

Einführung in die moderne Physik der Materie:  
**Quantenphysik und Atomphysik**

*Olaf Magnussen*

*Institut für Experimentelle und Angewandte Physik*

## Die „Quanten-Revolution“

### Wissenschaftliche Bedeutung

Grundlage des Verständnisses von:

- elementare Bausteine und Wechselwirkungen
- Kosmologie und Astrophysik
- Festkörper- und Plasmaphysik
- Chemie, Biologie, Materialwissenschaften

### Technische und gesellschaftliche Bedeutung

- Elektronik
- Laser
- moderne Messmethoden
- medizinische Diagnose- und  
Therapieverfahren

### Philosophische Bedeutung

- Modellcharakter wissenschaftlicher Theorien
- Zufälligkeit statt Determinismus



## Inhalt

1. Einführung
2. Quantenphänomene
3. Quantenmechanik
4. Einelektronenatome
5. Mehrelektronenatome
6. Optische Übergänge
7. Moleküle

## Komponenten

- Vorlesung
- Literatur
- Übungen

### Termine:

Montag, 8.15 - 9.45 (Max-Planck HS)

Mittwoch, 8.15 - 9.45 (Hans-Geiger HS)

(Alternativ: 8.15 - 9.50 mit 5 Min. Pause)

## Problem zur Klärung des gerade durchgenommenen Themas

- gefragt: physikalisches Verständnis, keine Rechnung notwendig
- Form: Multiple-Choice
- Ergebnis anonym, wird **nicht** benotet/bewertet!

## Ablauf

- Fragestellung
- 1 Min. selbstständiges Nachdenken
- 1-2 Min. Diskussion mit Nachbarn
- Rückmeldung
- Besprechung des Ergebnisses



## Warum?

- Förderung des physikalischen Verständnisses
- aktives Lernen
- Feedback an mich

## Komponenten

- Vorlesung
- Literatur
- Übungen

### Lehrbücher:

- Haken/Wolf, Atom- und Quantenphysik
- Demtröder, Experimentalphysik 3
- Alonso/Finn, Quantenphysik und Statistische Physik
- Atkins, Physikalische Chemie

### Online-Materialien:

- Übersicht
- Folien

<http://www.ieap.uni-kiel.de/solid/ag-magnussen/pdm1-2017/pdm1.html>

Login: stud-phys3

Passwort: qm+ap

## Komponenten

- Vorlesung
- Literatur
- Übungen

## Ablauf:

- Ausgabe Übungsblätter in Zentralübung
- erster Bearbeitungsversuch eigenständig zu Hause
- Diskussion dieser Lösungsansätze in Kleingruppen, Erarbeitung einer Lösung unter Betreuung
- Besprechung der korrekten Lösung in Zentralübung

## Zeit und Ort Kleingruppen:

Mittwoch 10:15 - 11:45 LS19 / 614b

Mittwoch 10:15 - 11:45 LS19 / 514

## Zeit und Ort Zentralübung:

Mittwoch 13:00 – 13:45 Max-Planck HS

**1. Übungsblatt:** Mittwoch, 25.10.2017

**1. Übungen:** Mittwoch, 1.11.2017

Klausur:

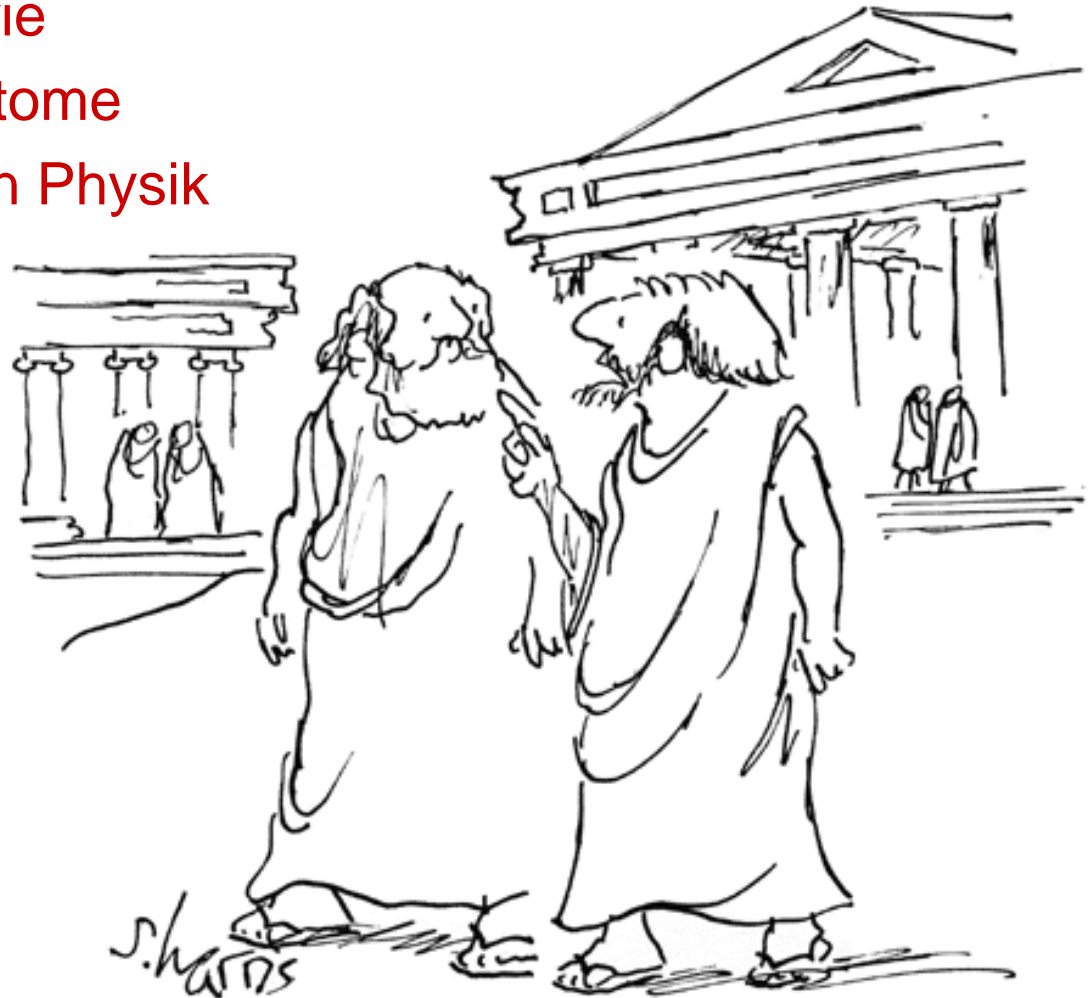
- Termin/Ort: **12. Februar 2018, 8.15 Uhr, Max-Planck Hörsaal**  
**26. März 2018, 8.15 Uhr, Max-Planck Hörsaal**



