

Festkörperphysik für Bachelor (E6) sowie für Bachelor plus (E6p)

Ulf Kleineberg

LMU München, Fakultät für Physik

Organisatorisches

Vorlesungstermin und Ort :

Montag, 9 – 10 Uhr c.t., Hörsaal H030 Schellingstr. 4 (**Vertiefungsstunde E6**)

Freitag, 8 – 10 Uhr c.t, Hörsaal N120 großer Physikhörsaal (**alle Studierenden E6,E6p**)

Vorlesungswebseite (mit Folien, Übungen, aktuellen Ankündigungen etc.) :

<http://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/index.html>

Das Material ist zugriffsgeschützt, Zugriff über Campus-Kennung + Passwort

Dozent der Vorlesung :

Ulf Kleineberg

Fakultät für Physik der LMU München

AG Atom-und Röntgenphysik

Am Coulombwall 1

85748 Garching

Ulf.kleineberg@physik.uni-muenchen.de

www.xray.physik.uni-muenchen.de

Tel. 089 2891 4003

Übungsgruppeneinteilung

Gruppe 1 : Mo 8-9 c.t.	Schellingstr 4, H030
Gruppe 2 : Mo 10-11 c.t	Schellingstr. 4, H206
Gruppe 3 : Mo 10-12 c.t.	Kleiner Physikhörsaal
Gruppe 4 : Mo 14-16 c.t.	Schellingstr. 4, H206
Gruppe 5 : Di 8-10c.t.	Schellingstr. 4, H206
Gruppe 6 : Fr 16-18 c.t.	Schellingstr. 4, H206

Anmeldung per LSF Anmeldeskript WS 2017/2018 (ab sofort)

(Eventuell gibt es auch nur 2-3 große Übungsgruppen)

Informationen zu Übungen und Klausur

Die aktive Teilnahme an den Übungsgruppen ist essentiell für das Vertiefen des Lernstoffes und damit das gute Bestehen der Klausur

Ausgabe der Übungen : online bis Do

Die Übungen dürfen max. in Zweiergruppen bearbeitet werden

Abgabe der Übungen : bis Do 15 Uhr in den Postfächern im Dekanat

Rückgabe der Übungen : jeweils zu Beginn der Übungen

Als Anreiz zur aktiven Teilnahme gibt es ein Bonussystem :

Voraussetzung 1 : Bearbeiten von >50 % der Aufgaben

Voraussetzung 2 : Jeder rechnet min. einmal in seiner Gruppe vor

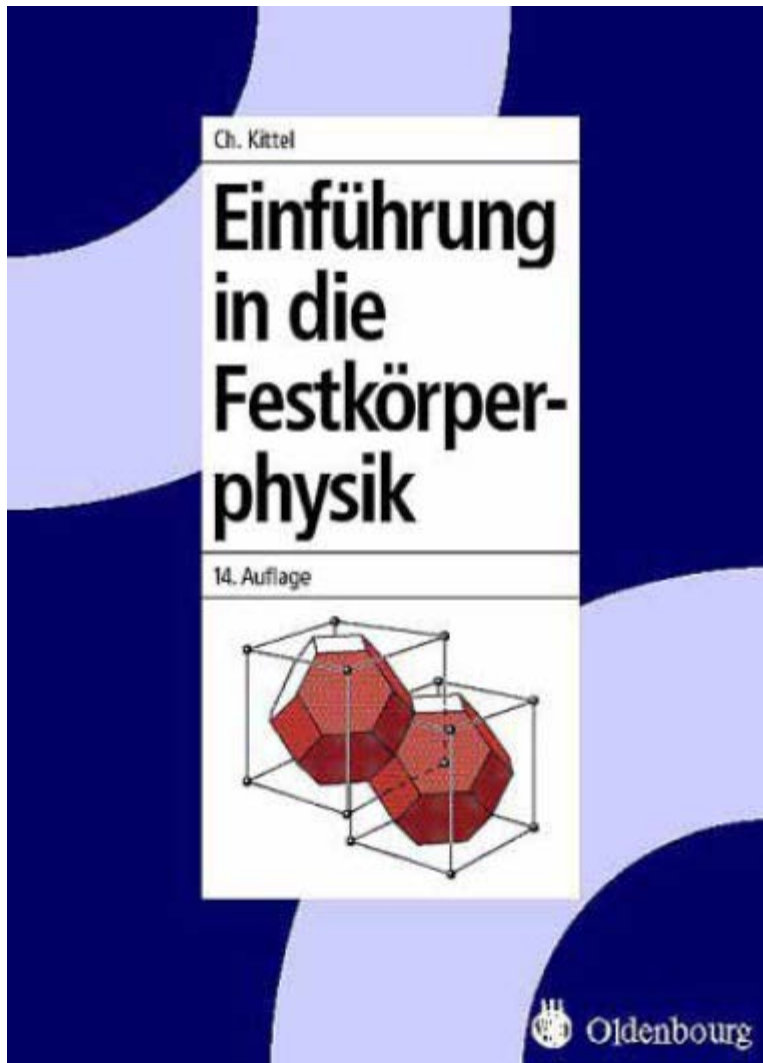
Bonus : Klausurnote wird um eine Teilnote (z.B. 2,3>2,0) aufgewertet

Probeklausur : online in der letzten Vorlesungswoche

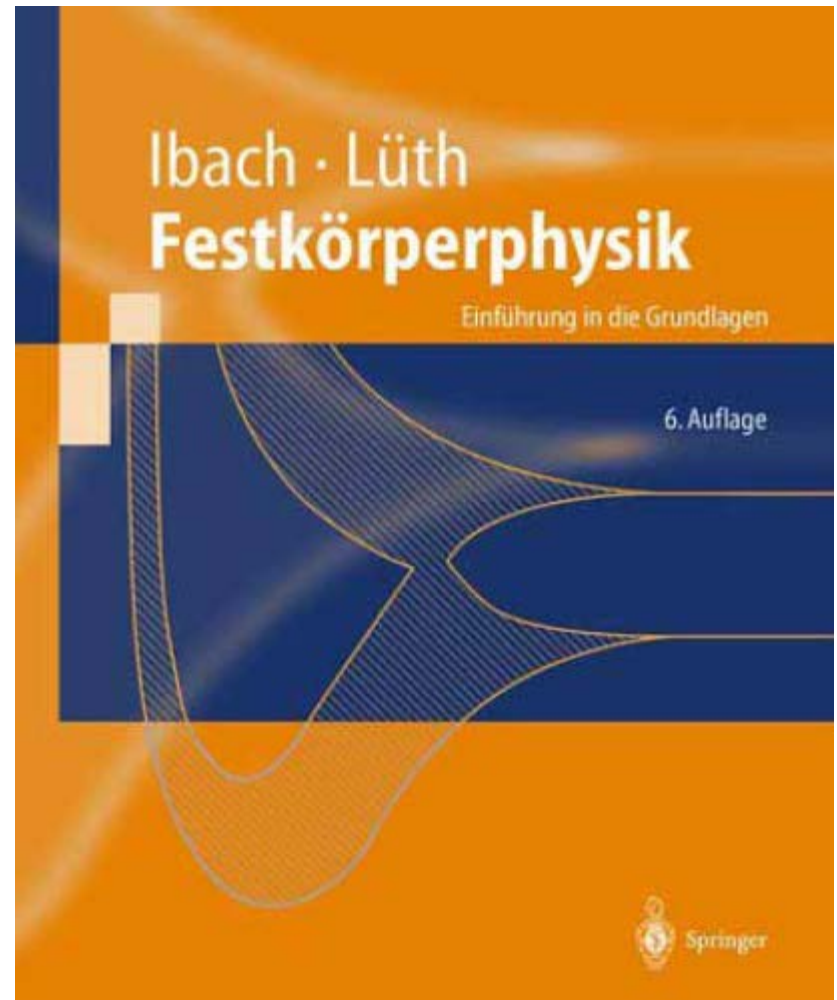
Klausur (2stündig) : am 12.2.2018, 14-16 Uhr Großer Physikhörsaal

Nachklausur (2stündig) : am 28.03.2018, 14-15 Uhr (B101/B201)

