

Medizinische Biophysik

10

Licht in der Medizin 2.

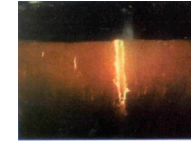
LASER

Strahlungen in der Medizin
Strukturuntersuchungsmethoden in
der Medizin



VII. LASER

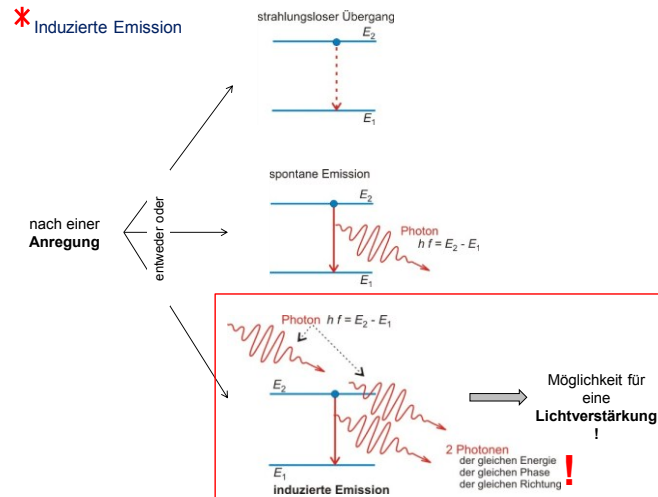
light amplification by stimulated emission of radiation



1. Entstehung des Laserlichtes

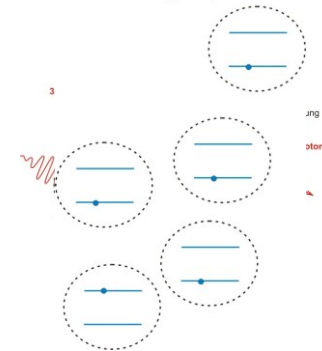
6 Schlüsselwörter des Lasers:

* Induzierte Emission	* Pumpen
* Besetzungsinversion	* Rückkopplung
* Laserniveau	* Optischer Resonator



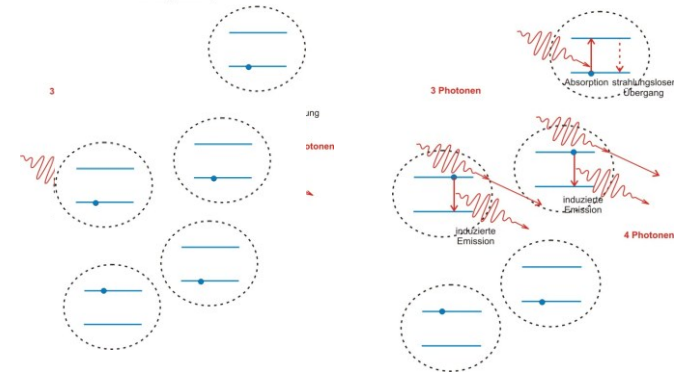
* Besetzungsinversion

normale Besetzung
(nach der Boltzmann-Verteilung
im Gleichgewicht)



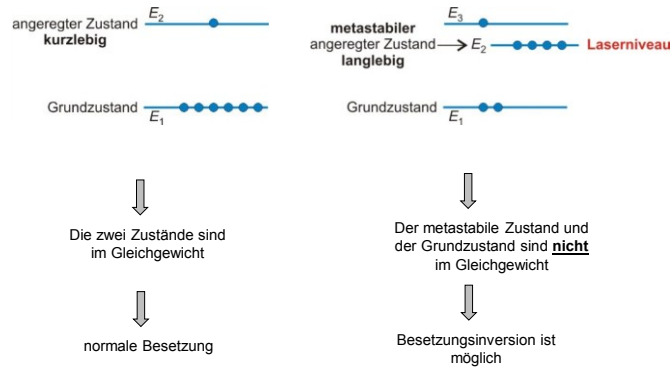
Schwächung des einfallenden Lichtes

Besetzungsinversion
(kein Gleichgewicht)