1.1 Atomare Natur der Materie

1.2 Größe und Aufbau der Atome

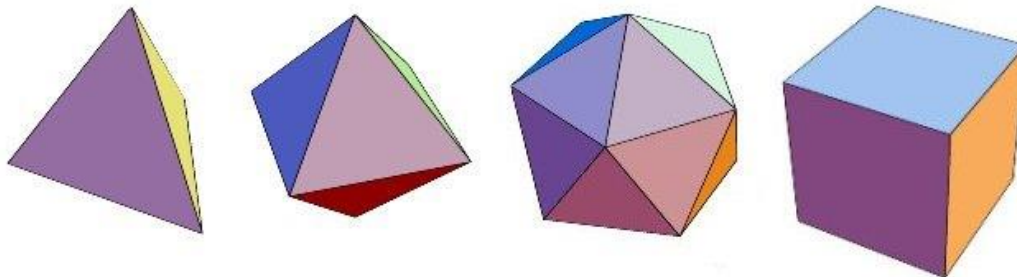
1.3 Konzepte der klassischen Physik



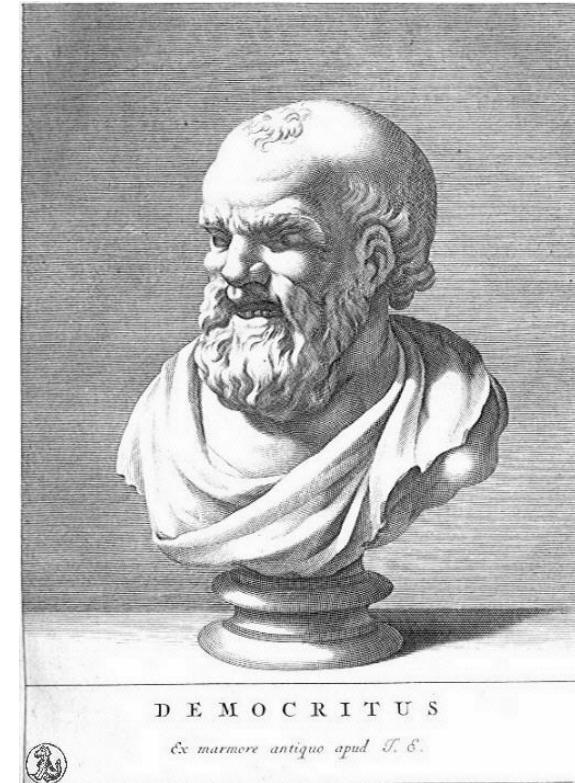
*"Of course the elements are earth, water, fire and air. But what about chromium? Surely you can't ignore chromium."*

## Griechische Philosophen

- Empedokles (ca. 490-430 v. Chr.):  
*Elemente Luft, Wasser, Erde, Feuer*
- Demokrit (ca. 460-370 v. Chr.):  
*Naturkörper bestehen aus unendlich kleinen, unteilbaren Partikeln: „Atomen“, dazwischen leerer Raum*
- Platon (427-347 v. Chr.):  
*Elemente auf mathematische Raumformen abstrahiert: „Platonische Körper“*



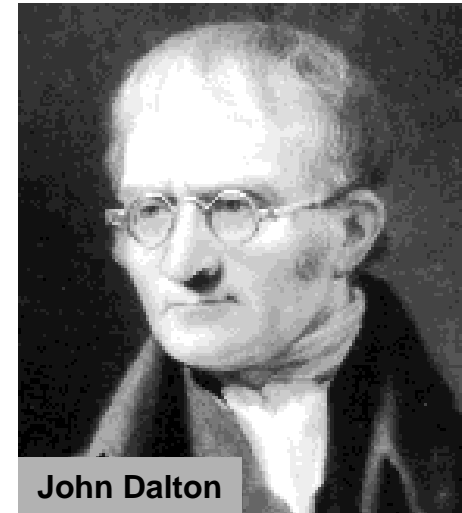
- Aristoteles (384-322 v. Chr.):  
*Ablehnung des Atomismus; kontinuierlicher, materiefüllter Raum*



<http://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/philo/galerie/antike/demokrit.html>

## 18. Jahrhundert:

- Atomistik der Materie (Proust, 1799; Dalton, 1803; Gay-Lussac, 1805):
  - *Alle chem. Elemente bestehen aus Atomen.*
  - *Atome eines Elements haben gleiche Masse, Größe, Qualität und bestimmen dessen Eigenschaften.*
  - *Verbindungen sind Vereinigungen von Atomen in bestimmtem (ganzzahligem) Verhältnis*



John Dalton

[http://chimie.scola.ac-paris.fr/sitedechimie/PHOT\\_SCI/Personnages/Dalton.GIF](http://chimie.scola.ac-paris.fr/sitedechimie/PHOT_SCI/Personnages/Dalton.GIF)