Literatur zur Vorlesung

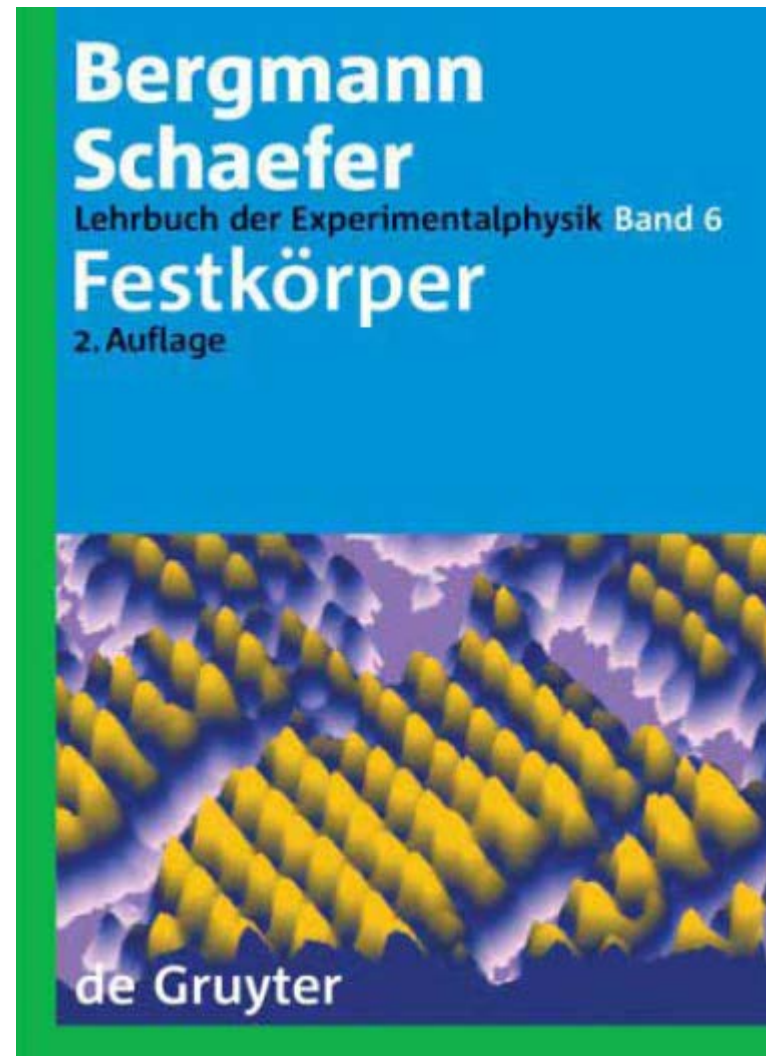
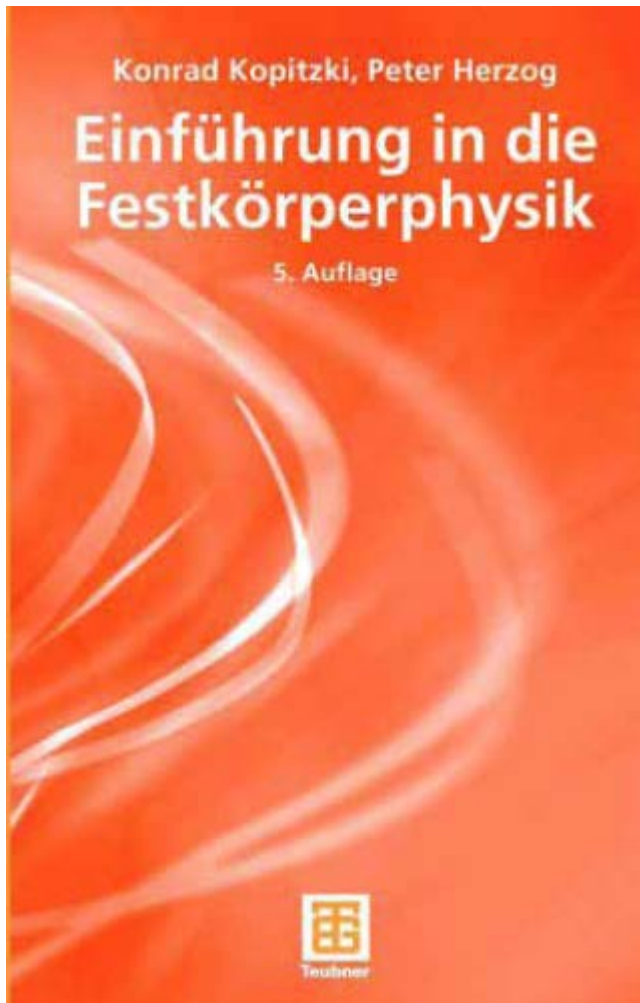


Das Standardwerk der Festkörperphysik,
Sehr umfangreich



Sehr gutes Buch in
Komprimierter Darstellung

Weitere Literatur

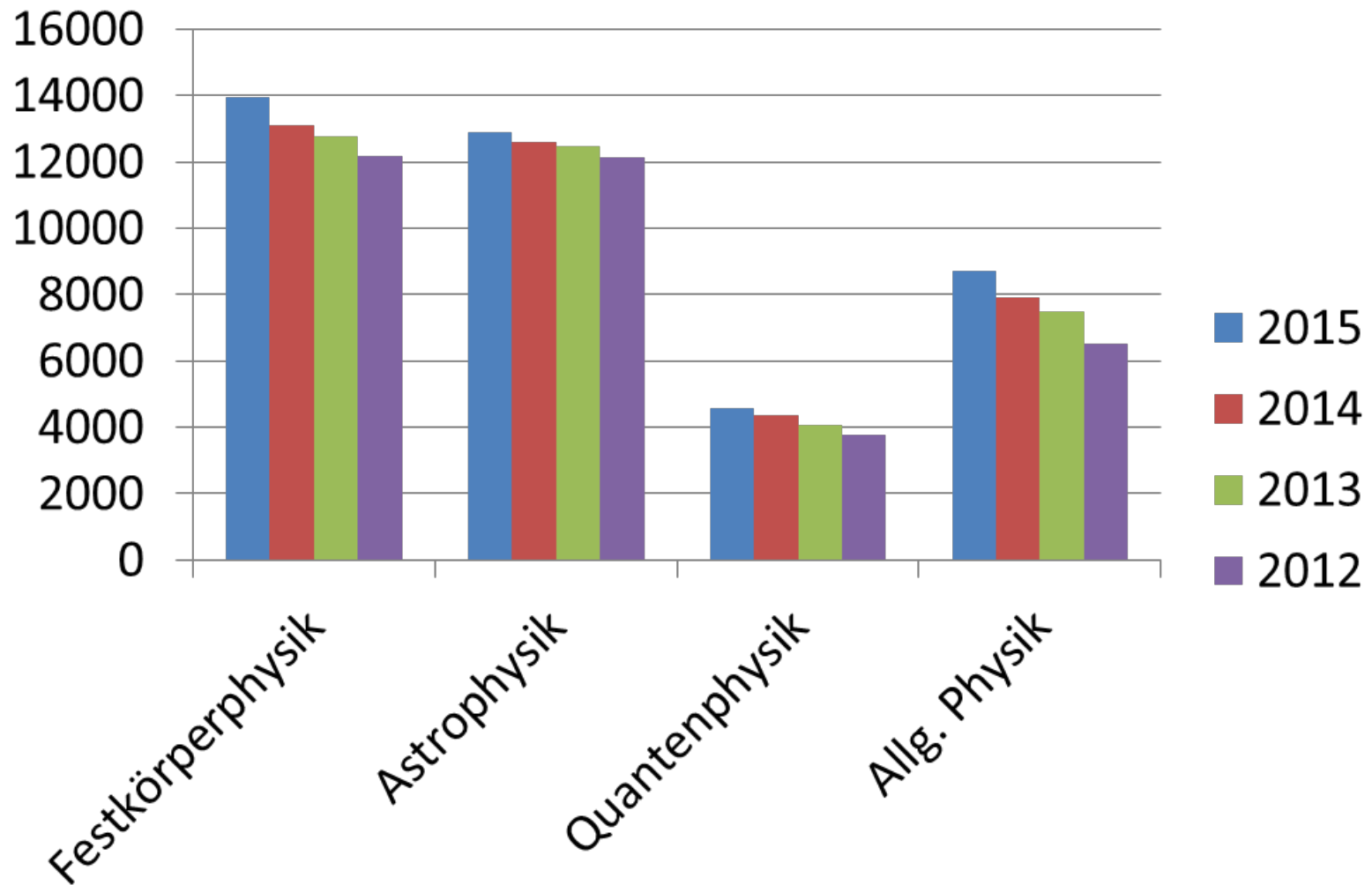


Gliederung der Vorlesung

16.10.2017	Einführung in das Gebiet der Festkörperphysik
20.10.2017	Bindungsverhältnisse im Festkörper
27.10.2017	Struktur von kristallinen Festkörpern
03.11.2017	Beugung am Kristall : Das reziproke Gitter
10.11.2017	Experimentelle Beugungsverfahren
17.11.2017	Gitterschwingungen und Phononen
24.11.2017	Spezifische Wärme, Wärmeleitung
01.12.2017	Elektronen in Festkörpern, freies Elektronengas
08.12.2017	Elektronische Bandstruktur
15.12.2017	Halbleiter
22.12.2017	Halbleiter II
12.01.2018	Supraleitung
19.01.2018	Magnetismus
26.01.2018	Nanostrukturen und Oberflächen/Grenzflächen
02.02.2018	Niedrigdimensionale elektronische Systeme
09.02.2018	Dünne Schichten