Lichtverstärkung

* Laserniveau



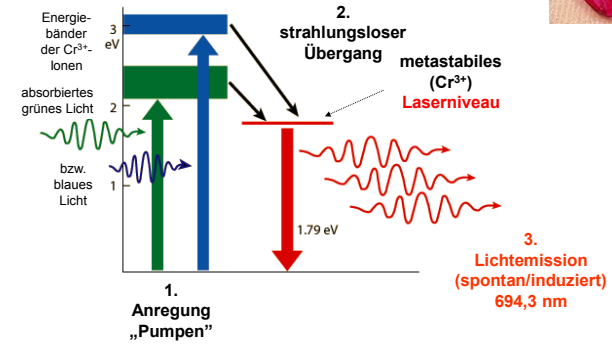
5

Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers

$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$
(Rubin)

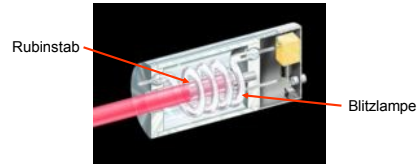


Drei-Niveau-System:

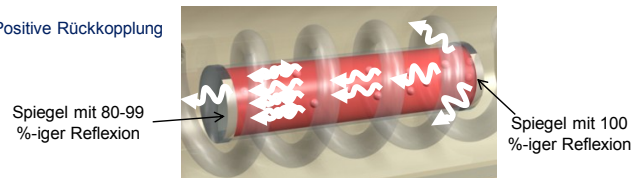


6

* Pumpen

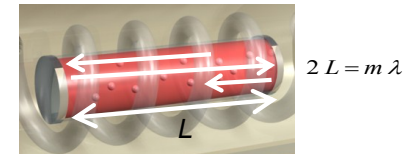


* Positive Rückkopplung

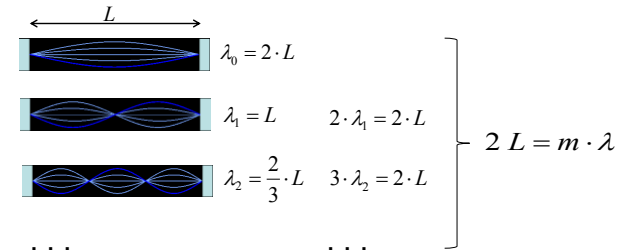


7

* Optischer Resonator

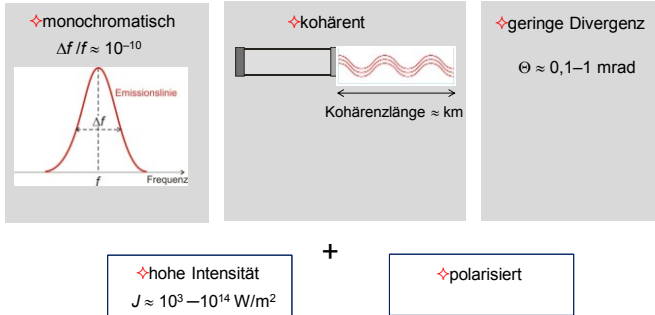


Stehende Wellen in einem Resonator:



8

2. Eigenschaften der Laserstrahlung

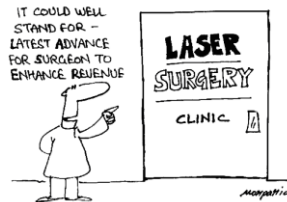
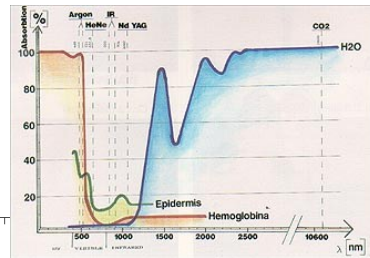
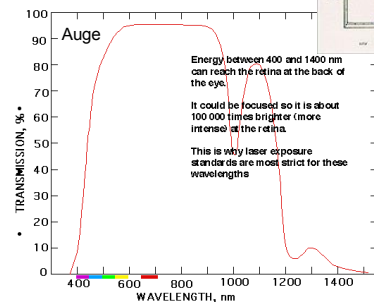


3. Lasertypen

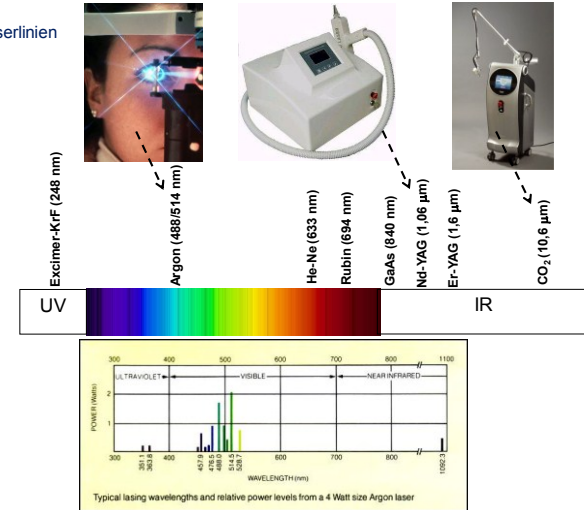
- Betriebsart
 - Dauerstrichlaser
 - Impulslaser
- Lasermaterial
 - gasförmig
 - flüssig
 - kristallin

