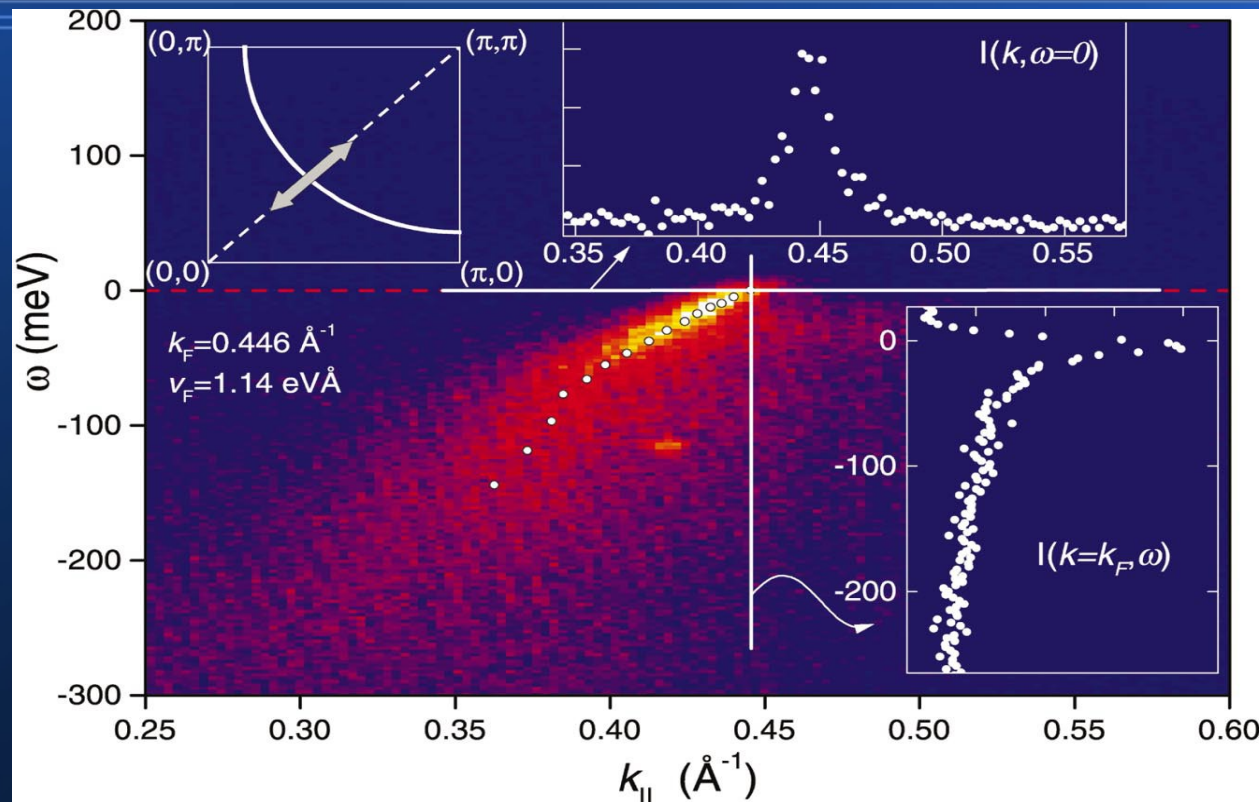


Jan-Peter Backer und Martin Lonsky

Photoemissionsspektroskopie



Jan-Peter Bäcker und Martin Lonsky

Inhalt

- PES allgemein
- Experimenteller Aufbau ARPES
- Photon-Elektron-Wechselwirkung
- Deutung der Messergebnisse
- Aktuelle Anwendungen in der Forschung

PES allgemein

PES allgemein

- Photonen mit 10 bis 1500 eV Energie auf Festkörper

PES allgemein

- Photonen mit 10 bis 1500 eV Energie auf Festkörper
- Photoeffekt: Auslösung von Elektronen

PES allgemein

- Photonen mit 10 bis 1500 eV Energie auf Festkörper
- Photoeffekt: Auslösung von Elektronen
- Messung der Elektronenenergien und Anzahl