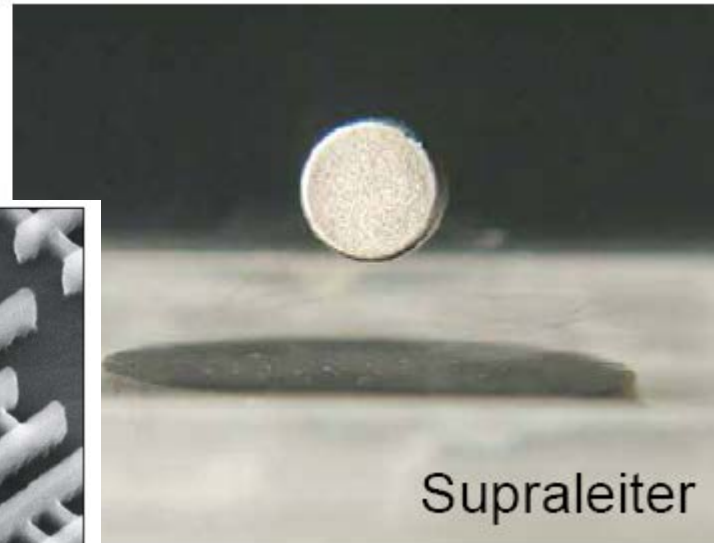
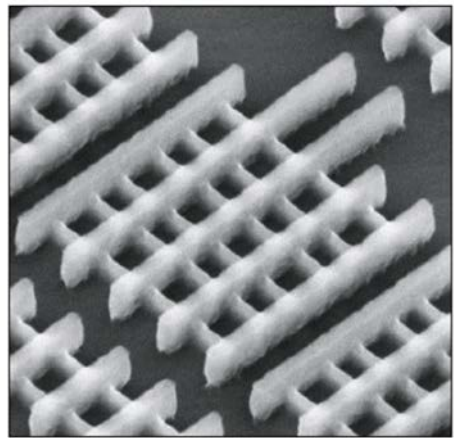
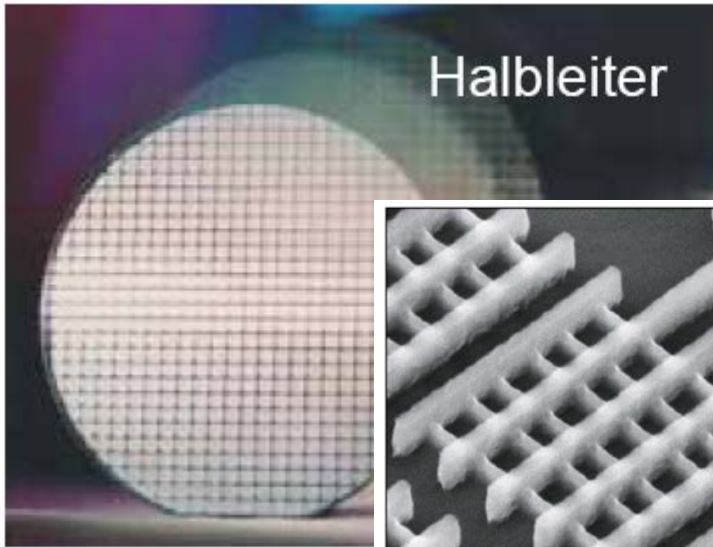
(Ca. Zeitangaben der Freitags-Vorlesung zur Orientierung)

Publikationen auf arxiv.org

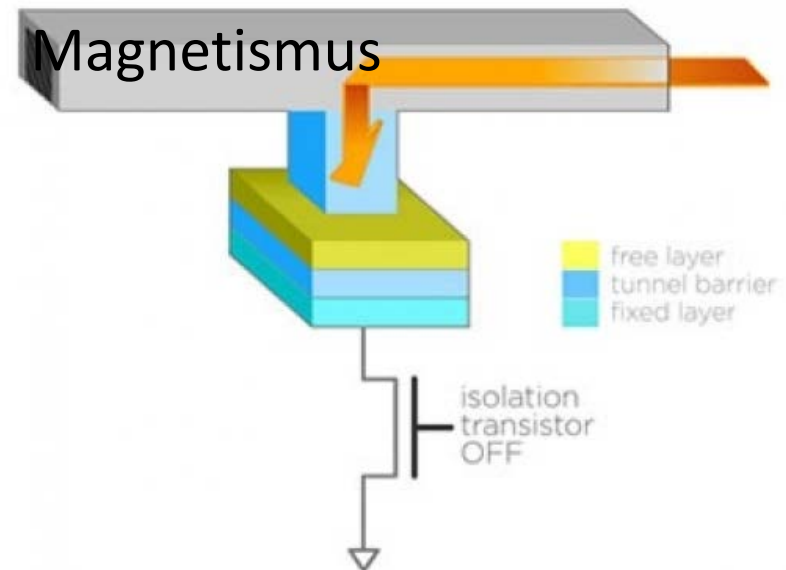
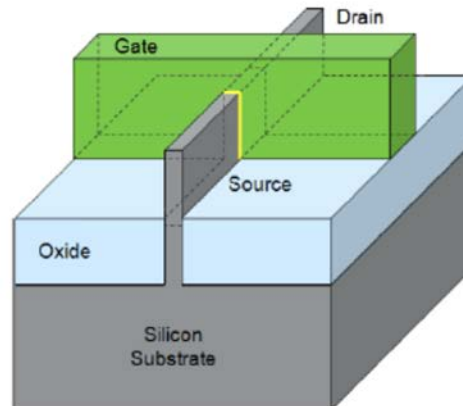
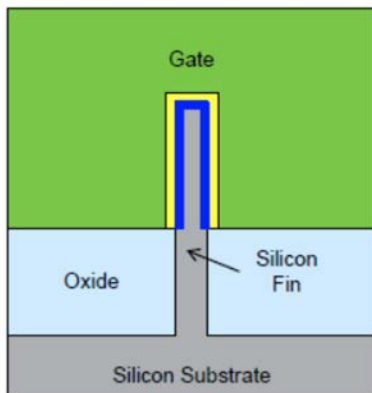


Die Festkörperphysik ist die publikationsstärkste Einzelwissenschaft innerhalb der Physik