4. Medizinische Anwendung

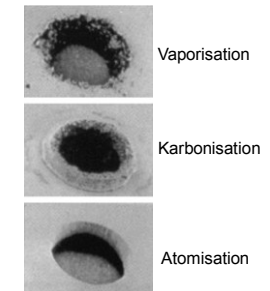
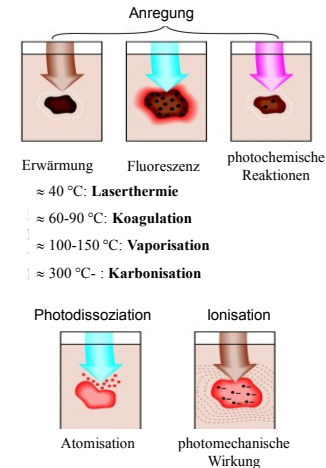
- Absorption in Geweben



- Laserlinien

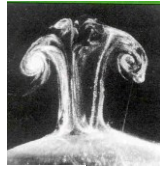


- Folgerungen der Absorption

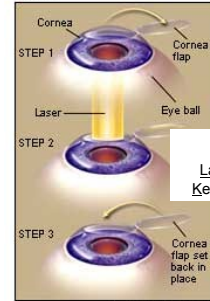


▪ Beispiele

Laserbehandlung der Hornhaut



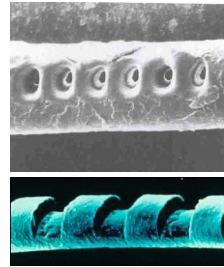
LASIK



LASIK:
Laser In-situ
Keratomileusis

© 2003 WebMD Inc.