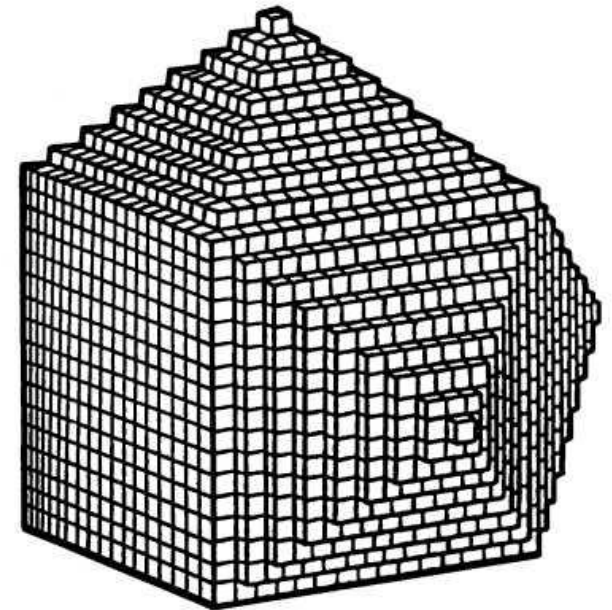
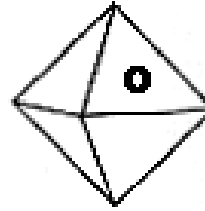
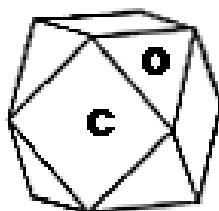
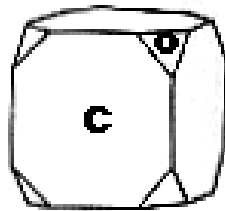
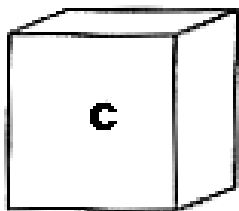
Zwei Flaschen mit 3 l Volumen werden mit 2 l Wasserstoff und 1 l Sauerstoff bzw. 2 l Wasserstoff und 1 l Chlorgas befüllt (alle Gase haben jeweils den Druck 1 bar). Anschließend wird der Wasserstoff chemisch vollständig zu Wasserdampf bzw. HCl Gas umgesetzt. Der resultierende Innendruck ist dann:

1. größer in der mit HCl Gas gefüllten Flasche.
2. kleiner in der mit HCl Gas gefüllten Flasche.
3. in beiden Flaschen gleich.



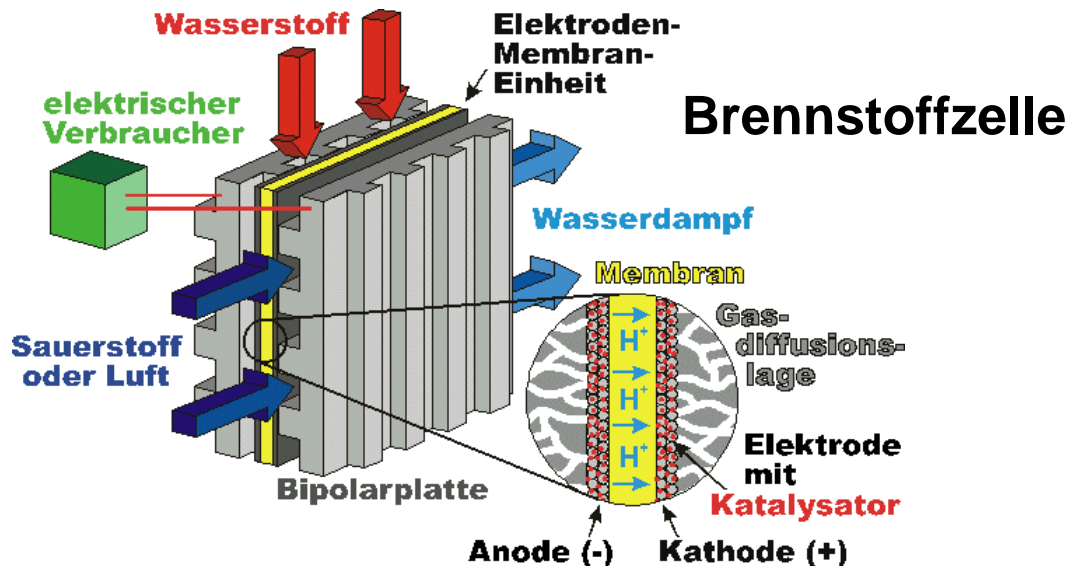
## Kristalle

- Kristallflächen lassen sich durch ganzzahlige Indizes beschreiben:  
periodische Anordnung gleicher Bausteine (Haüy, 1801)  
→ regelmäßiger Aufbau aus identischen Bausteinen