Technologische Anwendungen



Intels „ivy bridge“ Technologie

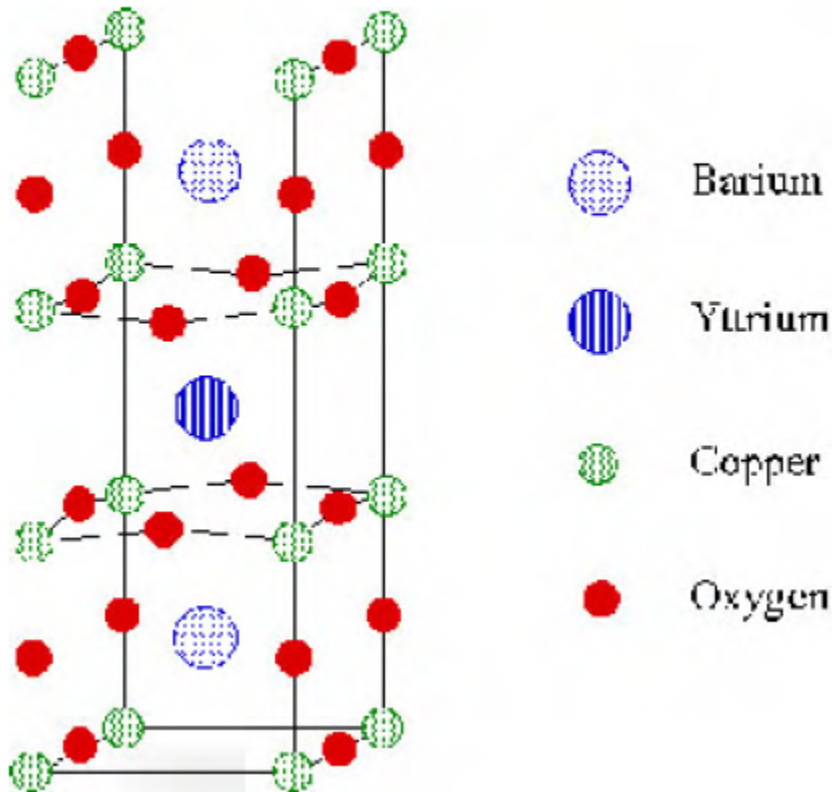


Kristallstrukturen und Symmetrien

YBaCuO-Hochtemperatursupraleiter

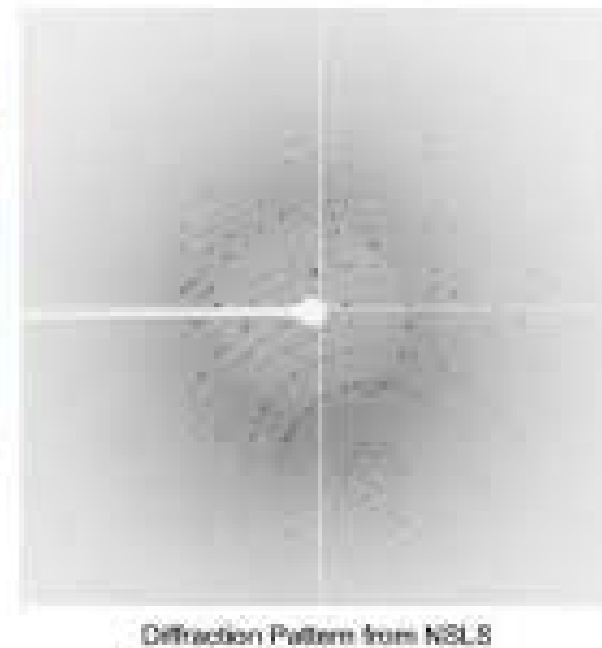
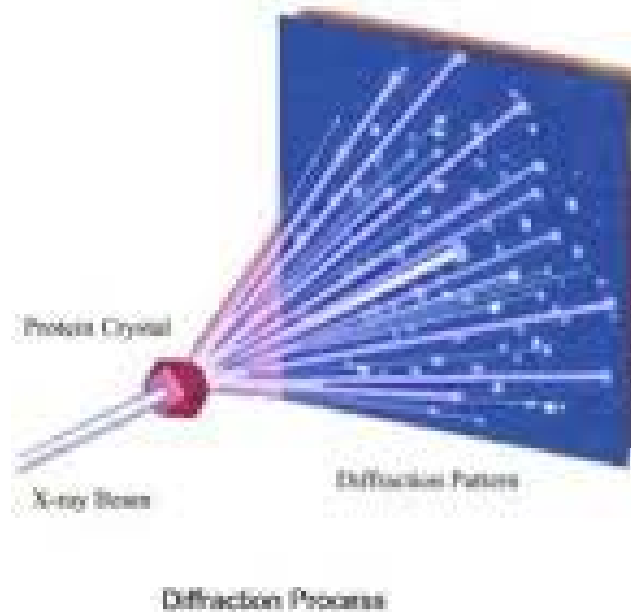
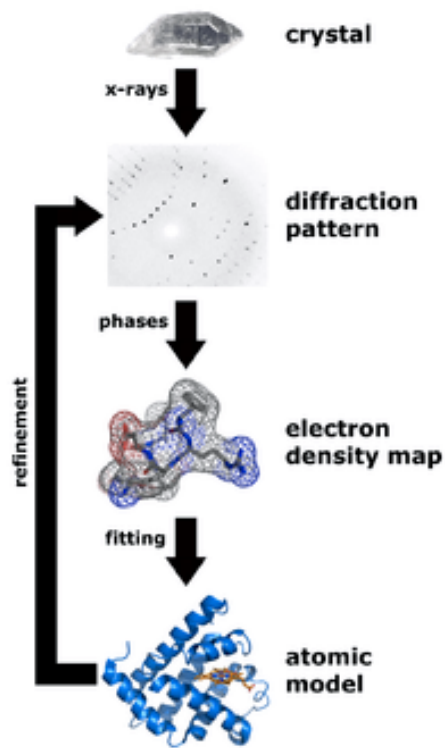
Nobelpreis 1987 an Bednorz und Rohrer
für keramische Supraleiter (LaBaCuO)

Hochtemperatur - Supraleiter



Atomare Strukturaufklärung von Biomolekülen (Protein, DNA)

- Beugungsverfahren (Proteinkristallographie)
- Röntgen, Elektronen, Neutronen....
- (de Broglie) Wellenlänge ~ 0.1 nm



ca 100.000 Strukturen heute bekannt, Protein Data Base PDB

Nicht alle Proteine kristallisieren ausserhalb ihrer biologischen Umgebung, Membranproteine

14.2 Quasikristalle

Shechtman et al. (1984):

Elektronenbeugungsbilder mit kristallographisch verbotener Symmetrie an abgeschreckten $\text{Al}_{86}\text{Mn}_{14}$ -Proben.

10-zählige Symmetrie des Beugungsbildes

\implies

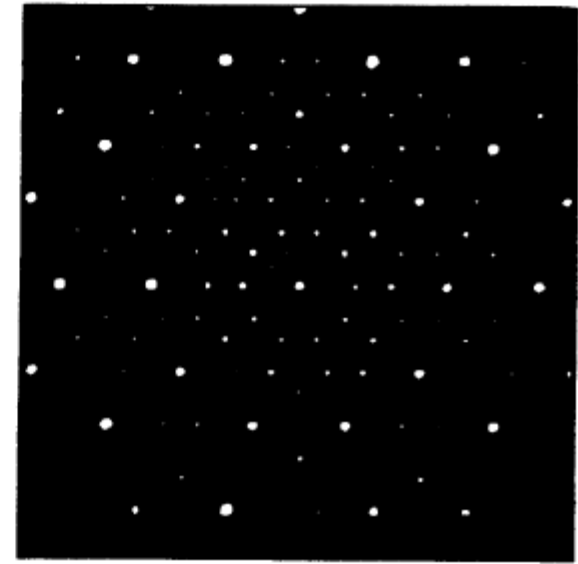
5-zählige Ikosaedersymmetrie im Festkörper

neue Klasse von Festkörpern: Quasikristalle

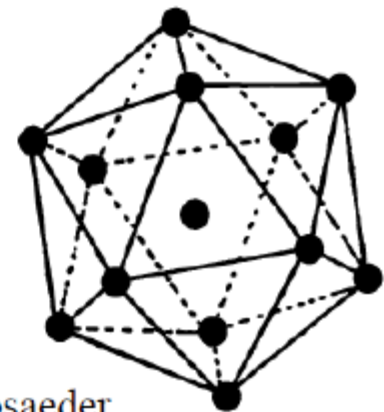
- Eigenschaften von Kristallen (scharfe Beugungsmaxima),
- kristallographisch verbotene Symmetrie

weitere quasikristalline Systeme

- oktagonale Symmetrie (8-zählig)
- dekadonale Symmetrie (10-zählig)
- dodekadonale Symmetrie (12-zählig)

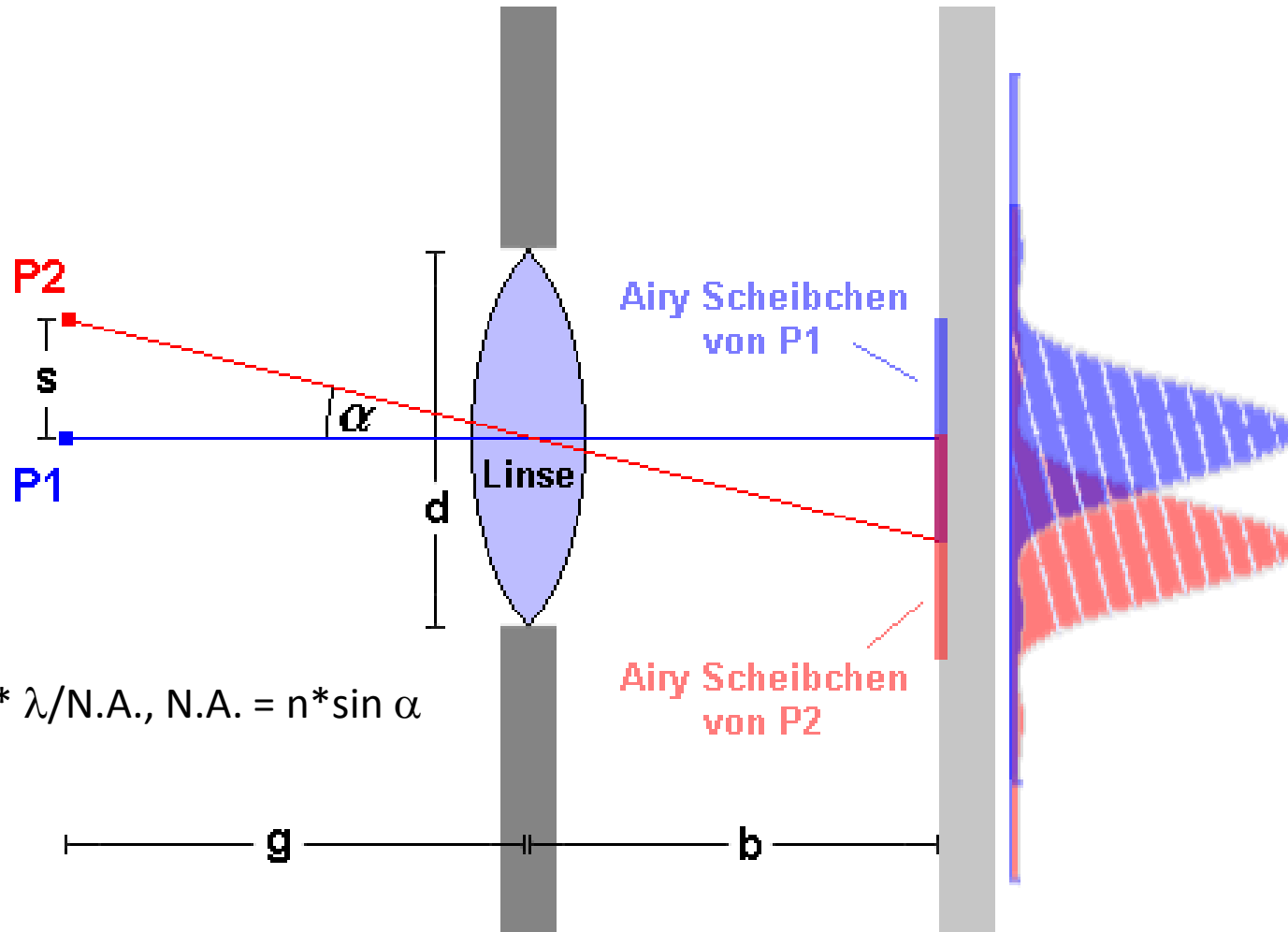


Elektronenbeugungsbild eines ikosaedrischen Quasikristalls in Al-Cu-Fe



Ikosaeder

Kann man einzelne Atome „sehen“ ?