Laserbohrungen durch ein
menschliches Haar



13



Port Wine Stain



vor der Behandlung

nach der Behandlung

Laser Resurfacing



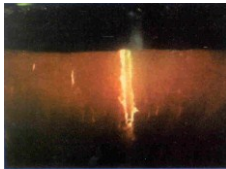
Enthaarung



Entfernung von Tätowierungen

14

Herzwandchirurgie



Leg Veins After 2 Laser Treatments



Kehlkopfchirurgie

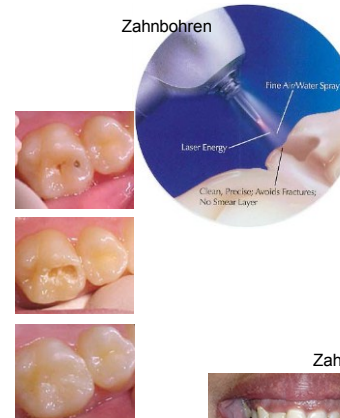


Trommelfelldurchbohrung



15

Zahnbohren



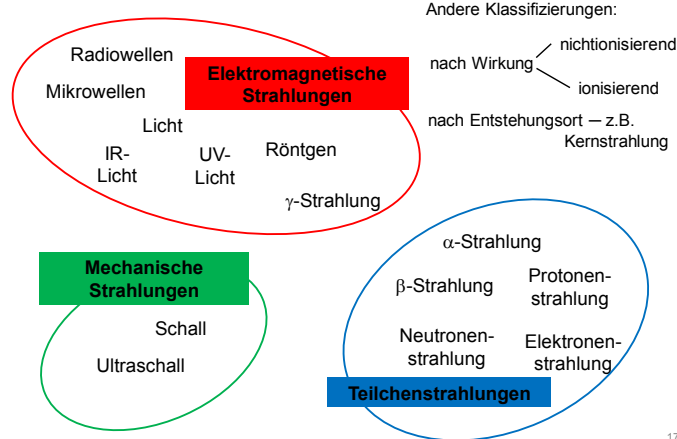
Entfernen von
Zahverfärbungen

Zahnfleisch-Entfernung



16

Strahlungen in der medizinischen Praxis



17

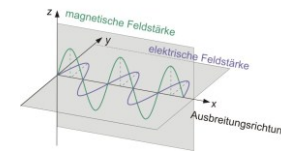
1. Gemeinsame Eigenschaften

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

2. Elektromagnetische Strahlungen

Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

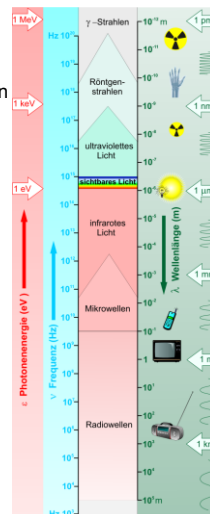
$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Vakuum}) \quad \varepsilon = h \cdot f$$



18

7 Bereiche:

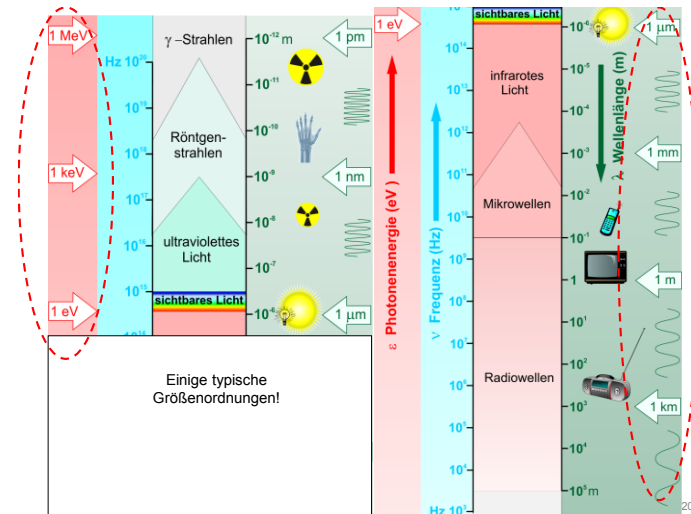
- γ-Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



Anwendungsbeispiele:

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

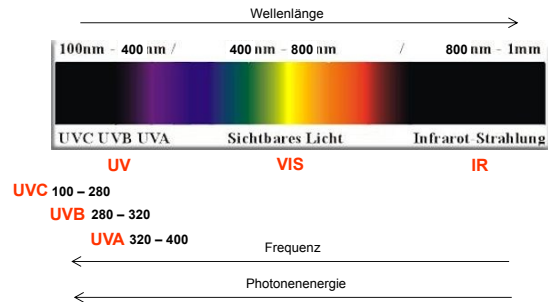
19



20

▪ Lichtbereiche

$$c = \lambda \cdot f$$



21

3. Teilchenstrahlungen

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

• Materiewellen

de Broglie (1923): Materiewellen

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

Davisson & Germer (1927): Elektronenbeugungsexperiment

Elektronenstrahl, Au, Schirm, Diffraktionsbild

- Anwendungsbeispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie

22

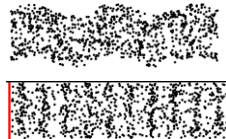
4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

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

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



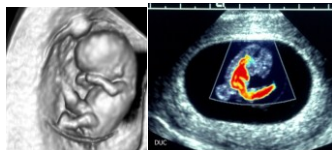
- transversale/longitudinale Wellen

- 3 Bereiche:

Infraschall	–	Hörschall	–	Ultraschall
< 20 Hz		20 Hz – 20 kHz		20 kHz <

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören



23

Struktur Untersuchungsmethoden in der medizinischen Forschung

1. Spektroskopische Verfahren

- Fluoreszenzspektroskopie
- Absorptionsspektroskopie

2. Mikroskopie

- Lichtmikroskop
- Spezielle Lichtmikroskope
- Elektronenmikroskope
- Rastersondenmikroskope (SPM)

3. Diffraktionsmethoden

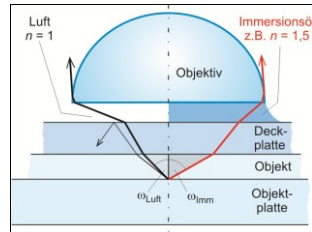
- Röntgendiffraktion
- Elektronendiffraktion
- Neutronendiffraktion

4.

