

Elektronenmikroskopie

Ivo Knittel

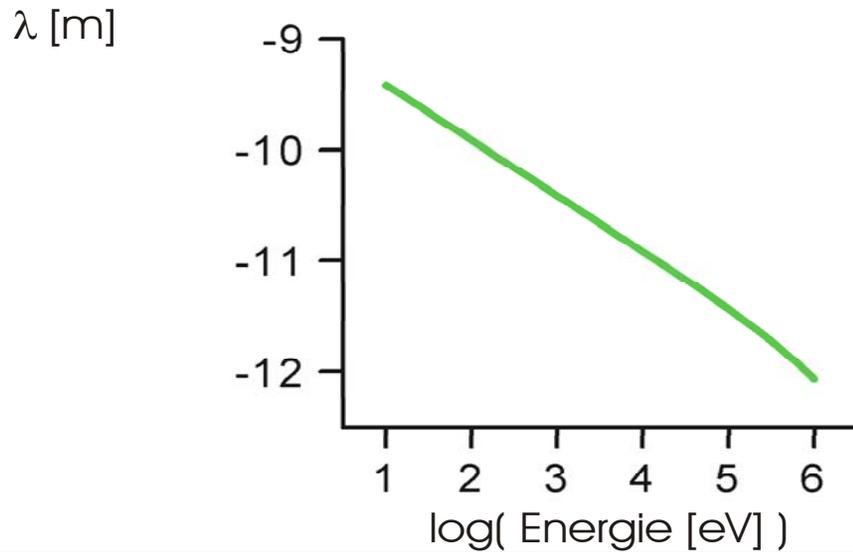
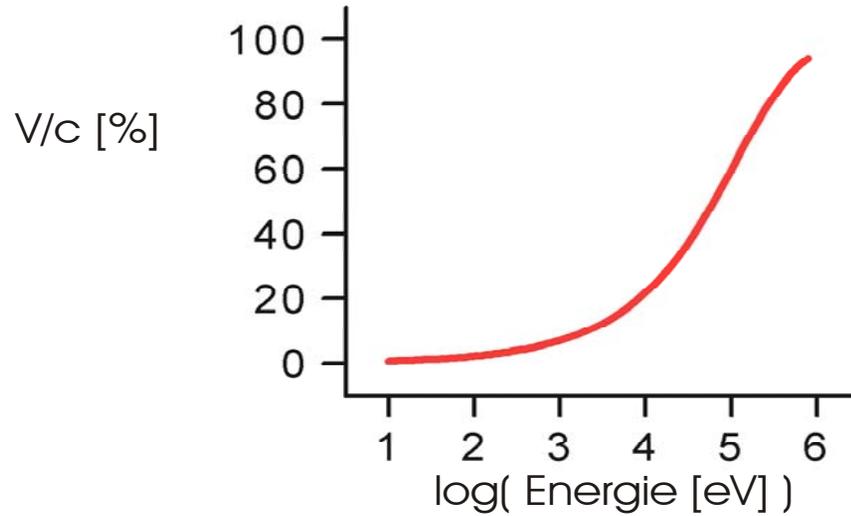
Lehrerfortbildung 3.4.03

AG Prof. Uwe Hartmann
Fachbereich Experimentalphysik
Universität des Saarlandes

Elektronenmikroskopie

- Elektronenoptik
 - Analogie zur Lichtoptik
 - Elektronenlinsen
- Elektronenmikroskopie
 - Bauformen
 - Strahl-Probe-Wechselwirkung
 - Bildinterpretation in Beispielen
- Moderne Entwicklungen
 - *focused ion beam*
 - Röntgenmikroskopie

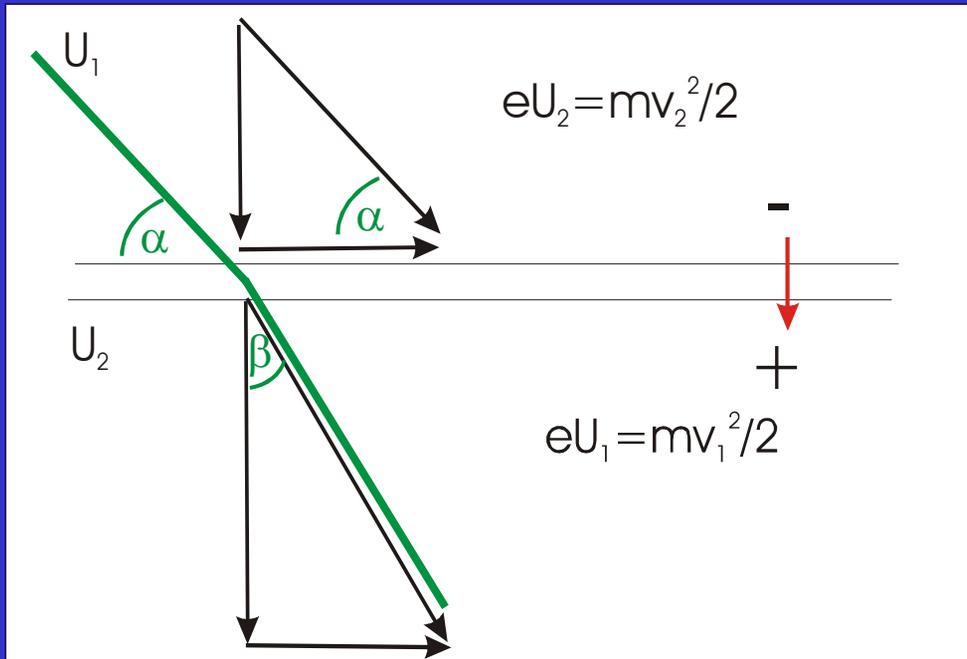
Elektronen: Eigenschaften



Elektronenoptik:

Brechungsgesetz für Elektronen

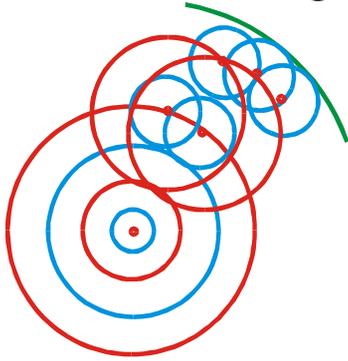
$$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$$



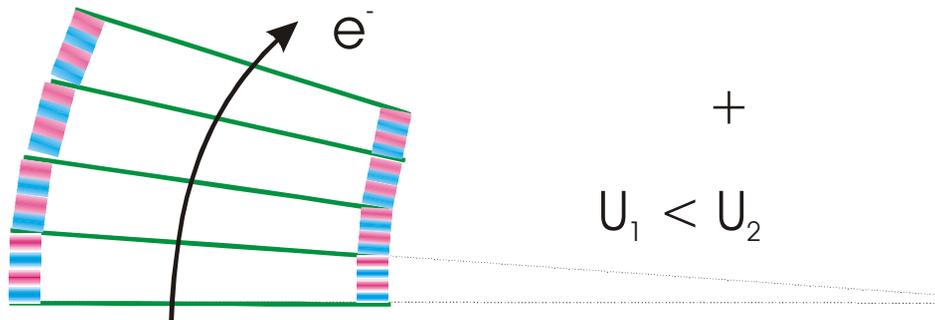
$$\begin{aligned} \sin \alpha &= v_x / v_1, \quad \sin \beta = v_x / v_2 \\ \sin \alpha / \sin \beta &= v_2 / v_1 = U_2^{1/2} / U_1^{1/2} = n_2 / n_1 \\ n &= U^{1/2} \end{aligned}$$

Wellenoptik

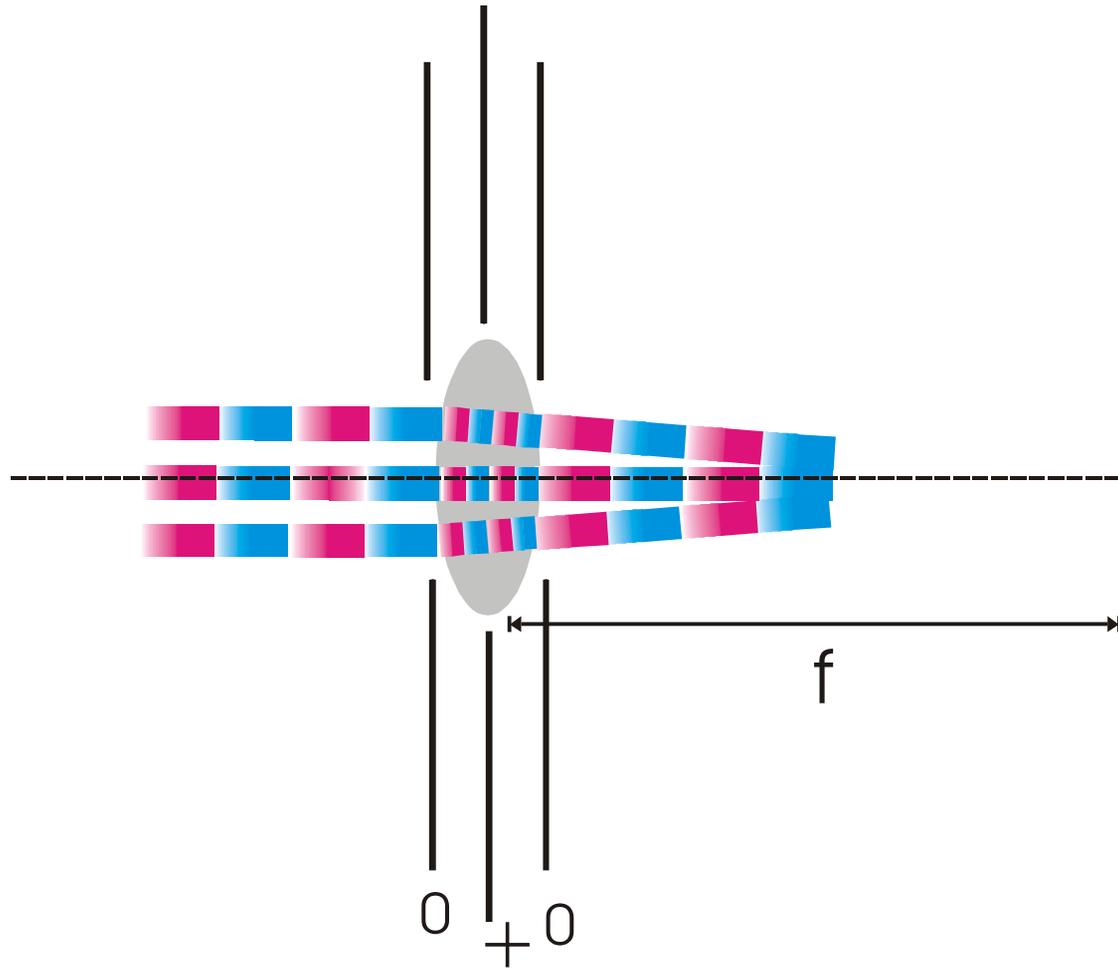
Wellenausbreitung nach dem Hygenschen Prinzip