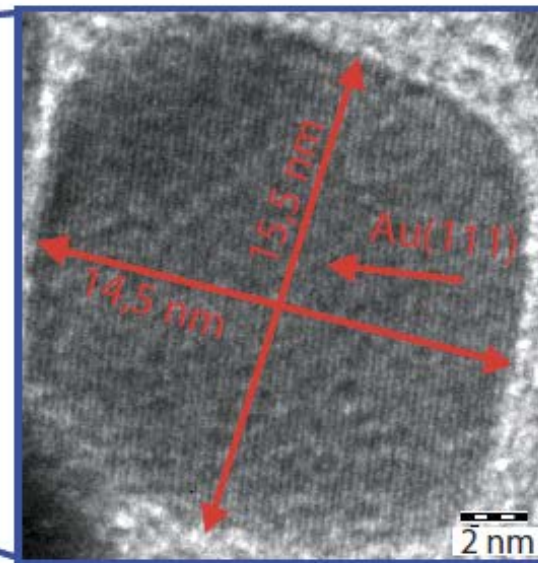
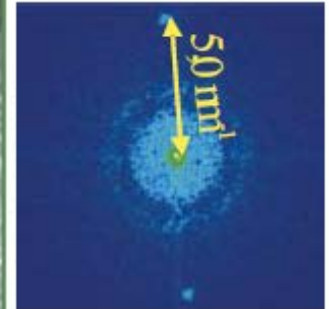
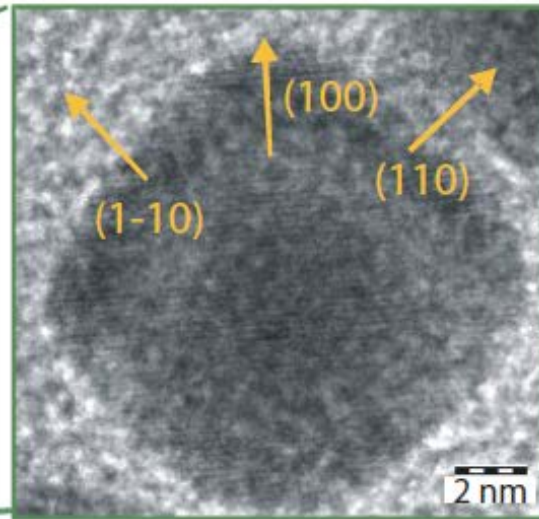
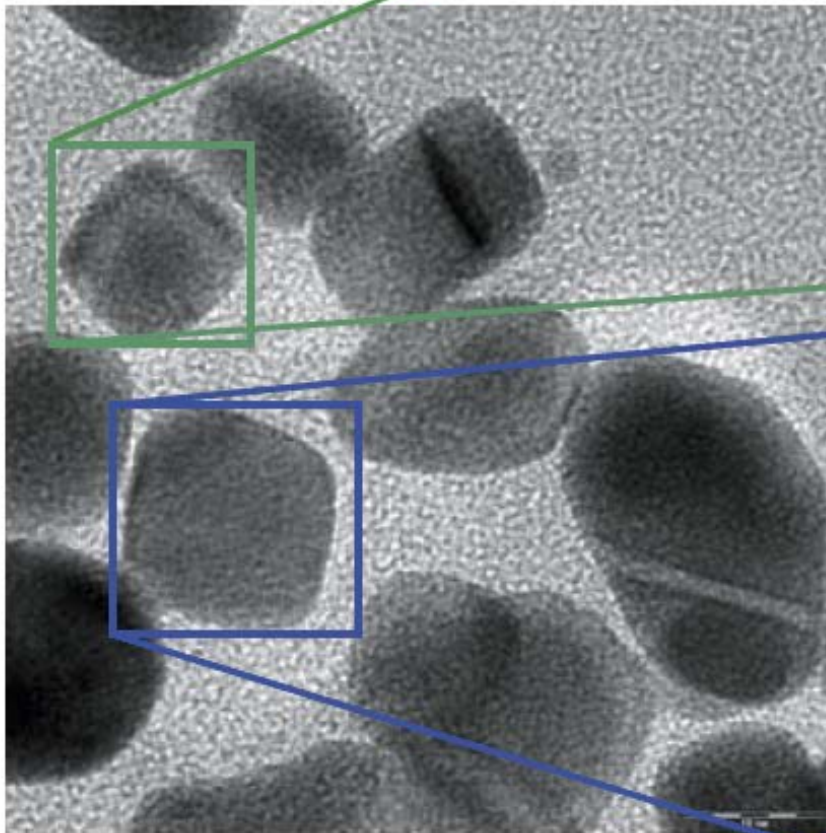
Für atomare Auflösung ($\text{Res} \sim 0.1 \text{ nm}$, $\text{NA} < \sim 1$) : $\lambda \leq s = 0.1 \text{ nm}$

Nicht möglich mit Lichtmikroskopen !
> Röntgenstrahlung, Elektronen, Ionen.....

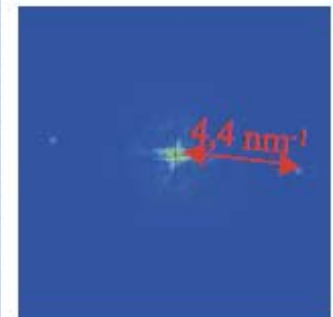
Transmissionelektronenmikroskopie



Au Nanokristalle (J. Slieh)



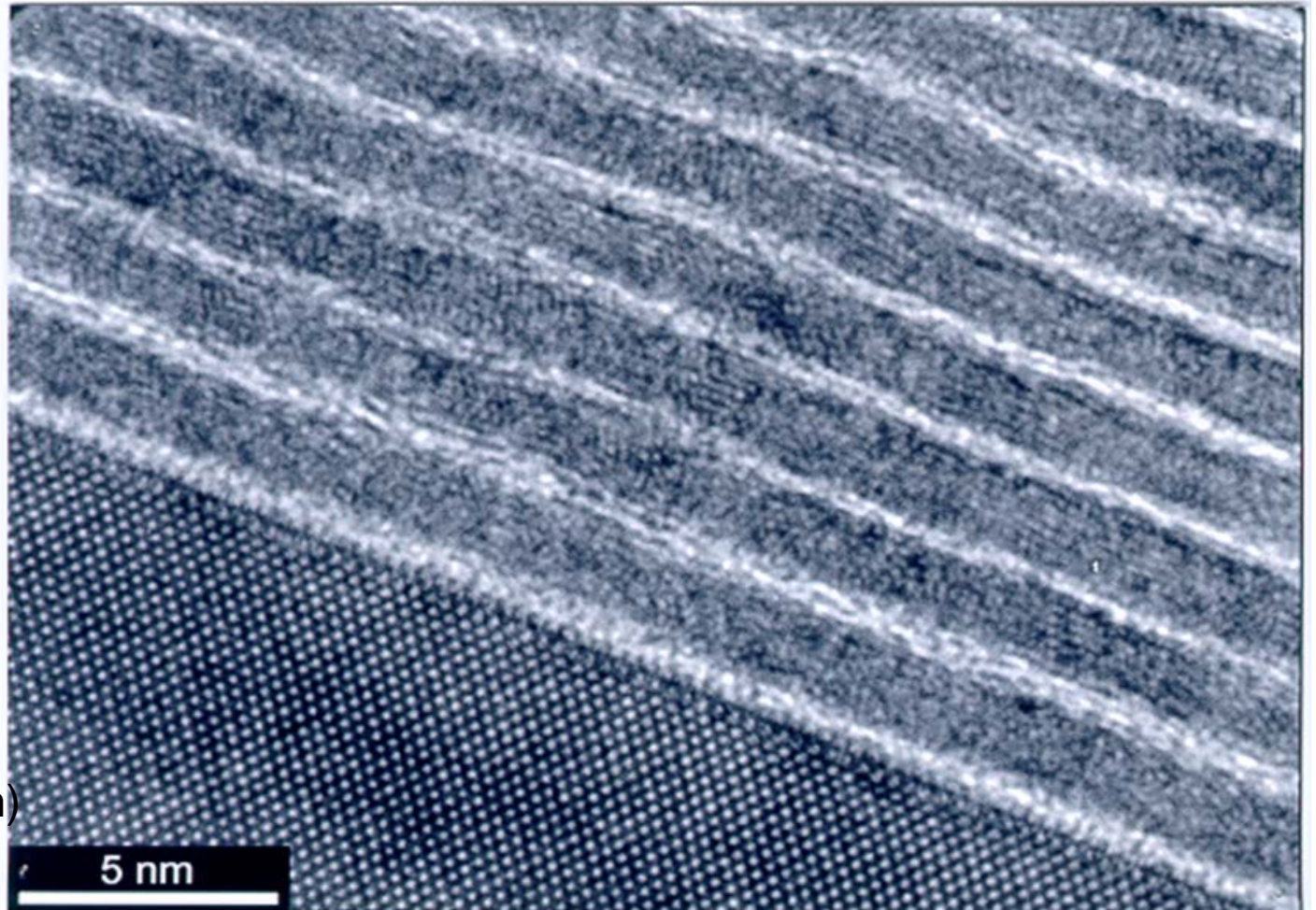
Fourier-Transf.



Können wir Atome im Kristallgitter „sehen“ ?