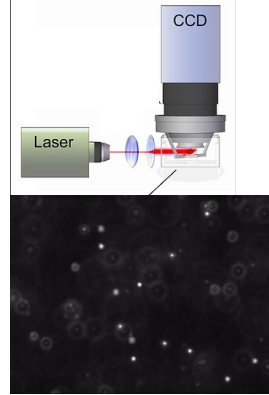
24

2. Mikroskopie

- a) Lichtmikroskop
- b) Spezielle Lichtmikroskope
 - Immersionsobjektiv

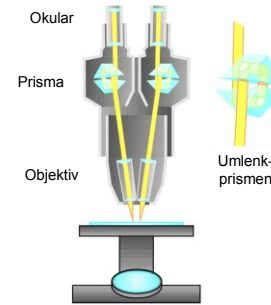


▪ Ultramikroskop (Dunkelfeldmikroskop)



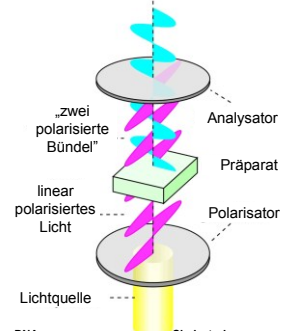
25

▪ Stereomikroskop

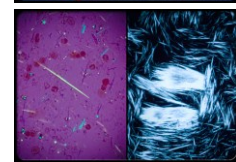


26

▪ Polarisationsmikroskop



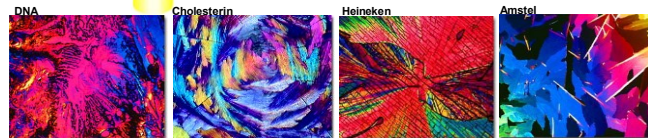
Gicht



Polarisations-mikroskop

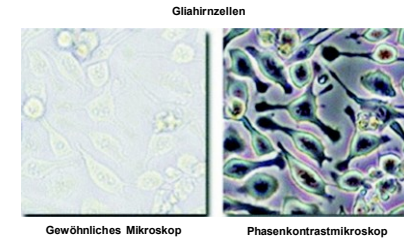
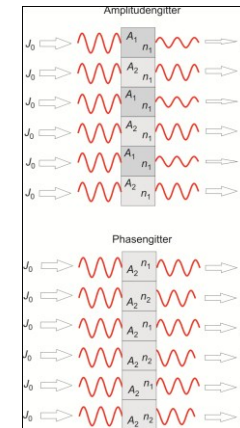
Gewöhnliches Mikroskop

Ablagerung von Harnsäure-Kristalle



27

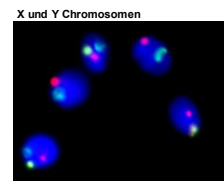
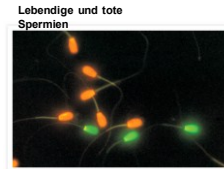
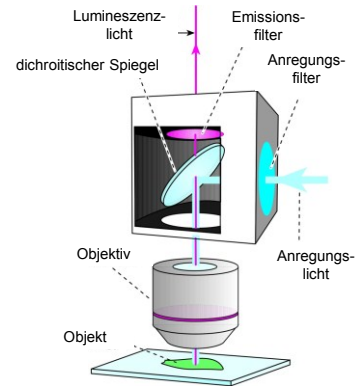
▪ Phasenkontrastmikroskop



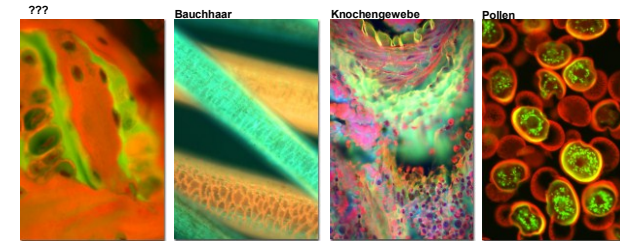
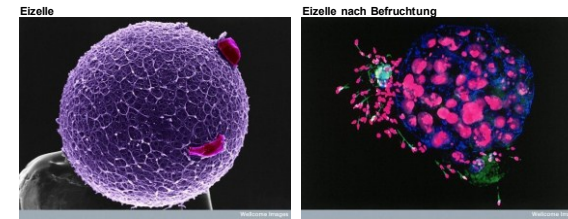
28

Fluoreszenzmikroskop

Epifluoreszenz-Anordnung:

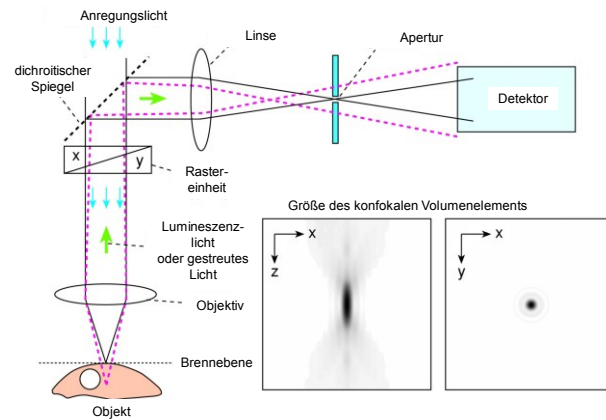


29

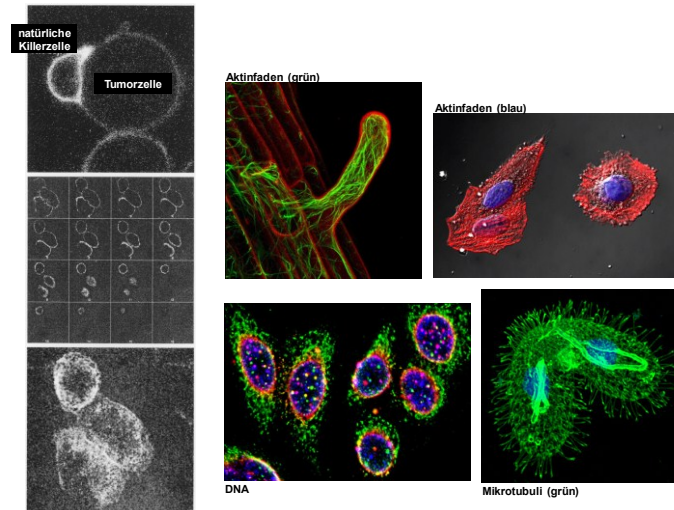


30

Konfokales Laser Rastermikroskop (CLSM)



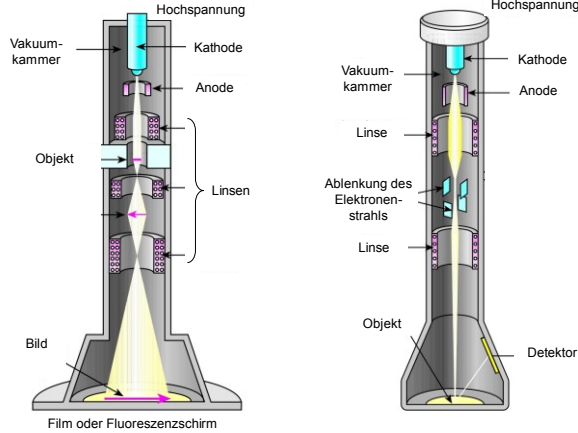
31



32

c) Elektronenmikroskope

- Transmissionselektronenmikroskop (TEM)
- Rasterelektronenmikroskop (SEM)



33

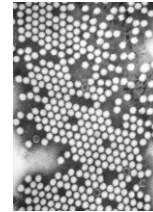
▪ Auflösungsgrenze (δ):

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

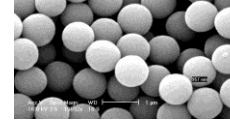
$\lambda \approx 0,005 \text{ nm}$
 $NA \approx 0,03$

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

Viren der Kinderlähmung (TEM)



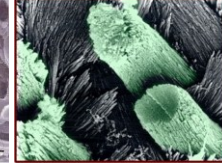
TiO-Kugeln (SEM)



Zahnplaque (SEM)



Zahnschmelzprismen mit den Apatitkristallen (SEM)



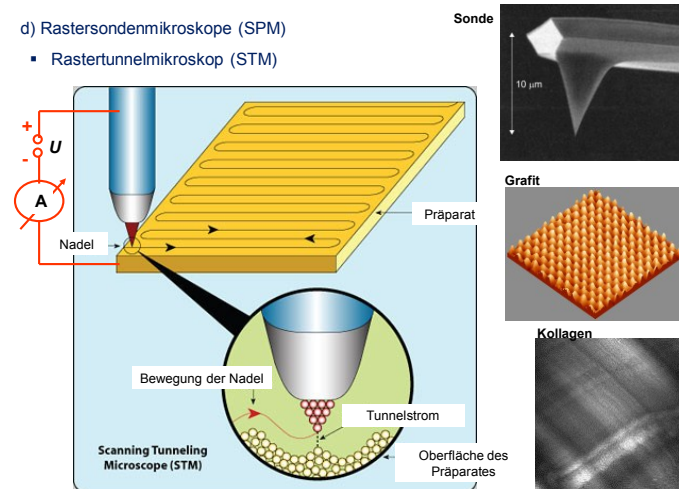
Dentin mit den Odontoblasten (SEM)



