



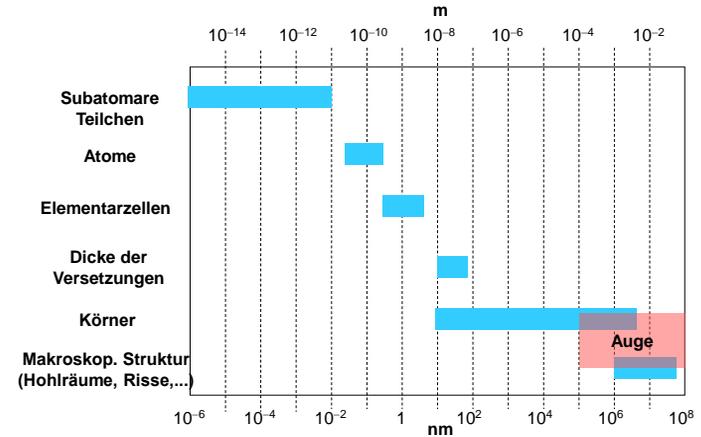
## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 4.

**Struktur der Materie**  
Strukturuntersuchungsmethoden

1

## Dimensionen der Strukturbauelemente

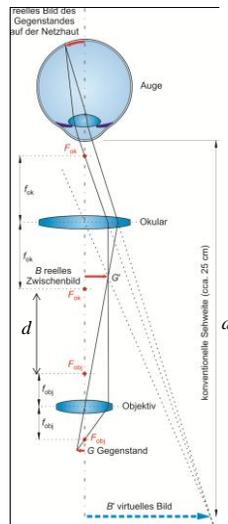


2

## Lichtmikroskop

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

(< 2000)

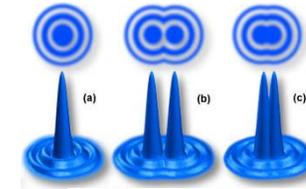
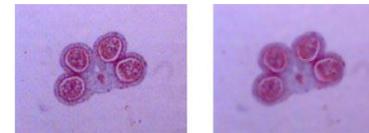


3

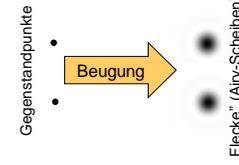
Auflösungsgrenze ( $\delta$ ):

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

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



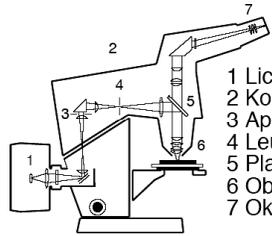
Grund der endlichen Auflösung:



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

4

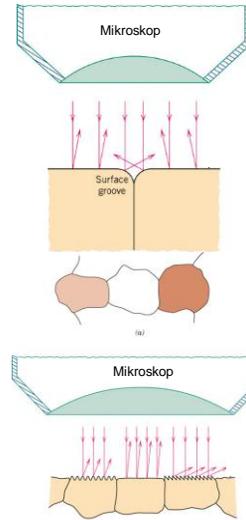
## Metallmikroskop (Auflichtmikroskop)



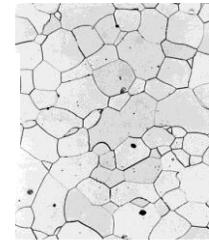
- 1 Lichtquelle
- 2 Kondensorsystem
- 3 Aperturblende
- 4 Leuchtfeldblende
- 5 Planglas
- 6 Objektiv
- 7 Okular



5



- Vorbereitung :
- Schleifen
  - Polieren
  - Ätzen



6

## Elektronenmikroskop

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

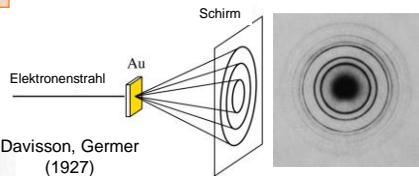


Grundlage:  
de Broglie (1923):

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

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

Impuls des  
Elektrons

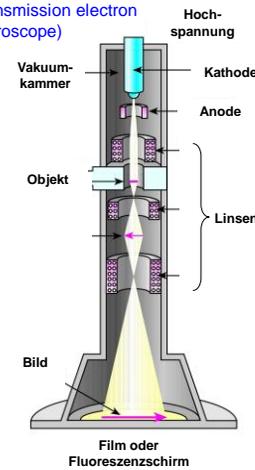


Davisson, Germer  
(1927)

