der Aufnahme 1 mm der Auflösungsgrenze entspricht!

2.6. In einem Atomkraftmikroskop wollen wir das Präparat in Schritten von 0,05 nm bewegen. Welche Spannungsschritte braucht man dazu, wenn der piezoelektrische Koeffizient des Quarzkristalls in dem piezoelektrischen Rastertransducer  $3 \cdot 10^{11}$  V/m beträgt?

2.7. Ein optisches Gitter der Gitterkonstante von 5  $\mu\text{m}$  wird mit monochromatischem Licht durchgeleuchtet. In dem Diffraktionsbild liegt das erste Nebenmaximum unter dem Winkel von  $7,27^\circ$ . Wie groß ist die Wellenlänge des angewendeten Lichtes?

2.10. Die Kristallstruktur von Gold wird durch Elektronendiffraktion untersucht, wobei eine Goldfolie mit einem Elektronenstrahl der Wellenlänge 61 pm „durchgeleuchtet“ wird. In dem Diffraktionsbild liegt das erste Nebenmaximum unter dem Winkel von  $8,6^\circ$ . Berechnen Sie die Gitterkonstante des Kristallgitters von Gold!

Lösungen:  
 2.1. – a) 357 nm; b) 223 nm  
 2.4. – 0,8 nm und 1 250 000-fach  
 2.6. – 15 V  
 2.7. – 633 nm  
 2.10. – 0,408 nm

22