Hochauflösende Transmissions-Elektronenmikroskopie (HR-TEM)

Punktauflösung
0.1-0.2 nm



Reihen von
Si Atomen in
der Projektion
durch den
Querschnitt (~ 10 nm)

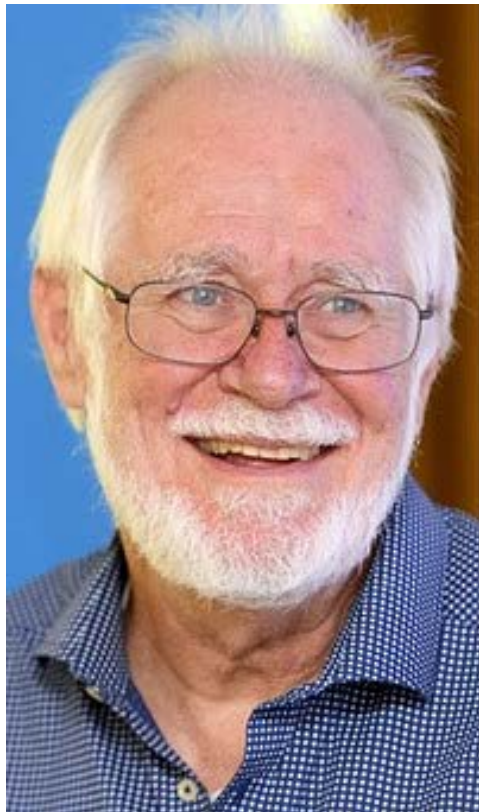
Chemie Nobelpreis 2017

“for developing cryo-electron microscopy for the high-resolution structure determination of biomolecules in solution”

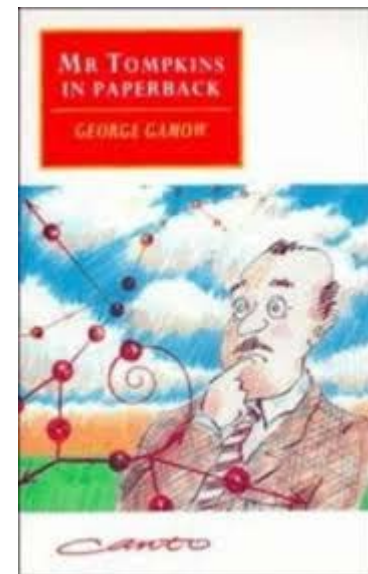
Jaques Dubochet (Lausanne)

Richard Henderson (Cambridge)

Joachim Frank (Columbia)



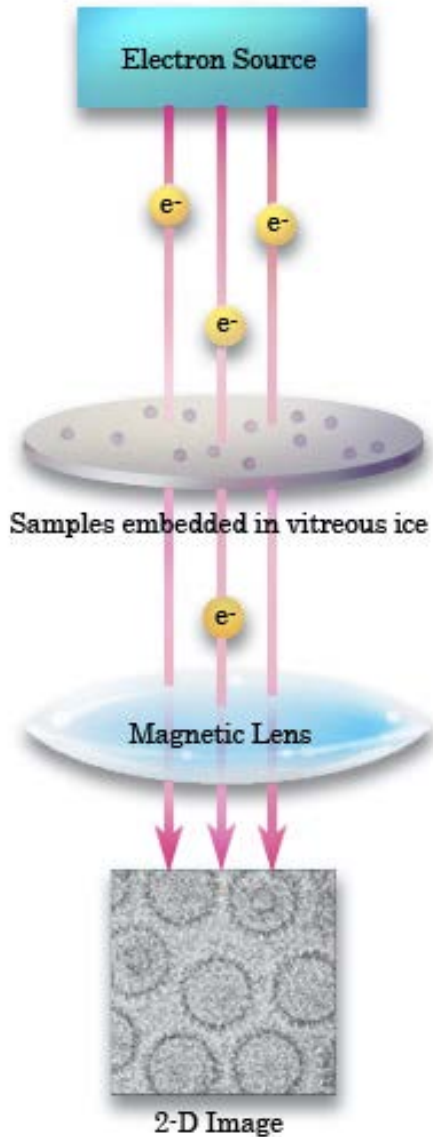
Mr Tompkins (1968)



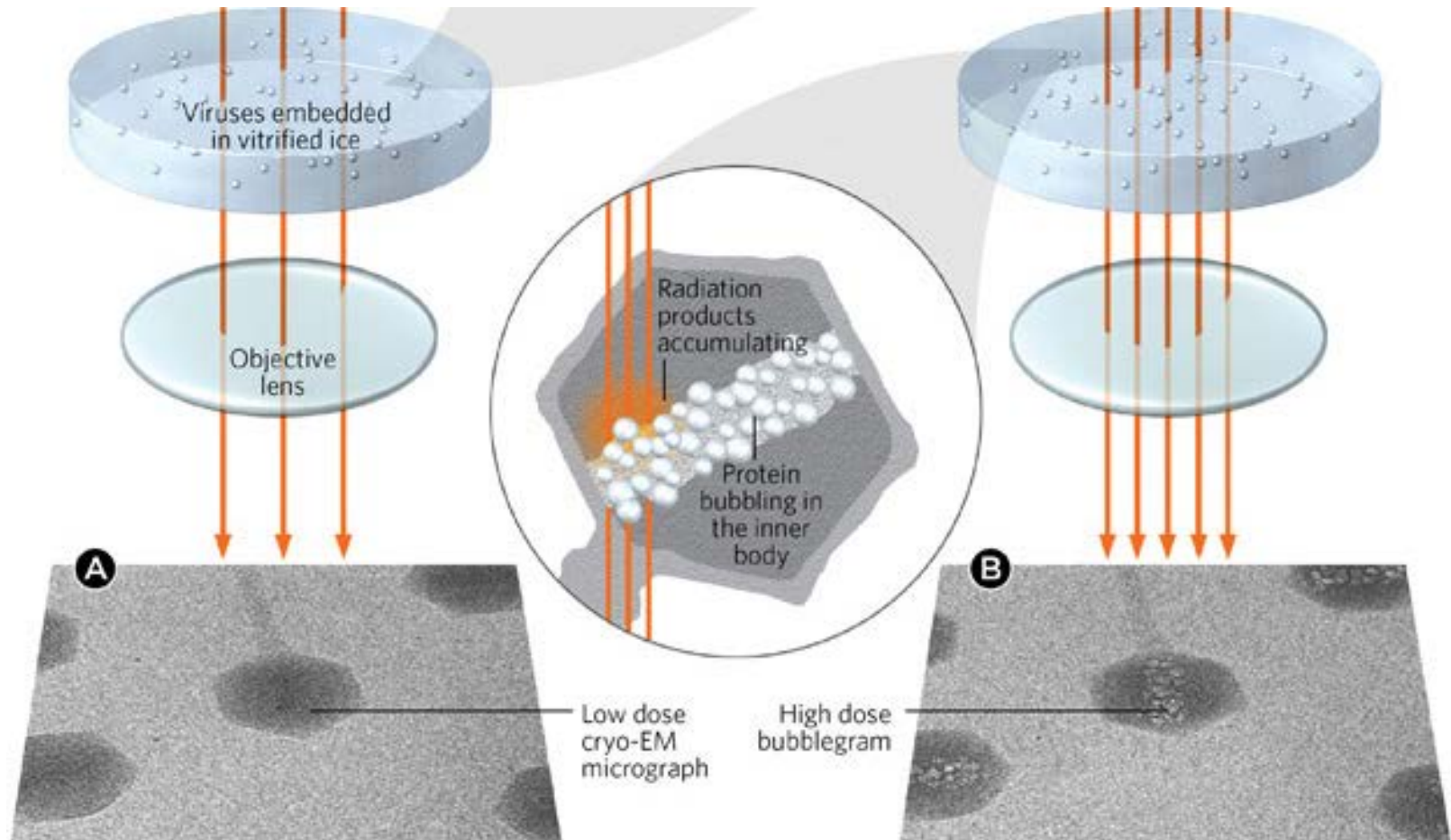
Probleme TEM an Biomolekülen :

- Wie vermeide ich die Degeneration der Proben im TEM (Vakuum, Elektronenbeschuss) ?
- Wie erziele ich atomare Auflösung an Einzelmolekülen/Partikeln ohne Kristallisierung ?
- Atomare 3D Rekonstruktion ?