34

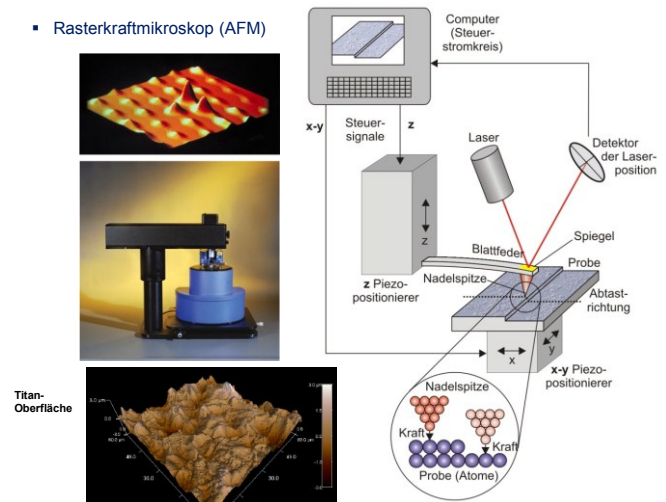
d) Rastersondenmikroskope (SPM)

- Rastertunnelmikroskop (STM)

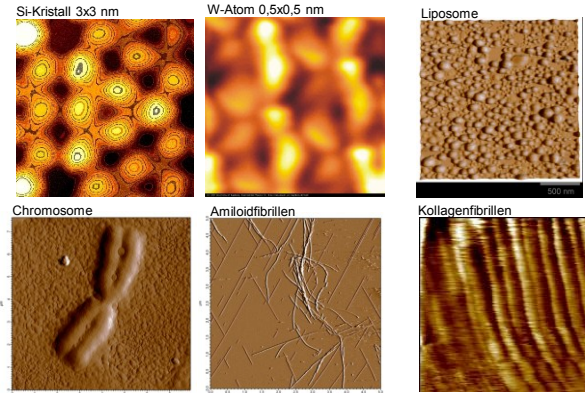


35

- Rasterkraftmikroskop (AFM)



36

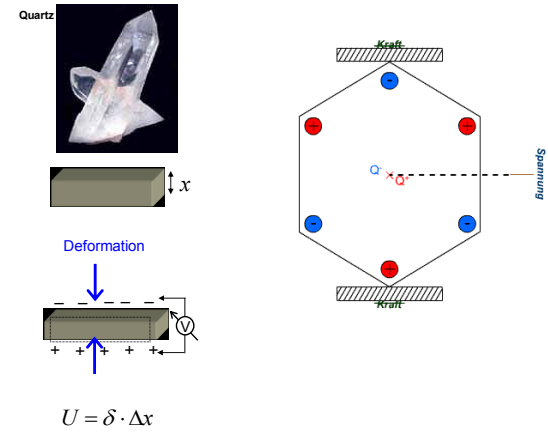


- Auflösung:
 - Spitze der Sonde
 - Feinheit des Rastern → Piezopositionierer

37

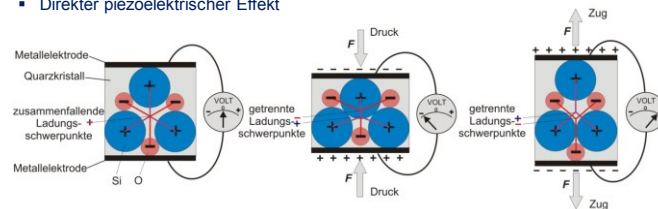
▪ Piezoelektrizität (piezoelektrischer Effekt)

(s. später Sonographie)

