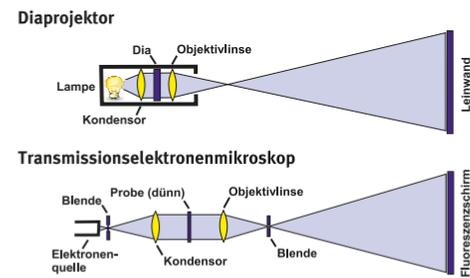


## Atome sichtbar gemacht Transmissionselektronenmikroskopie

### Prinzip der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)



### Blick in den Mikrokosmos

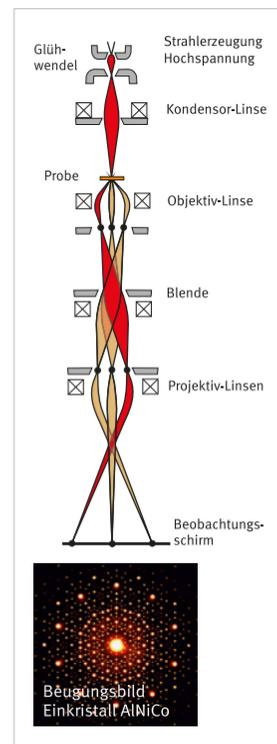
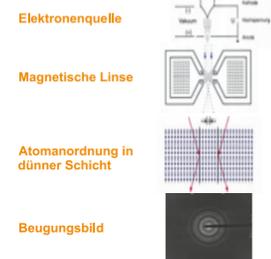
Atom, Nanopartikel, Nanodraht, Kristall-Struktur, Blatt der Lotusblume

Wellenlänge der Elektronen: (de Broglie Wellenlänge)  
 $\lambda = \frac{h}{p}$   
 $\lambda = \frac{h}{2m_e \cdot v} \cdot \left(1 + \frac{eU}{2m_e v^2}\right)$

Elektronenmikroskopie (Fluoreszenzschirm) | Auflösungsvermögen  $d_{\text{TEM}} \approx 0,1 \text{ nm}$  | Lichtmikroskopie (100µm)

100pm 1nm 10nm 100nm 1µm

### Strahlführung im TEM (schematisch)

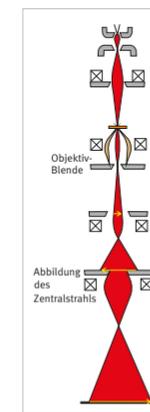
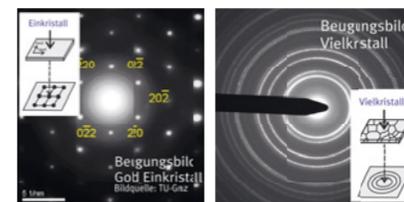


### TEM im Beugungsmodus

Elektronen können sowohl Teilchen als auch Welle sein. Im Gegensatz zu Lichtwellen sind dies aber Materiewellen, da Elektronen eine endliche, sehr kleine Ruhemasse besitzen ( $m_{e0} = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ).

Treffen diese Wellen auf Atome, werden sie gebeugt. An jedem Atom entsteht eine neue Materiewelle; diese überlagern sich und bilden charakteristische Interferenzmuster.

Aus diesen Mustern kann man die Anordnung der Atome und ihre Abstände in Elementarzellen bestimmen. Einkristalle ergeben Punktmuster, Vielkristalle ergeben Ringe.



### TEM im Hellfeldmodus

Die Bildentstehung im Hellfeldmodus beruht auf: **Absorptionskontrast**

Elektronen werden je nach Dicke der Probe unterschiedlich stark absorbiert.

**Massen-(Z)-Kontrast**

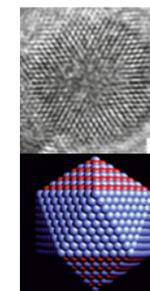
Elektronen werden an schweren Atomen (hohe Ordnungszahl) stärker abgelenkt als an leichten.

**Bragg-Kontrast**

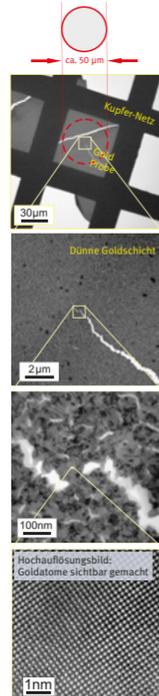
Elektronen werden an Gitterebenen „reflektiert“.

Abgelenkte Strahlen werden durch eine Blende abgeschirmt, so dass Elektronenstrahlen von dieser Probenstelle nicht mehr auf dem Schirm auftreffen. Der Hell-Dunkel-Kontrast entsteht also dadurch, dass nur der Zentralstrahl zur Bildentstehung beiträgt.

Bei hochauflösender Mikroskopie tragen dagegen alle Elektronenstrahlen zur Bildentstehung bei. Das Bild entsteht durch Überlagerung aller Elektronenwellen, wobei der Kontrast durch die gegenseitige Phasenlage der Elektronenwellen bestimmt wird (Phasenkontrast).



Querschnitt eines menschlichen Haares



B9



HIGHLIGHTS  
DER  
PHYSIK