PES allgemein

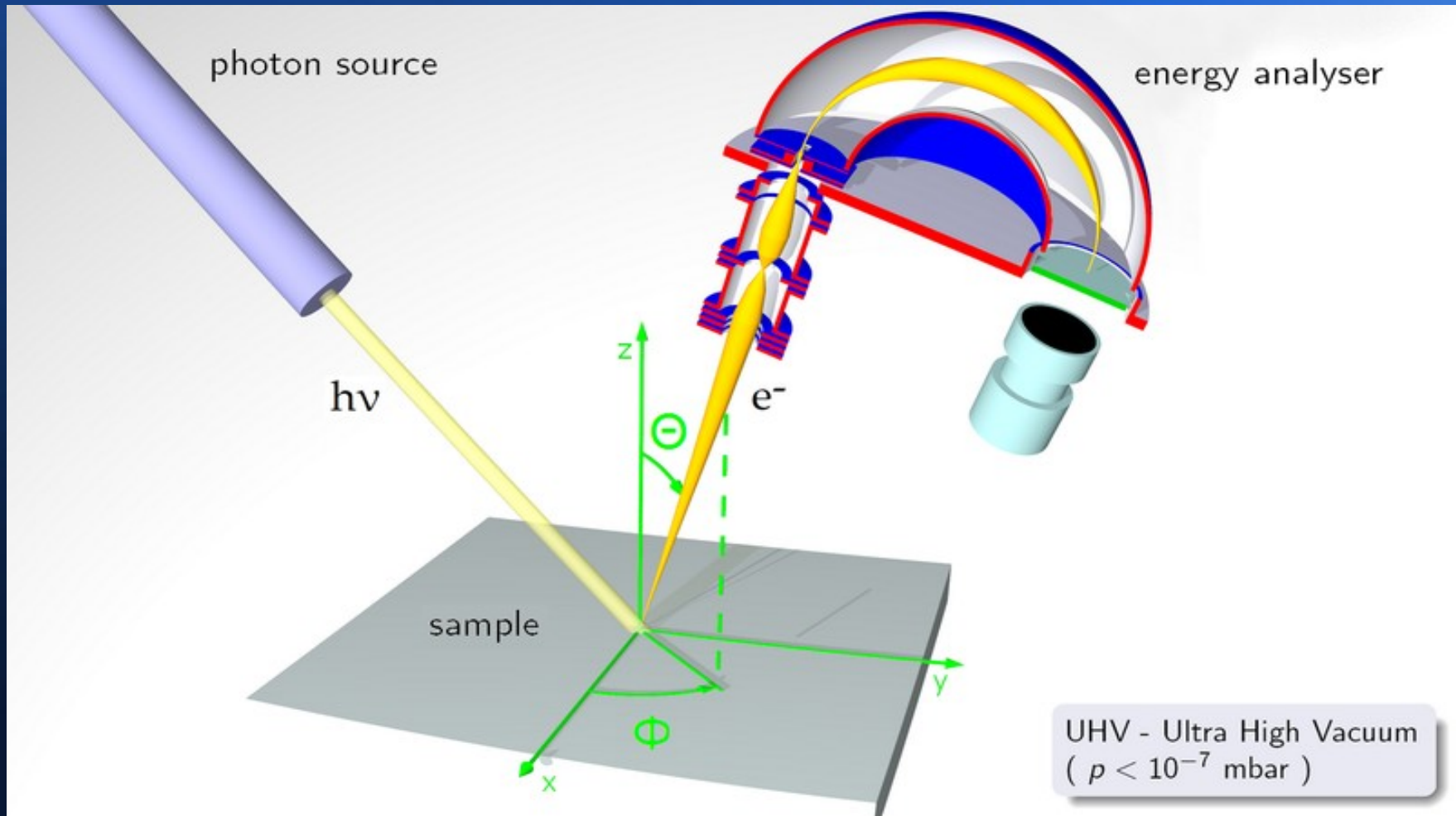
- Photonen mit 10 bis 1500 eV Energie auf Festkörper
- Photoeffekt: Auslösung von Elektronen
- Messung der Elektronenenergien und Anzahl
- Chemische Zusammensetzung des Festkörpers, vor allem der Oberfläche

PES allgemein

- Photonen mit 10 bis 1500 eV Energie auf Festkörper
- Photoeffekt: Auslösung von Elektronen
- Messung der Elektronenenergien und Anzahl
- Chemische Zusammensetzung des Festkörpers, vor allem der Oberfläche
- Elektronische Struktur mit ARPES (angle-resolved PES)

Experimenteller Aufbau

Experimenteller Aufbau



Experimenteller Aufbau

- Unterschiedliche Klassifikationen:
 - ARPES (angle-resolved)
 - IPES (inverse PES)
 - XPS (Röntgen)
 - UPS (UV-Licht)
 - Koinzidente PES (>1 Elektron ausgelöst)