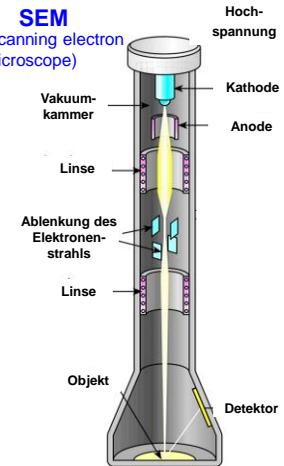
$$\left. \begin{array}{l} \lambda \approx 0,005 \text{ nm} \\ NA \approx 0,03 \end{array} \right\} \longrightarrow \delta \approx 0,2 \text{ nm}$$

7

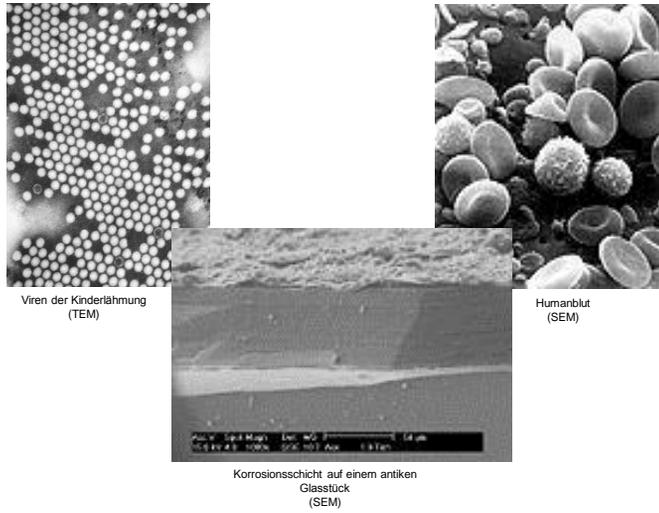
## TEM (transmission electron microscope)



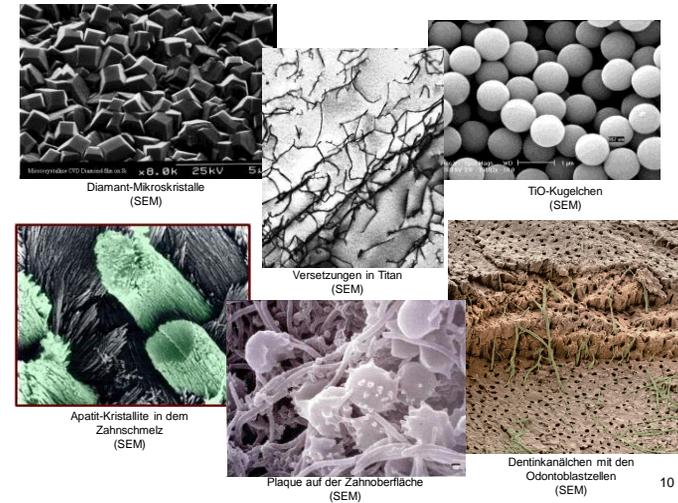
## SEM (scanning electron microscope)



8



9



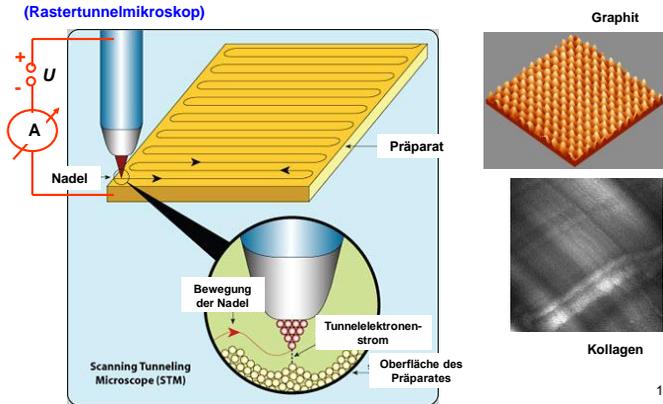
10

## Rastersondenmikroskope

(SPM – scanning probe microscope)