## 19. Jahrhundert:

- Atomistik der Wärme (Clausius, Boltzmann, 1870):  
*kinetische Gastheorie*
- Atomistik der Elektrizität (Faraday, 1833):  
*Elektrolyse: Es gibt „Atome“ der Elektrizität, die mit den Atomen der Materie gekoppelt sind*

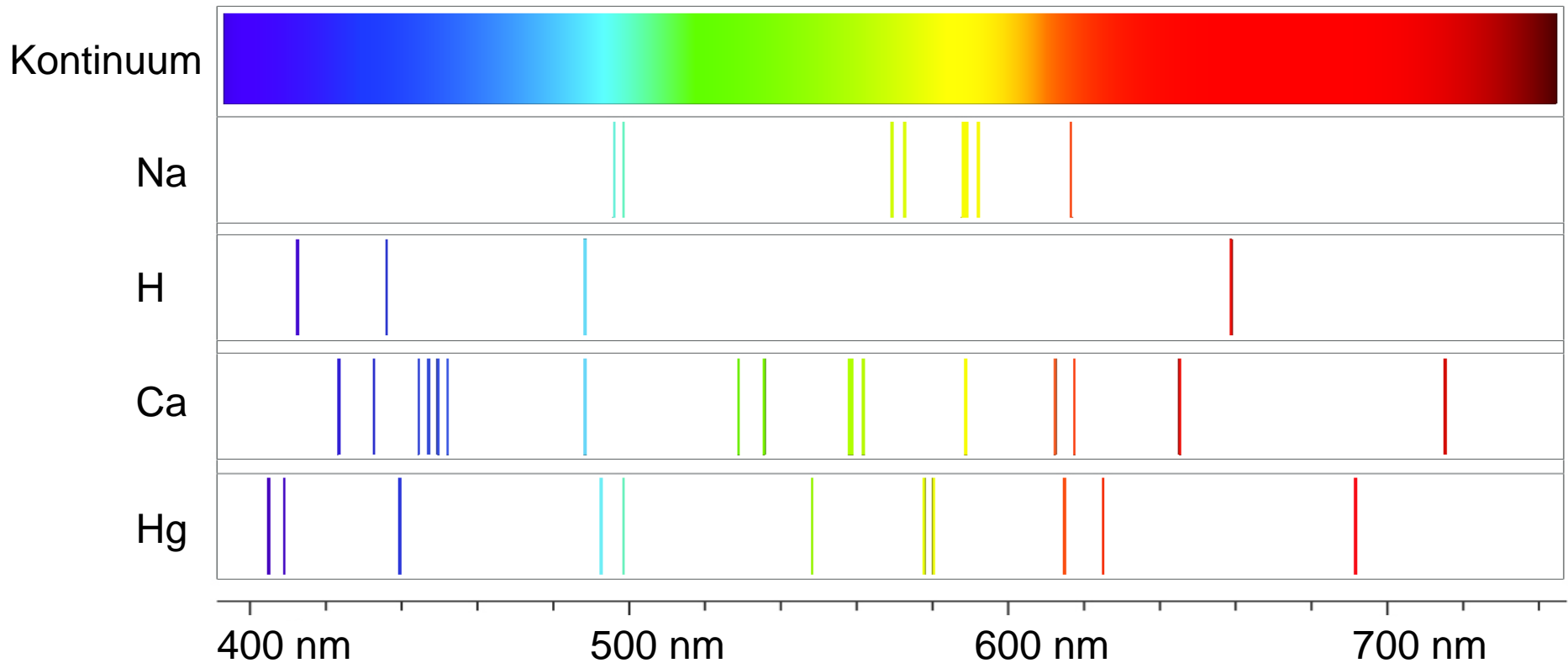


Michael Faraday

<http://academic.brooklyn.cuny.edu/history/virtual/portrait.htm>

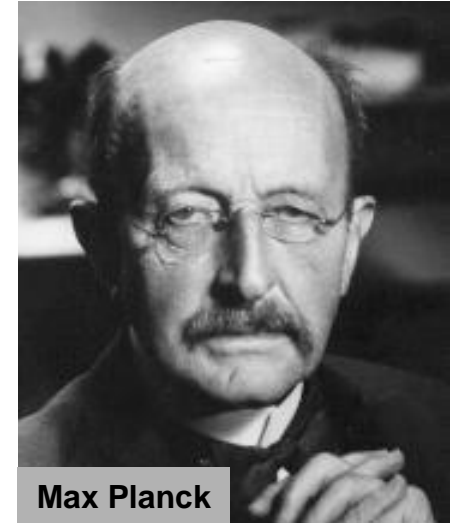
## 19. Jahrhundert:

- Atomspektren (Kirchhoff/Bunsen, 1860; Balmer, 1885):  
*Gesetzmäßige Ordnung für Spektrallinien*



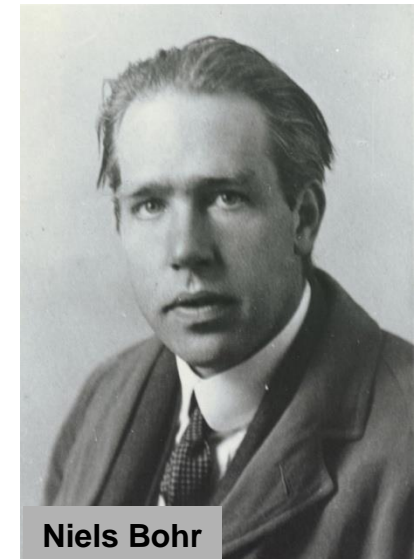
## 20. Jahrhundert:

- Atomistik der Energie (Planck, 1900):  
*Strahlungsgesetz unter Annahme strahlender Oszillatoren, die nur diskrete Energiewerte annehmen können*
- Atommodelle (Rutherford 1911, Bohr 1913):  
*Atomkern mit diskreten Elektronenbahnen*
- Materiewellen (De Broglie)
- Quantenmechanik (Born, Schrödinger, Heisenberg, Pauli, Dirac, etc.)



**Max Planck**

<http://academic.brooklyn.cuny.edu/history/virtual/portrait.htm>



**Niels Bohr**

<http://web.gc.cuny.edu/ashp/nml/copenhagen/Bohr.jpg>

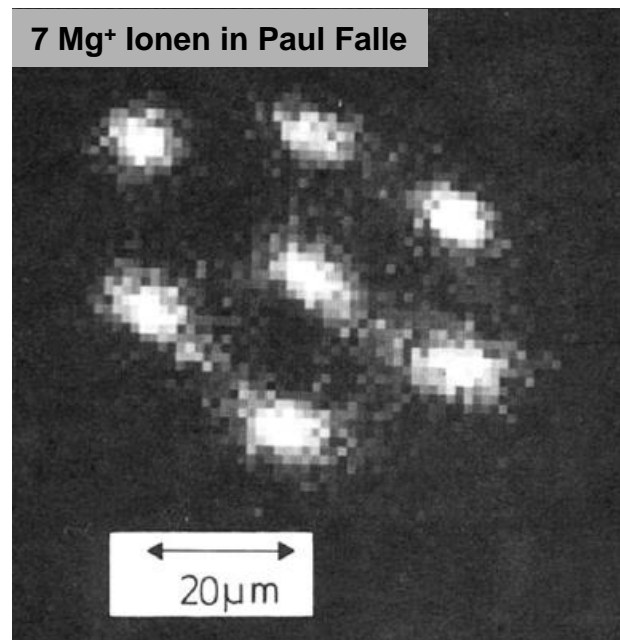


## Direkte mikroskopische Beobachtung

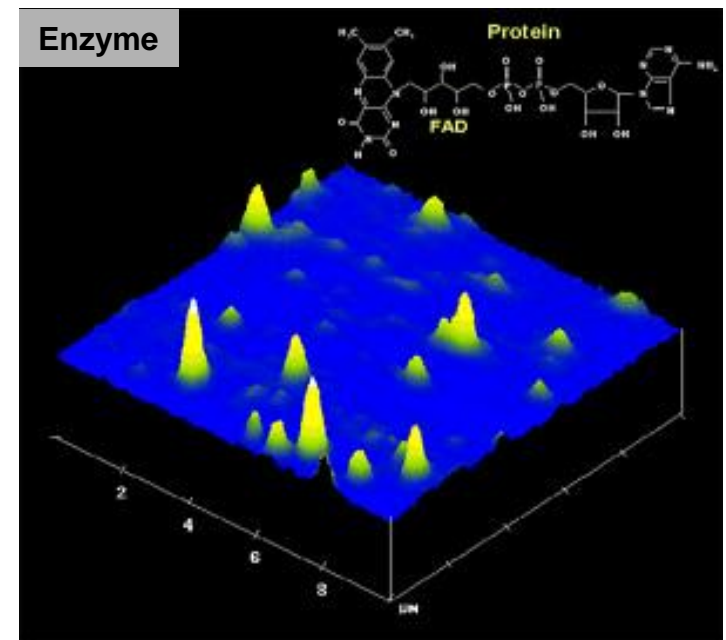
Nur für Abstände  $>$  Auflösung =  $\lambda/NA$