Anziehung durch positive Ladung
im Wellenbild

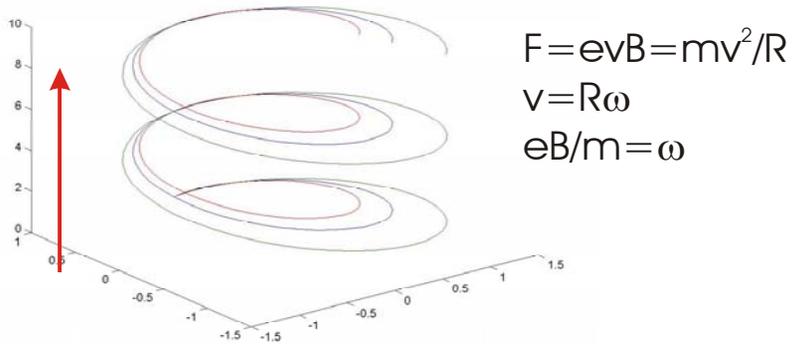


Elektrische Elektronenlinse



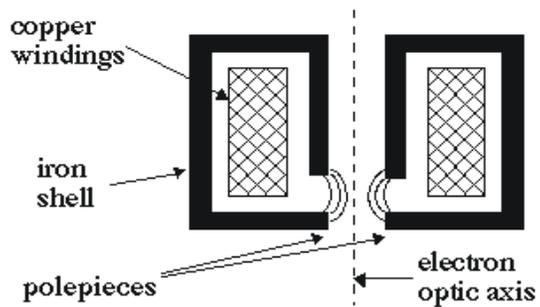
Magnetische Linsen

Fokuspunkte eines Elektronenbündels im
homogenen Magnetfeld

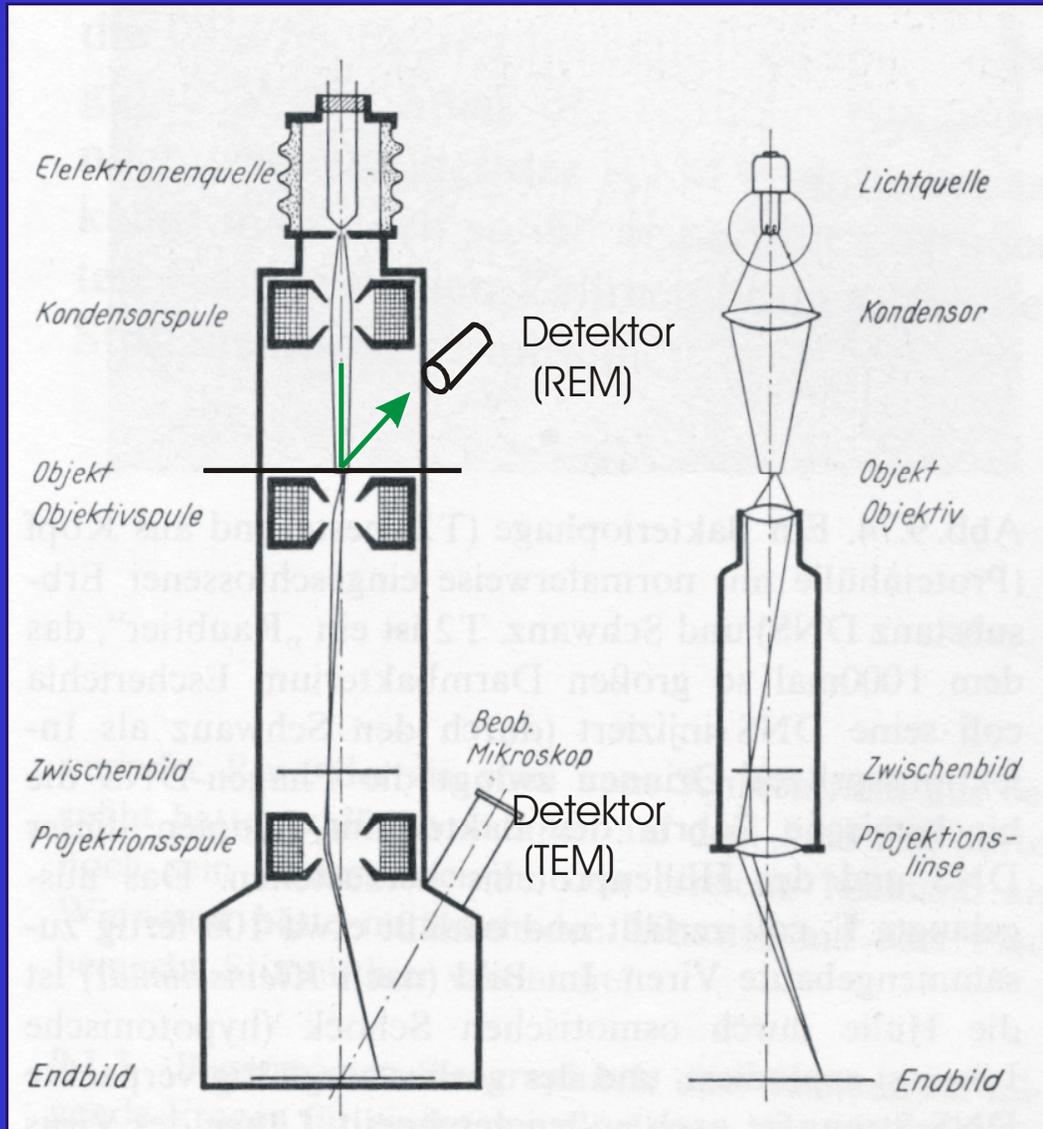


Kurze magnetische Linse (Busch)