Transmissions-Elektronenmikroskopie

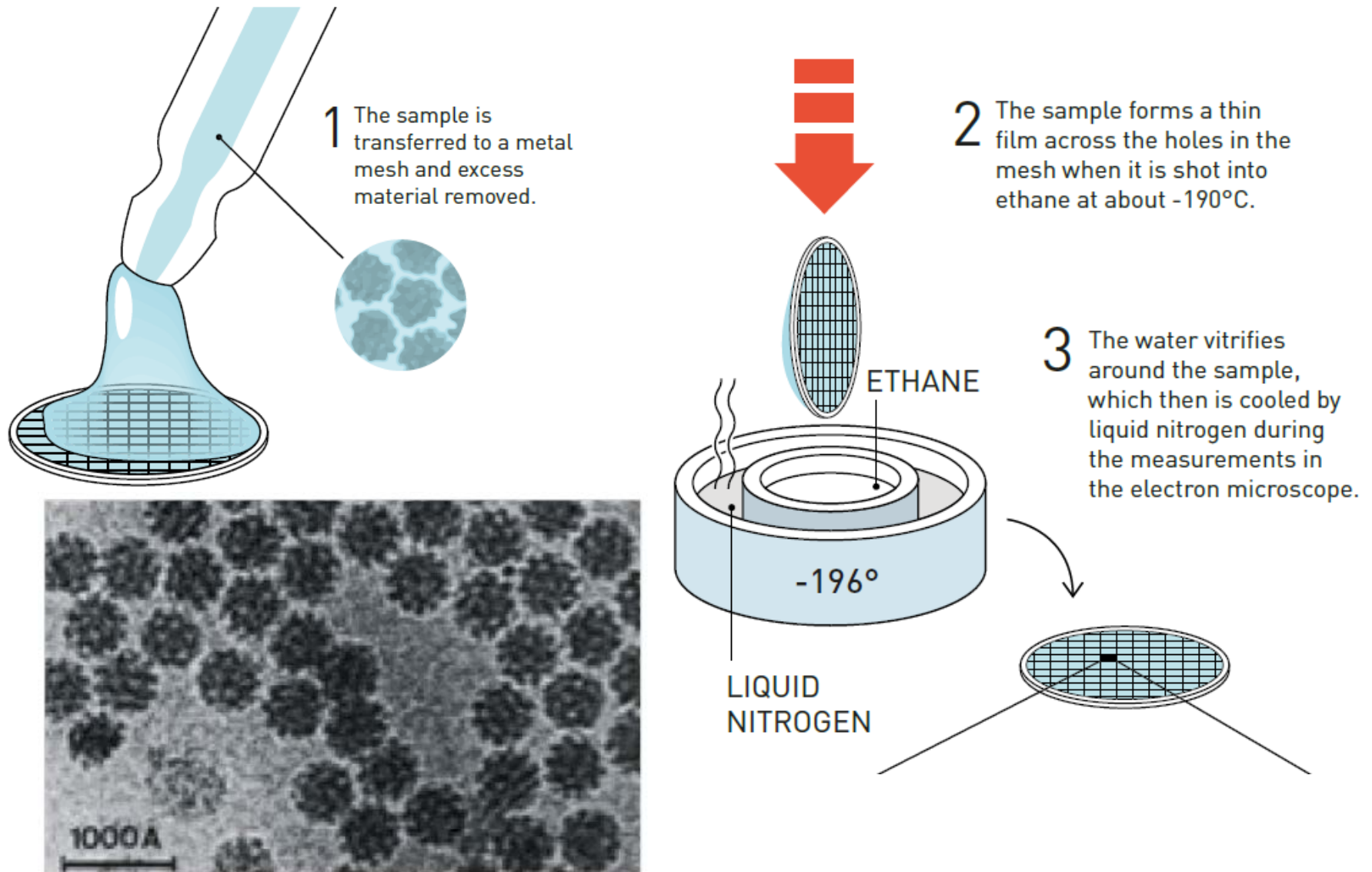


Radiation damage in TEM



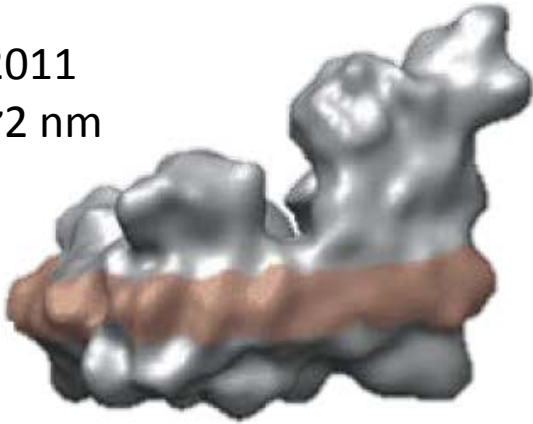
TEM sample damage in biomolecules due to secondary electrons (e.g. „bubbling“)
Solution : low dose ($<10 \text{ e}/\text{Å}^2$) + cryo sample

Dubochets vitrification method

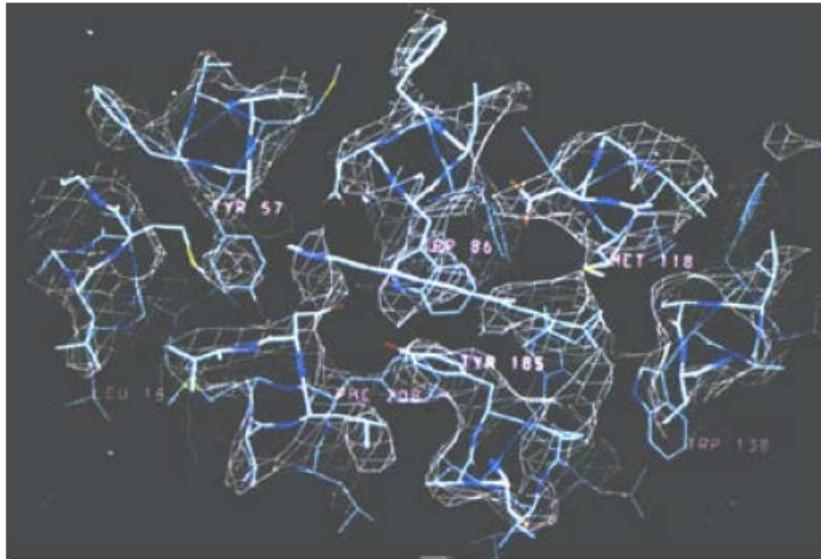


Atomare Auflösung an Einzelmolekülen

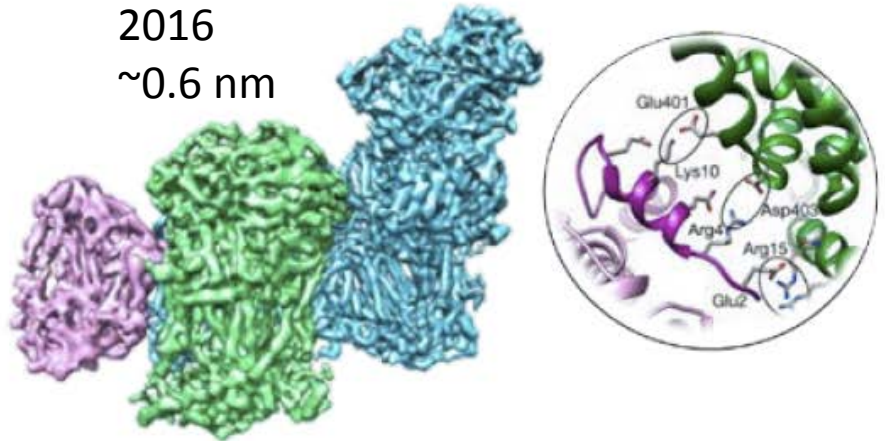
2011
~2 nm



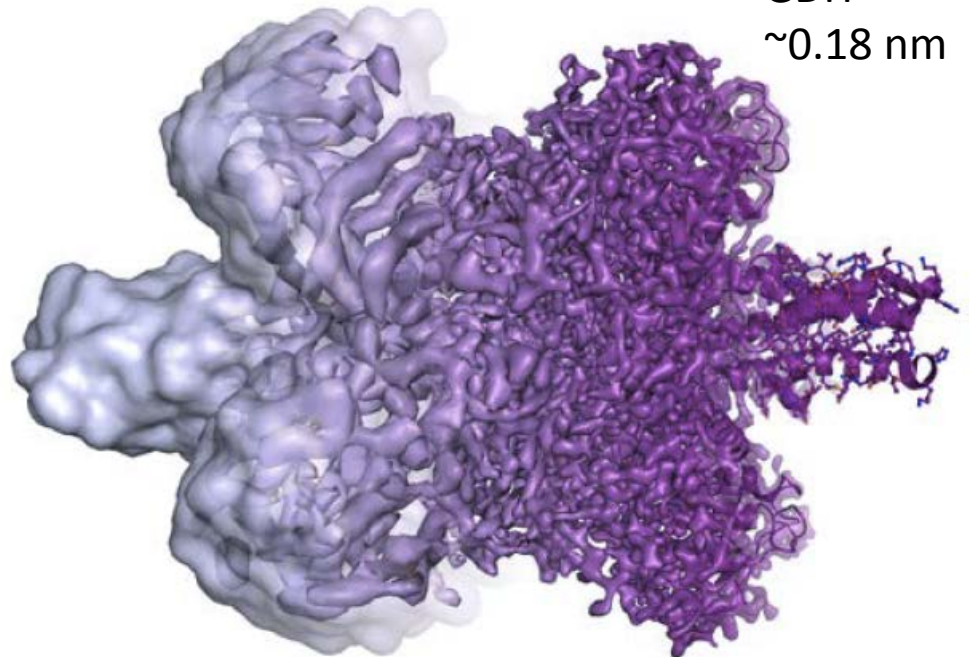
Bakteriorhodopsin (2D crystal)