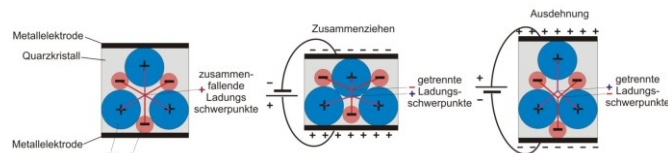


38

▪ Direkter piezoelektrischer Effekt



▪ Inverser piezoelektrischer Effekt

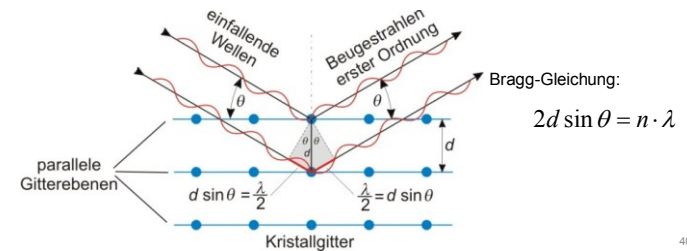
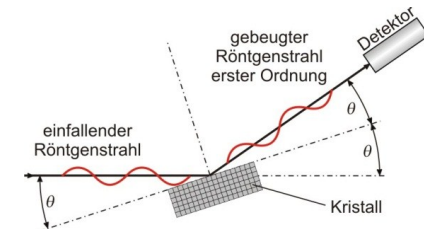


39

3. Diffraktionsmethoden

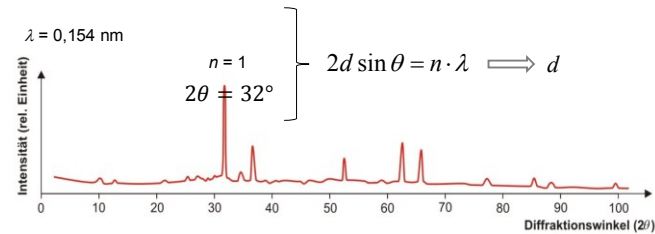
a) Röntgendiffraktion

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



40

Beispiel:
Röntgendiffraktionsspektrum von Blei (Pb)

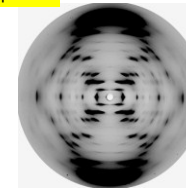


b) Elektronendiffraktion $\lambda \approx 0,1 \text{ nm}$

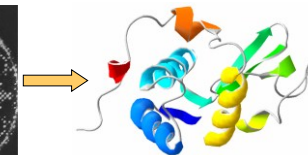
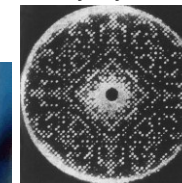
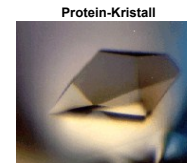
c) Neutronendiffraktion $\approx 0,01 \text{ nm}$

41

Beispiele:

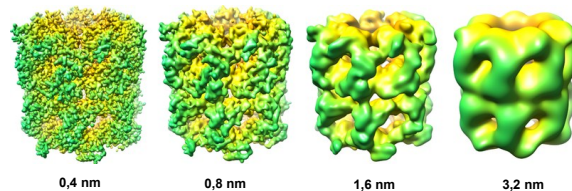


Lysozyme



42

GroEL bei verschiedenen
Auflösungen:



Hämoglobin:



43

Rechenaufgaben: ■ Praktikumsbuch : 54, 55

- Bei einer Trommelfelldurchbohrung wird das Licht eines Nd-YAG Lasers auf eine Fläche von 1 mm^2 des Trommelfells fokussiert. Die Intensität des fokussierten Laserstrahls beträgt $2 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$. Vorausgesetzt, dass die ganze einfallende Lichtenergie in einem Volumen von 1 mm^3 des Trommelfells absorbiert wird,
 - wie lange muss das Trommelfell bestrahlt werden, damit das Gewebestück von 37°C auf 100°C erwärmt wird,
 - wie lange muss das Gewebestück noch weiter bestrahlt werden, damit es verdampft?

(Daten des Gewebes: Dichte = $1,02 \text{ g/cm}^3$, spezifische Wärmekapazität = $3400 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$, spezifische Verdampfungswärme = 2000 kJ/kg .)
- Eine Schallwelle besitzt im Wasser eine Wellenlänge von 3 mm .
 - Berechnen Sie die Frequenz dieses Schalles.
 - Was für ein Schall ist das?
 - Wie groß wäre die Wellenlänge in der Luft?

Lösungen:

- a) $0,109 \text{ s}$, b) $1,02 \text{ s}$
- a) 500 kHz , b) Ultraschall, c) $660 \mu\text{m}$

44