$$1/f = \frac{e}{8mU} \int_{-\infty}^{\infty} B_z^2(z) dz$$



Strahlengang



Linienfehler

Auflösung $\frac{\lambda}{\sin \alpha}$, Apertur α geg. durch
Linienfehler

- sphärisch
- chromatisch
- astigmatisch

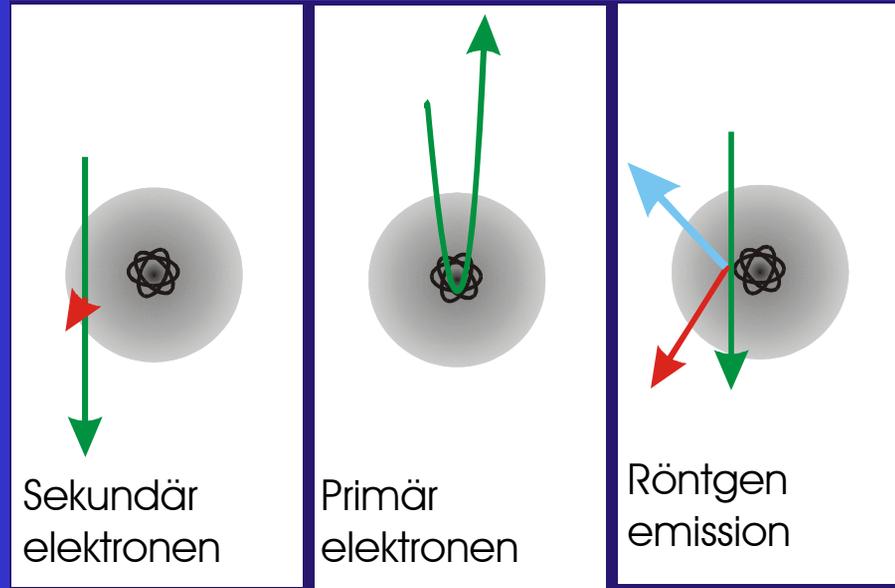
Quellenfreiheit el-mg Felder im Vakuum

- Rotationssymmetrische Elektronenlinsen
haben positive sphärische Linienfehler und
anormale Dispersion
- keine Achromaten
 - kleine Aperturen, achsennahe Strahlen
 - keine EM für Energien unter 1 keV