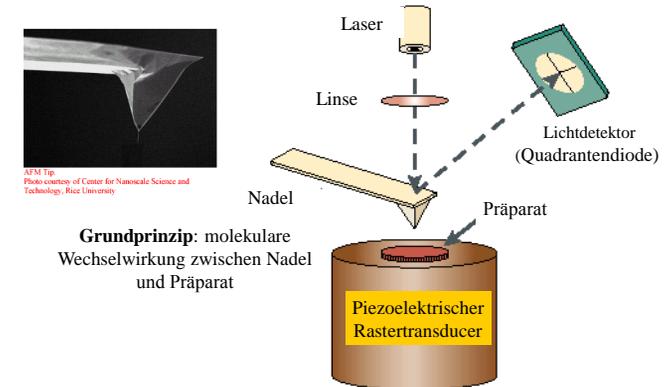
Tunnelelektronenmikroskop  
(Rastertunnelmikroskop)

(STM - scanning tunneling microscope)



11

Atomkraftmikroskop (AFM - atomic force microscope)



12

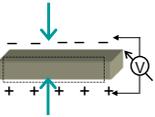
# Umweg: Piezoelektrizität

1880 P. Curie (piezein = gör összenyom)

Quartzplatte



Deformation



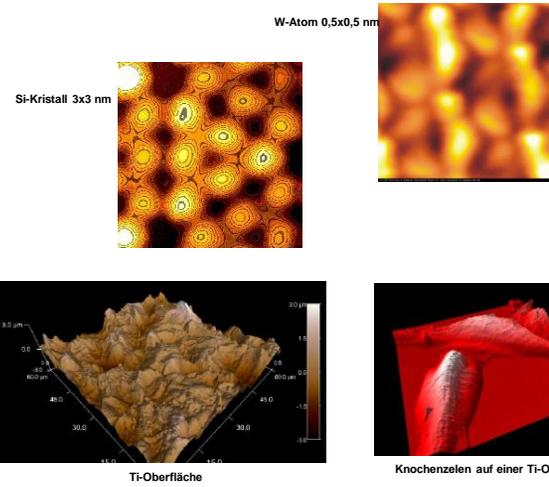
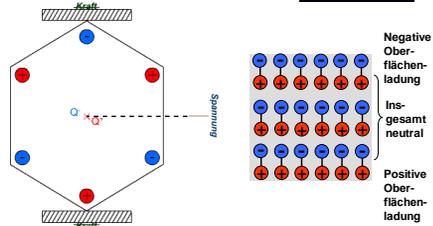
$$U = \delta \cdot \Delta x$$

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

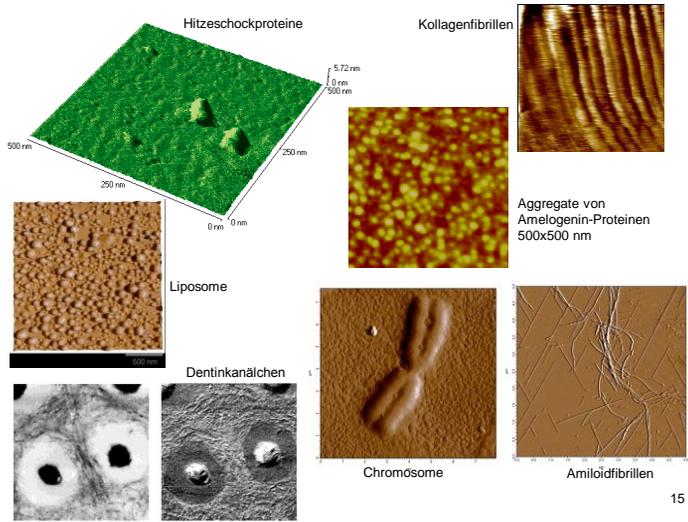
Piezoelektrischer Effekt: Deformation  $\Rightarrow$  elektrische Spannung

Inverser piezoelektrischer Effekt: elektrische Spannung  $\Rightarrow$  Deformation