## Optische Methoden

- Streuung an einzelnen Atomen
- Einzelmolekülspektroskopie



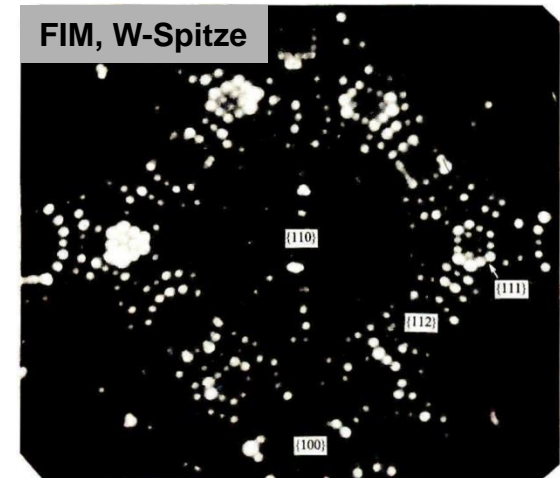
F. Diedrich et al., Phys.Rev.Lett, 59 (1987) 2931



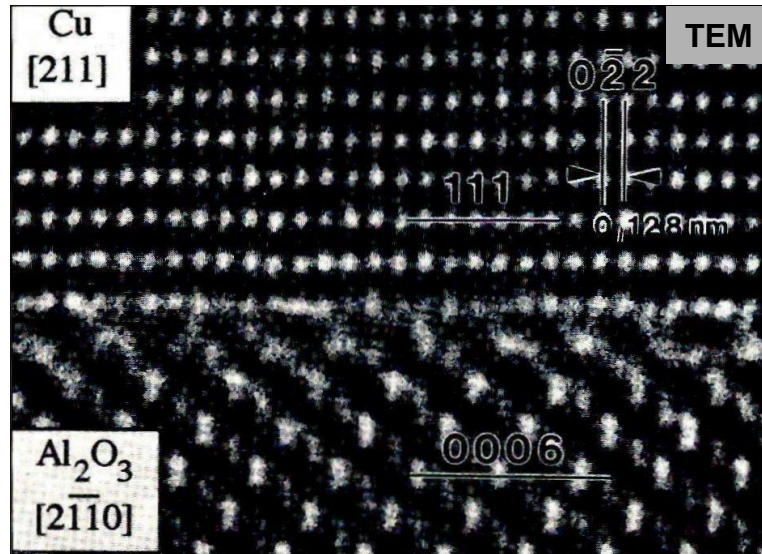
## Feldemissions- und Feldionenmikroskopie

## Elektronenmikroskopie

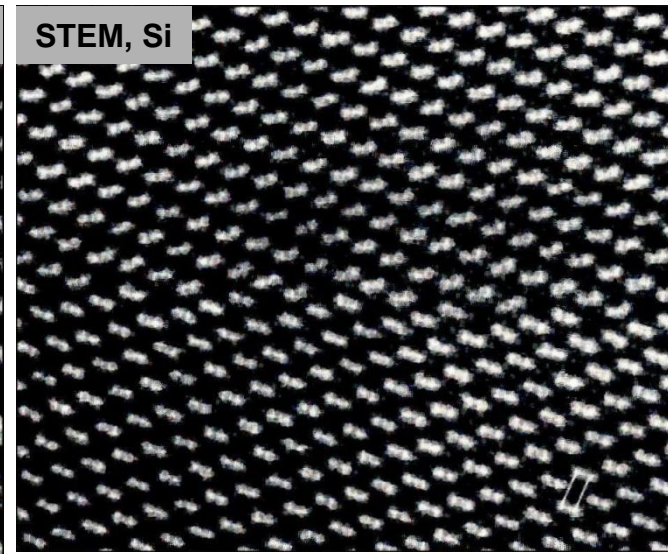
- Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)
- Rasterelektronenmikroskopie (REM, SEM)