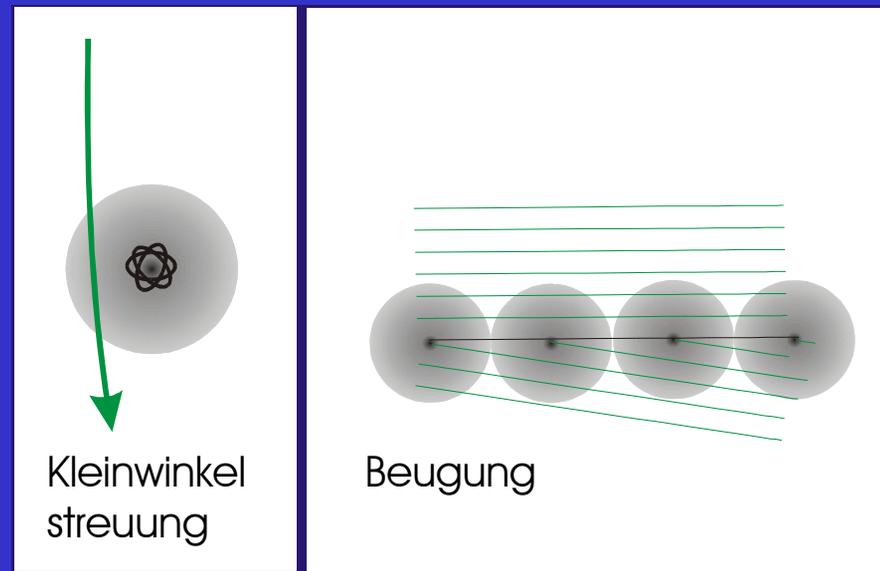
Strahl-Probe-Wechselwirkung

Elementarprozesse

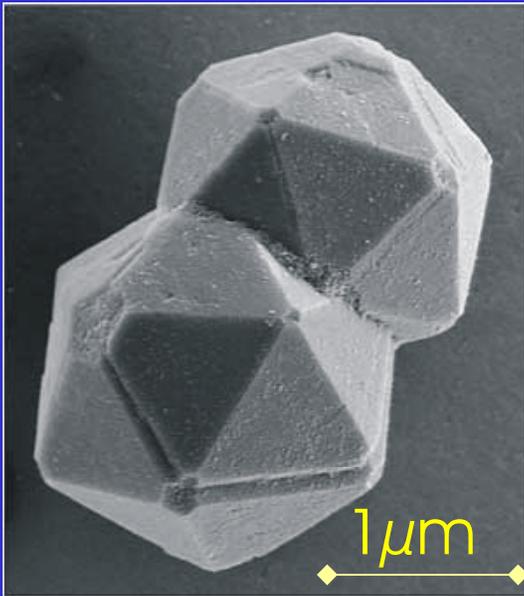
REM



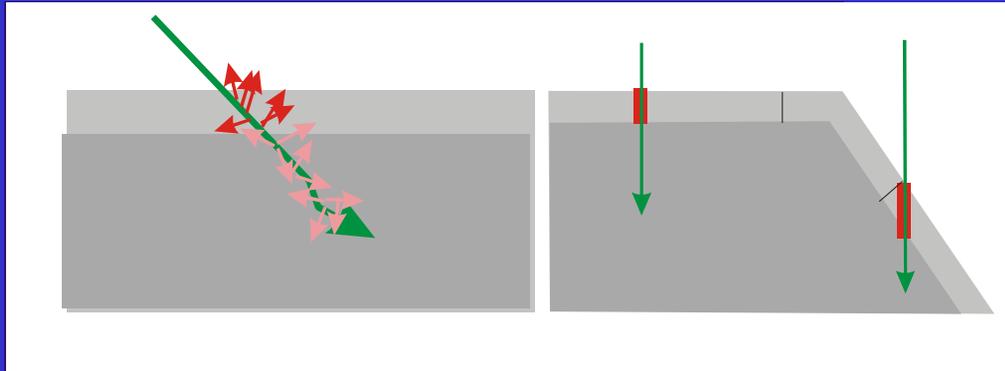
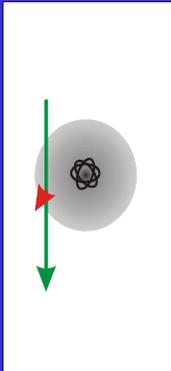
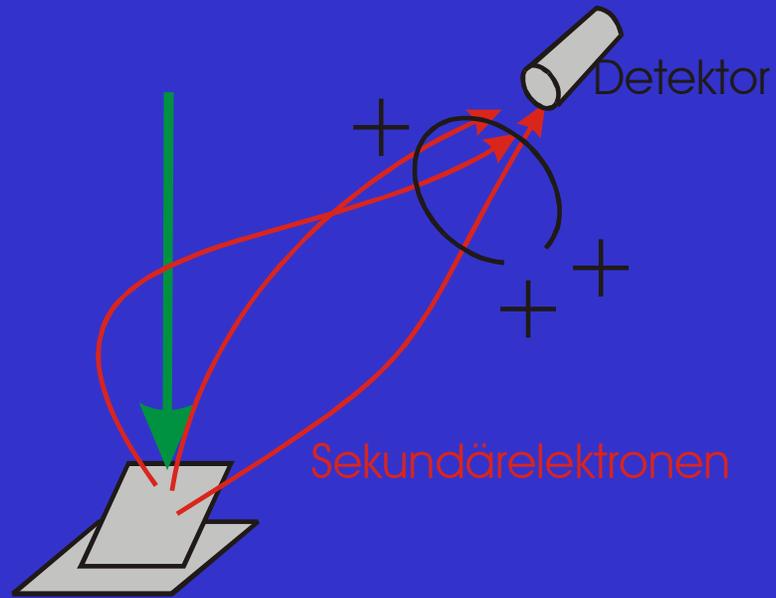
TEM



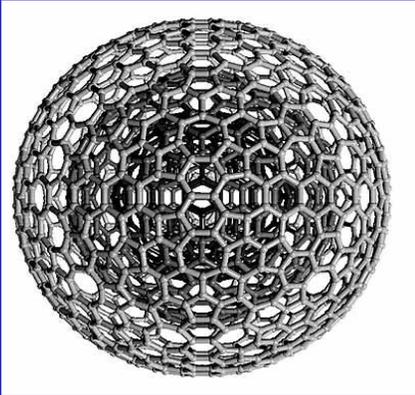
REM Topgrafiekontrast



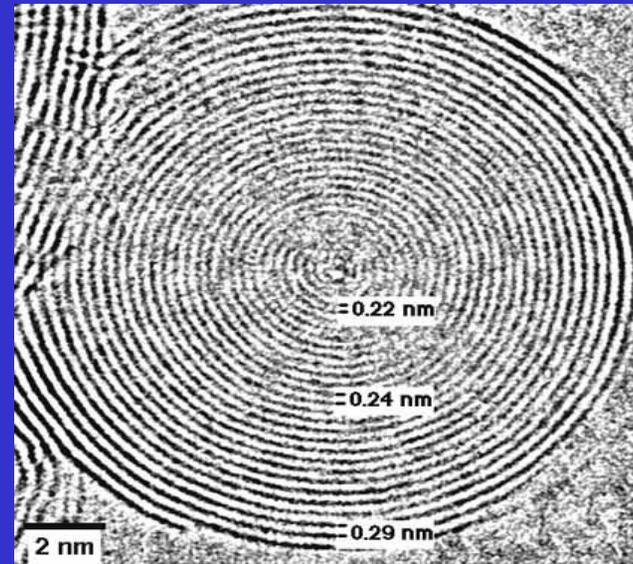
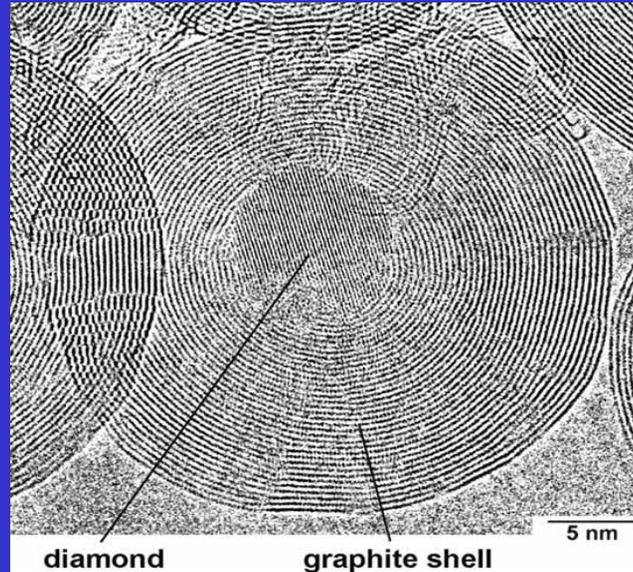
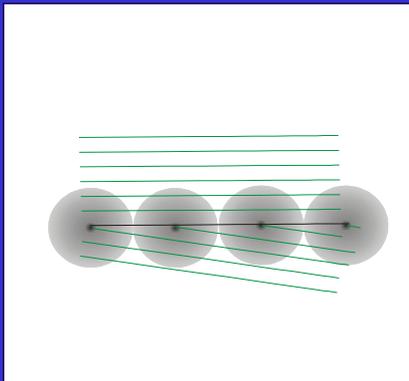
B_6O Arizona State University