2016
~0.6 nm

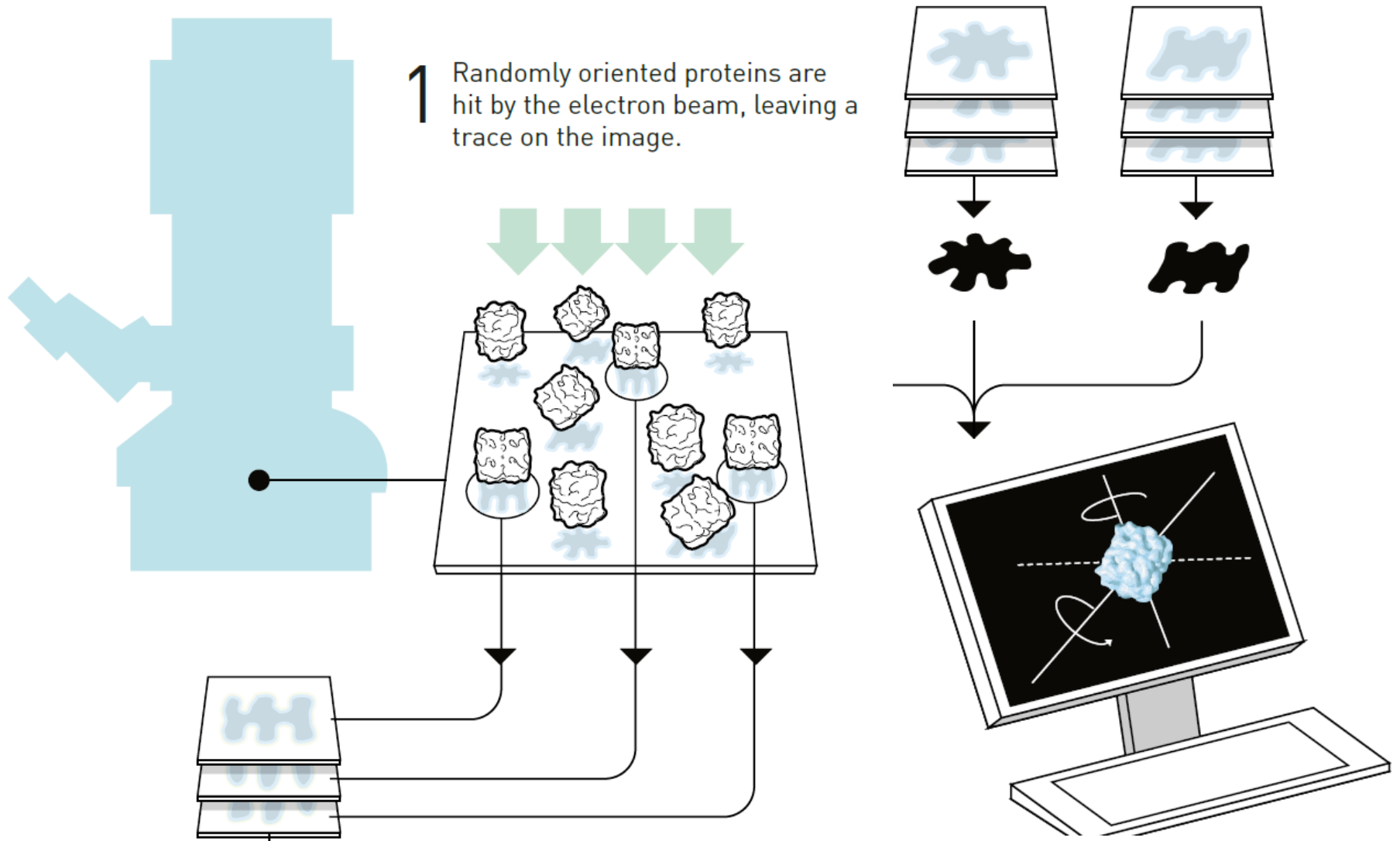


GDH
~0.18 nm

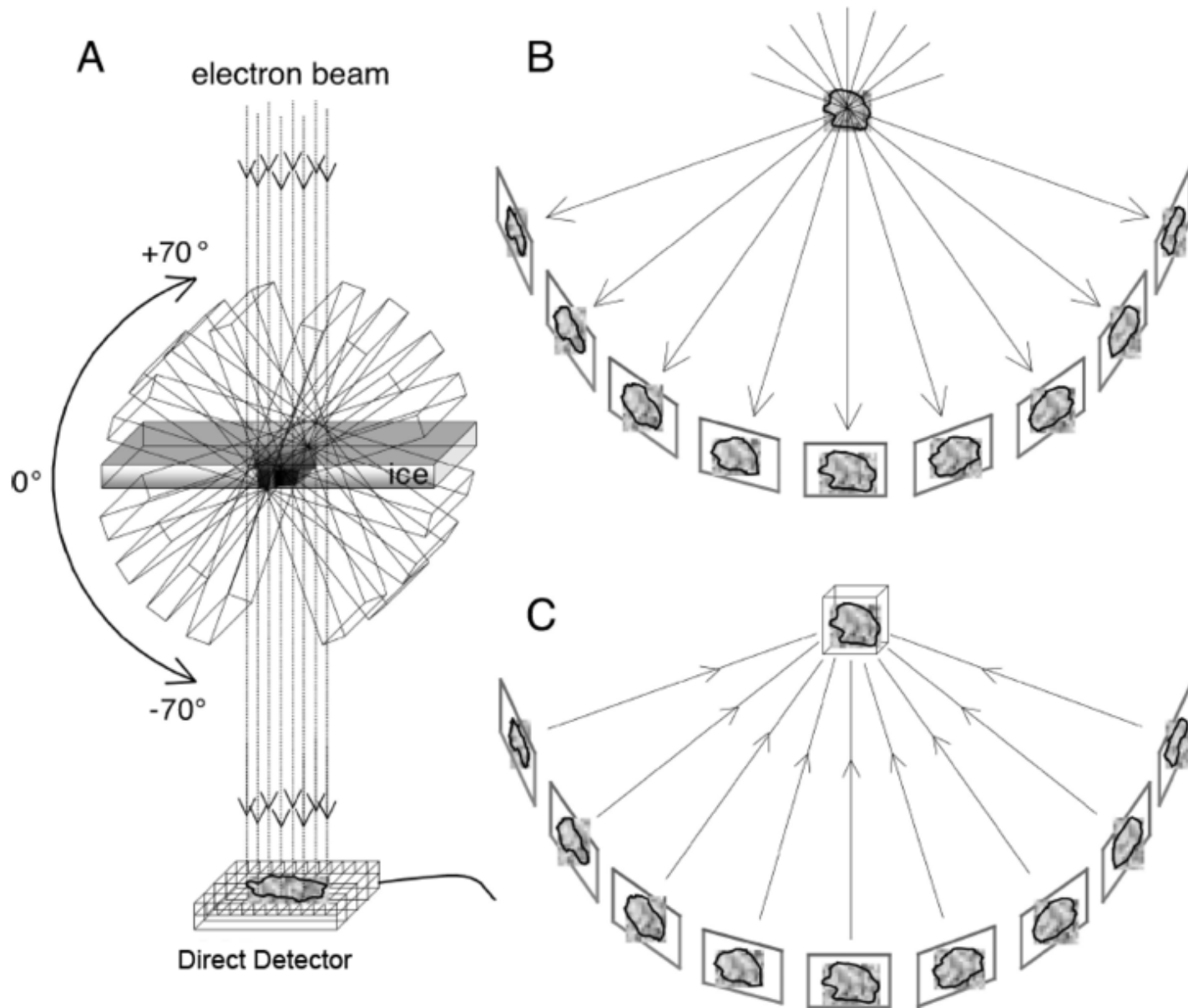


Franks 3D image analysis

- 1 Randomly oriented proteins are hit by the electron beam, leaving a trace on the image.

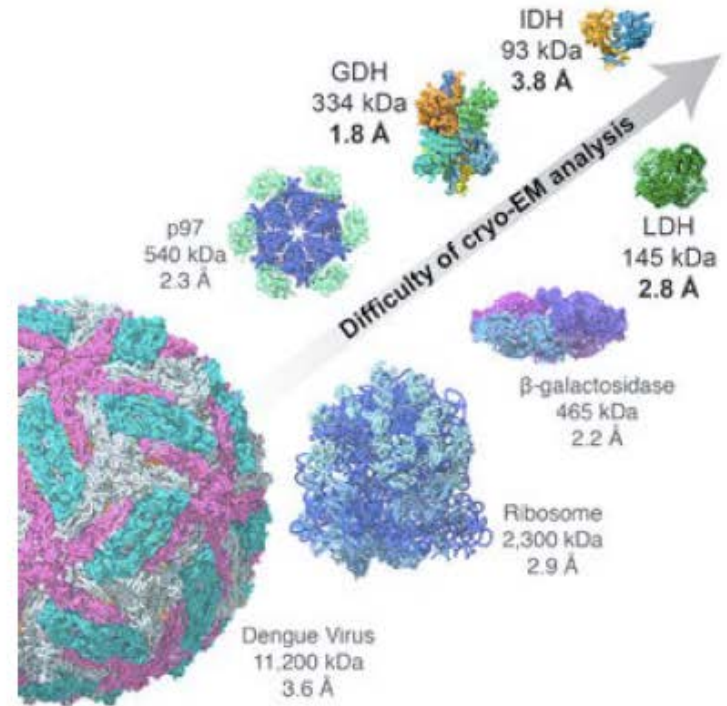


3D Cryo Elektronentomographie



Trends in Cryo-TEM

Large virus	300 M	Yes
Small virus	11 M	Yes
Ribosome	3.3 M	Yes
	1.4 M	Yes
Multimeric enzyme	420 K	Possibly
	180 K	Possibly
	52 K	Possibly
Small protein	18 K	No
Very small protein	7 K	No



Hausaufgabe für Übungen nächste Woche (wird noch nicht abgegeben)

**Welche Methoden kann ich in TEM einsetzen,
um Atome chemisch zu identifizieren ? Stichwort : Analytisches TEM**