T.T. Tsong, J. Sweeney,  
*Sol.Stat.Comm.* 30, 767 (1979)



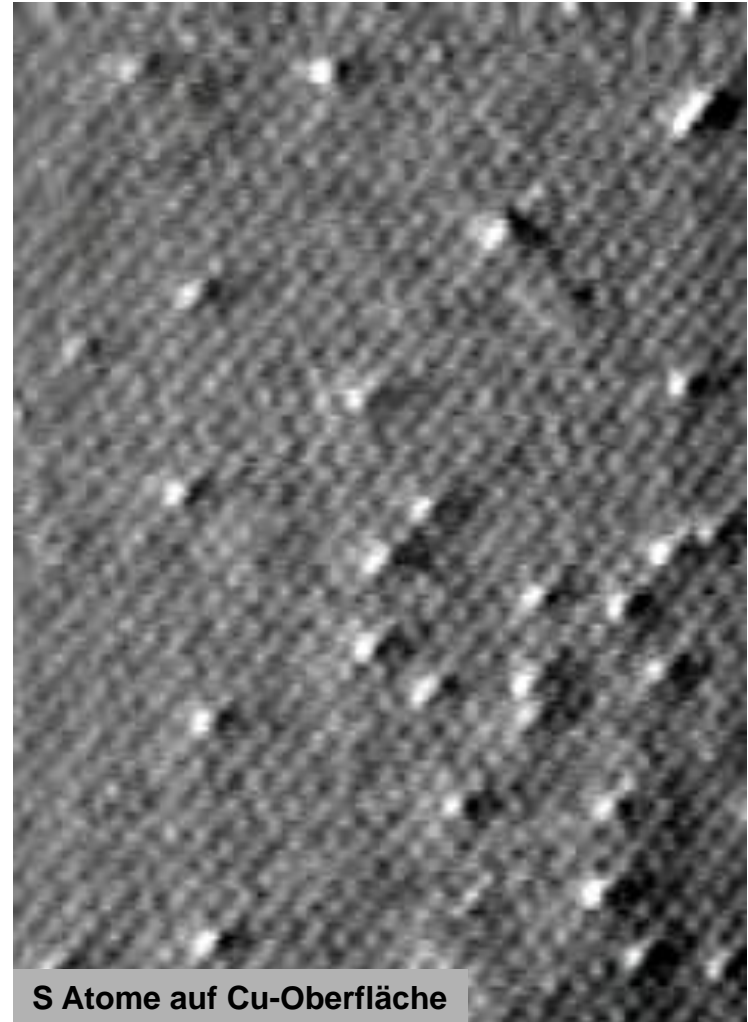
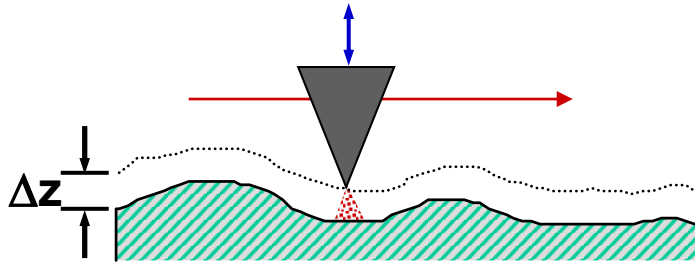
M. Wagner, et al., *MRS Bull.* 22(8), 42 (1997)



M.F. Chisholm, S.J. Pennycook, *MRS Bull.* 22(8), 53 (1997)

## Rastersondenmikroskopie

- Rastertunnelmikroskopie (STM)
- Rasterkraftmikroskopie (AFM)



S Atome auf Cu-Oberfläche

T. Tansel, O.M. Magnussen,  
*Phys.Rev.Lett.* 96 (2006) 026101