TEM Netzebenenkontrast

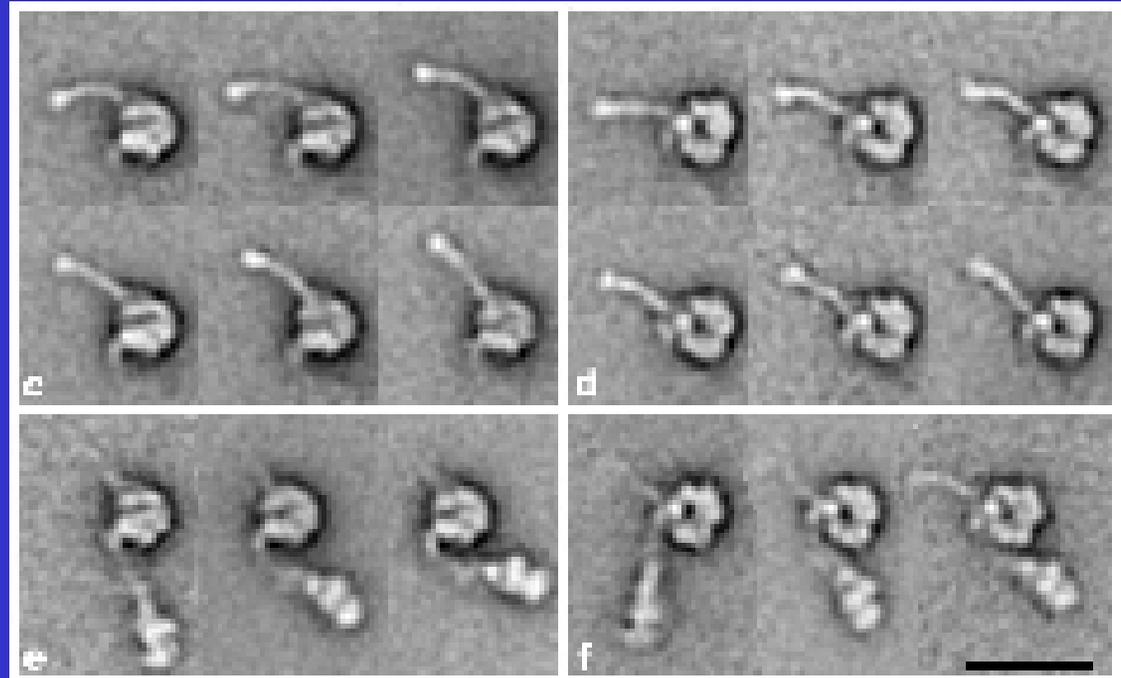


Kohlenstoffzwiebeln
1250kV
MPI Stuttgart
Netzebenenkontrast



TEM Kleinwinkelstreuung

Mikrotubuli-
Motorprotein
Dynein



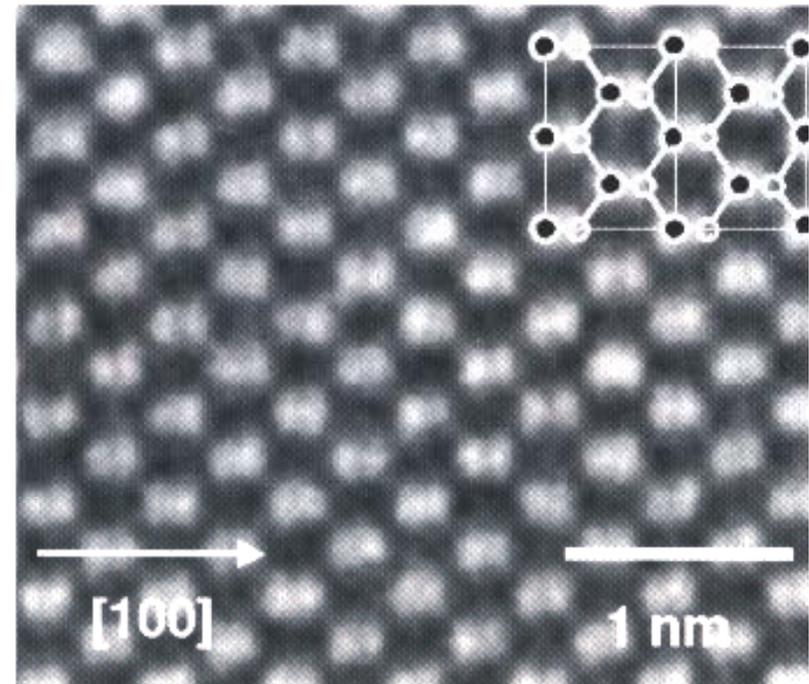
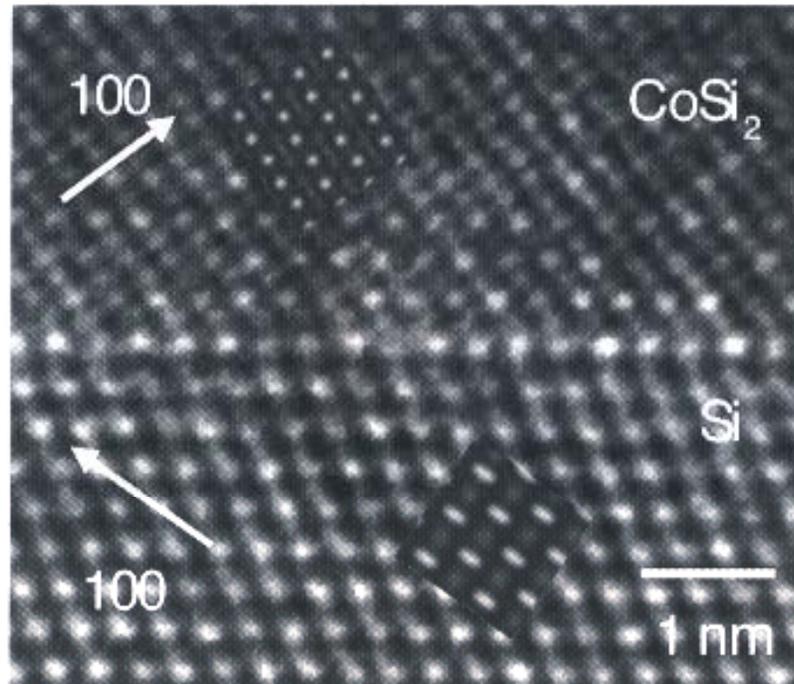
S.Burgess; Leeds University