Z.B.:  
Quartz

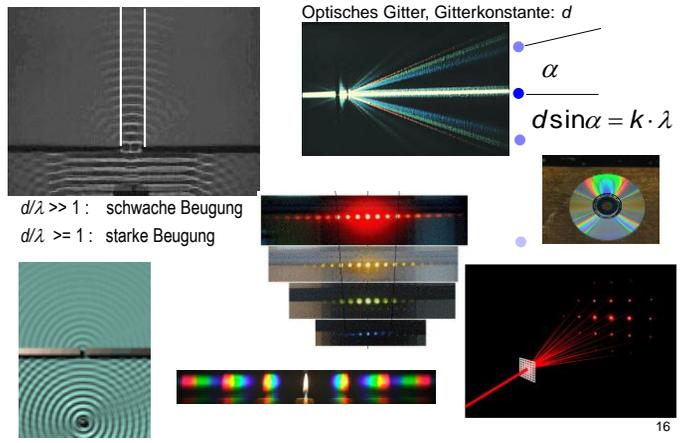


14



15

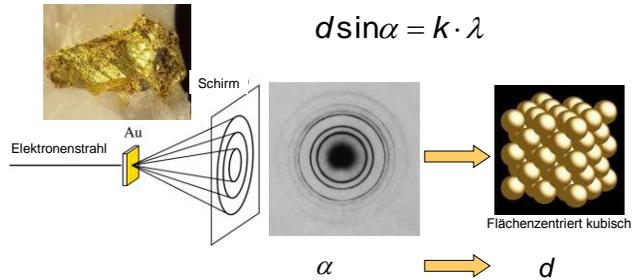
# Diffraction (Beugung)



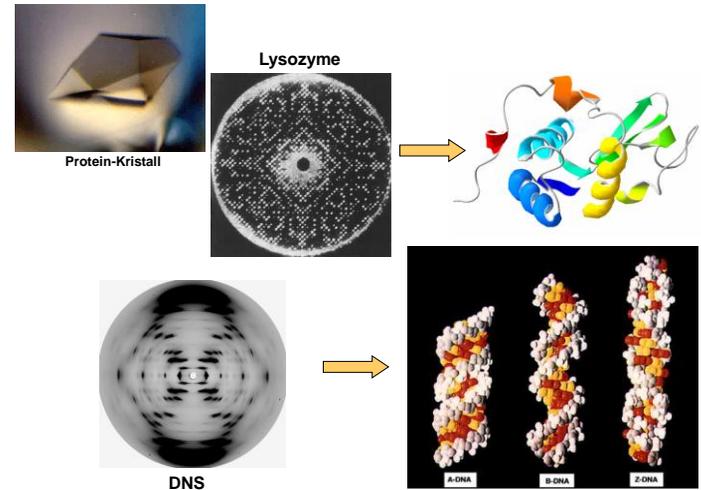
16

## Diffractionsmethoden

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

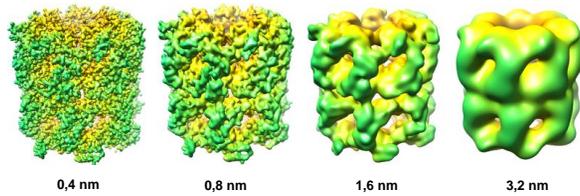


17

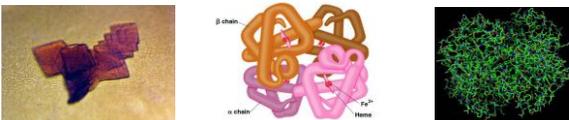


18

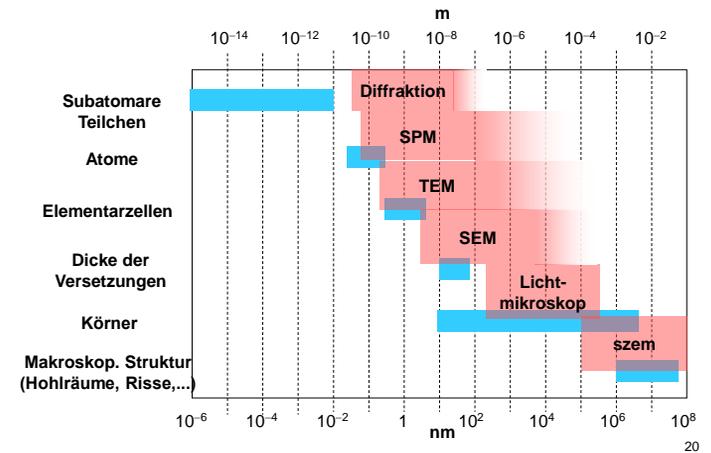
GroEL bei verschiedenen Auflösungen:



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 Auflösungs Grenze eines Lichtmikroskops, wenn die Wellenlänge des Beleuchtungslichtes 550 nm, und der Halboffnungswinkel der Objektivlinse  $70^\circ$  beträgt?

b) Auf welchen Wert kann die Auflösungs Grenze 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: Auflösungs Grenze und Vergrößerung, wenn auf der Aufnahme 1 mm der Auflösungs Grenze 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