15nm

Moderne Entwicklungen

- verbesserte Elektronenlinsen
- Materialbearbeitung mit *focused ion beam*
- Röntgenmikroskopie

TEM mit Multipollinse

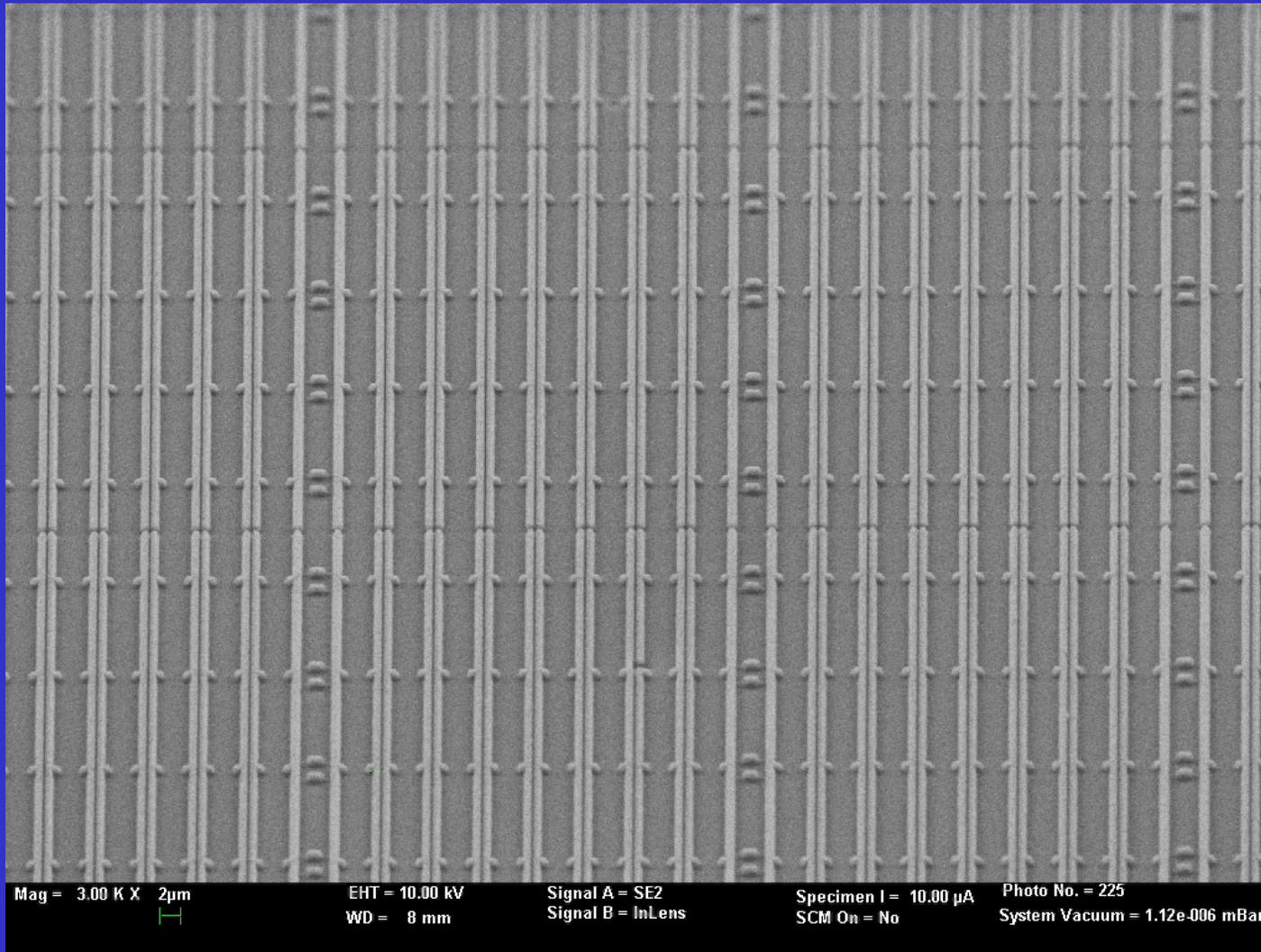


TU Darmstadt

200keV, sphärische Korrektur, Monochromator

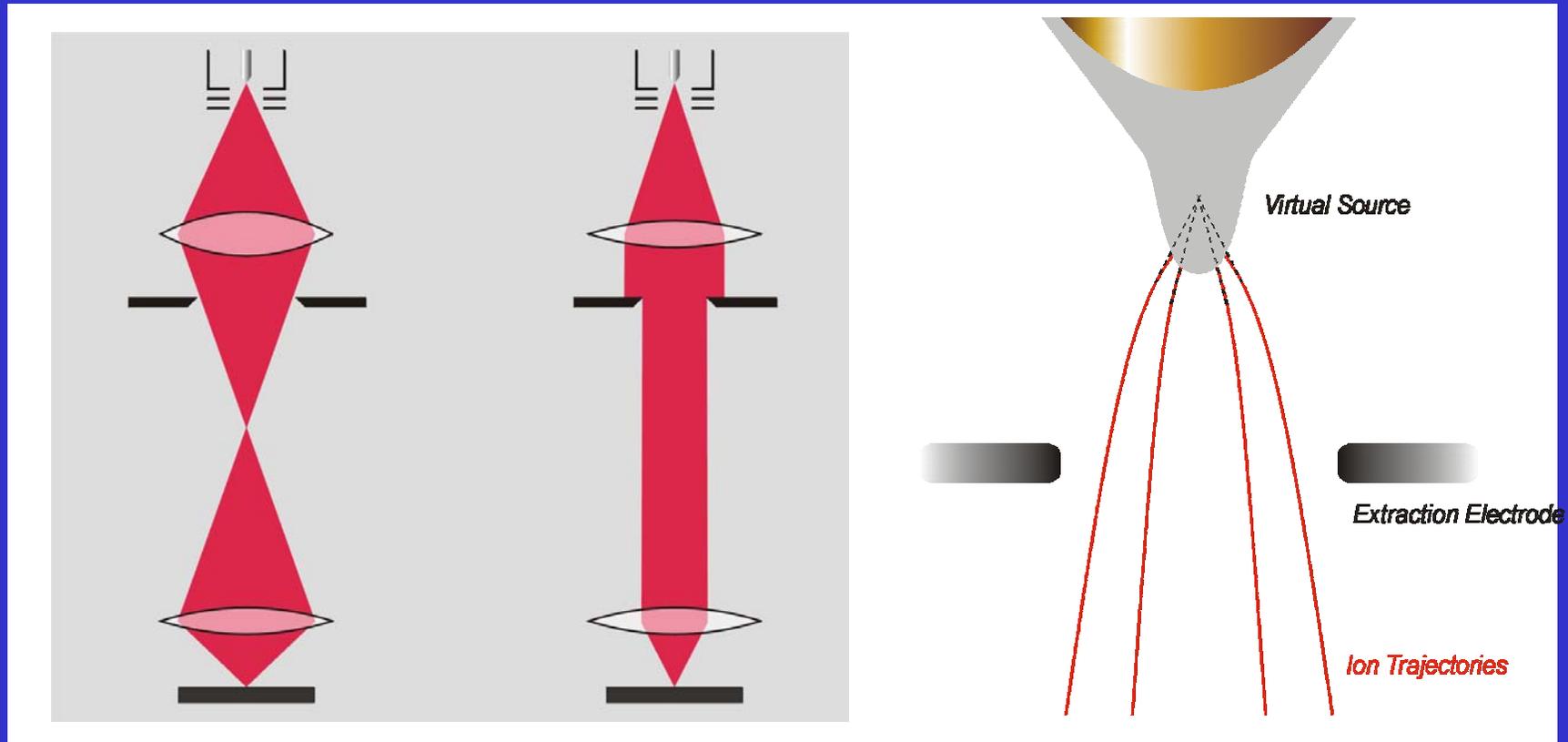
→ Echte atomare Auflösung

Focused Ion beam

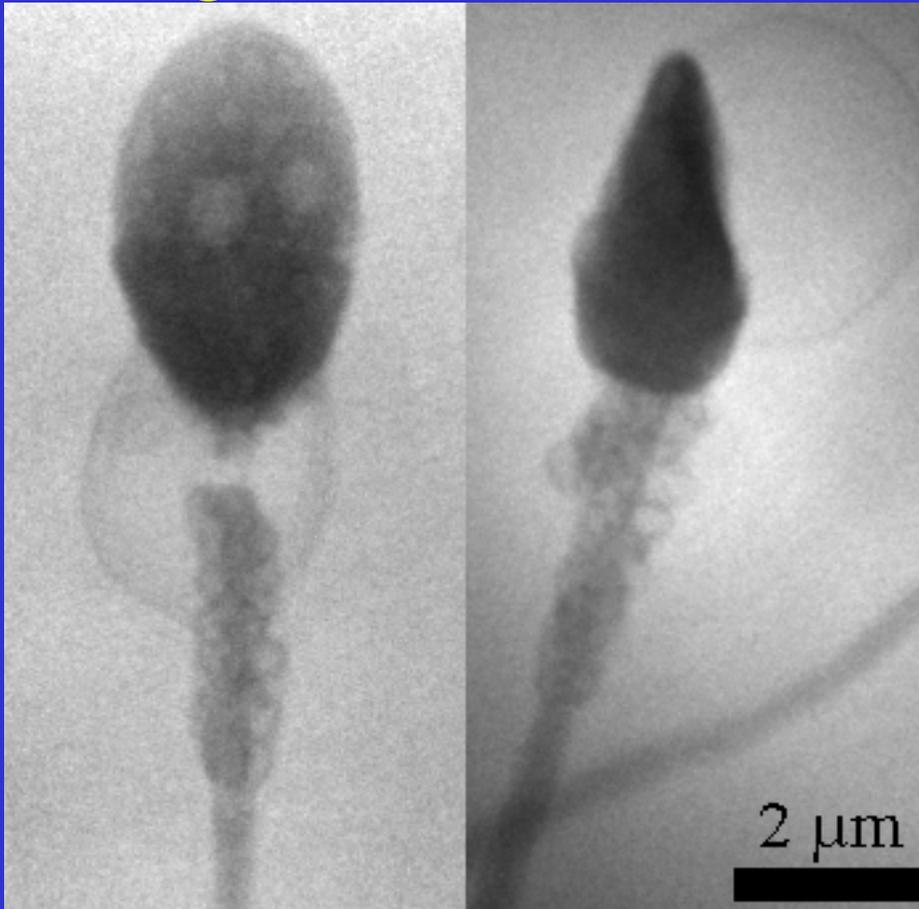


Zeiss LEO 1500XB

FIB: Strahlengang und Ionenquelle



Röntgenmikroskopie – der Nachfolger?



„in vivo“ –Beobachtung
mit sub-optischer
Auflösung

Wasserfenster 2.3 –4.4 nm

Kohlenstoff-Sauerstoff-Kontrast

Technisch (noch) extrem aufwändig

Praktische Übungen am REM

gekörnter Goldfilm

Fibroblasten, Endothelzell-Präparat

Ein Rätsel

TEM Sample Preparation

Pre-thinned Samples using the CrossBeam®