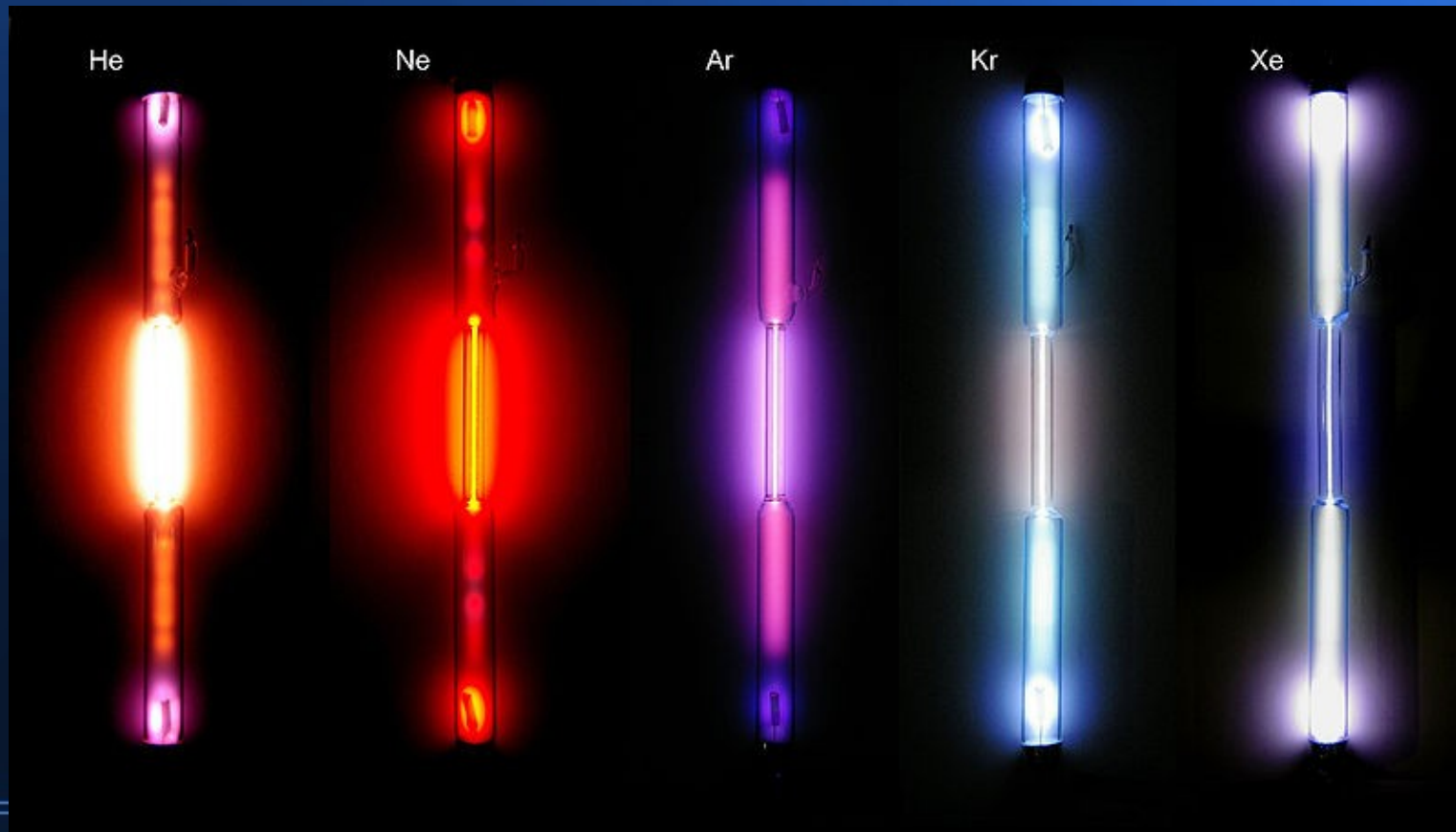
Experimenteller Aufbau

Lichtquellen

Experimenteller Aufbau

Lichtquellen

- Gasentladungslampe



Experimenteller Aufbau

Lichtquellen

- Synchrotron

Experimenteller Aufbau

Lichtquellen

- Synchrotron
- Vorteile:
 - Monochromator erlaubt Auswahl der Photonenergie aus breitem Spektrum
 - Hohe Intensität
 - Variable Polarisation
 - Messungen auf niedrigen Zeitskalen ($< \text{ns}$)

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Übergangswahrscheinlichkeit nach Fermis Goldener Regel:

$$\omega_{fi} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle \Phi_f | H_{WW} | \Phi_i \rangle|^2 \delta(E_f - E_i - \hbar\omega)$$

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Übergangswahrscheinlichkeit nach Fermis Goldener Regel:

$$\omega_{fi} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle \Phi_f | H_{WW} | \Phi_i \rangle|^2 \delta(E_f - E_i - \hbar\omega)$$

- WW-Hamiltonian in Coulombbeichung und linearer Approximation:

$$H_{WW} = \frac{e}{2mc} \vec{A} \cdot \vec{p}$$

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Kinetische Energie eines Photoelektrons:

$$E_{kin} = h\nu - \phi - |E_B|$$

Photon-Elektron-Wechselwirkung

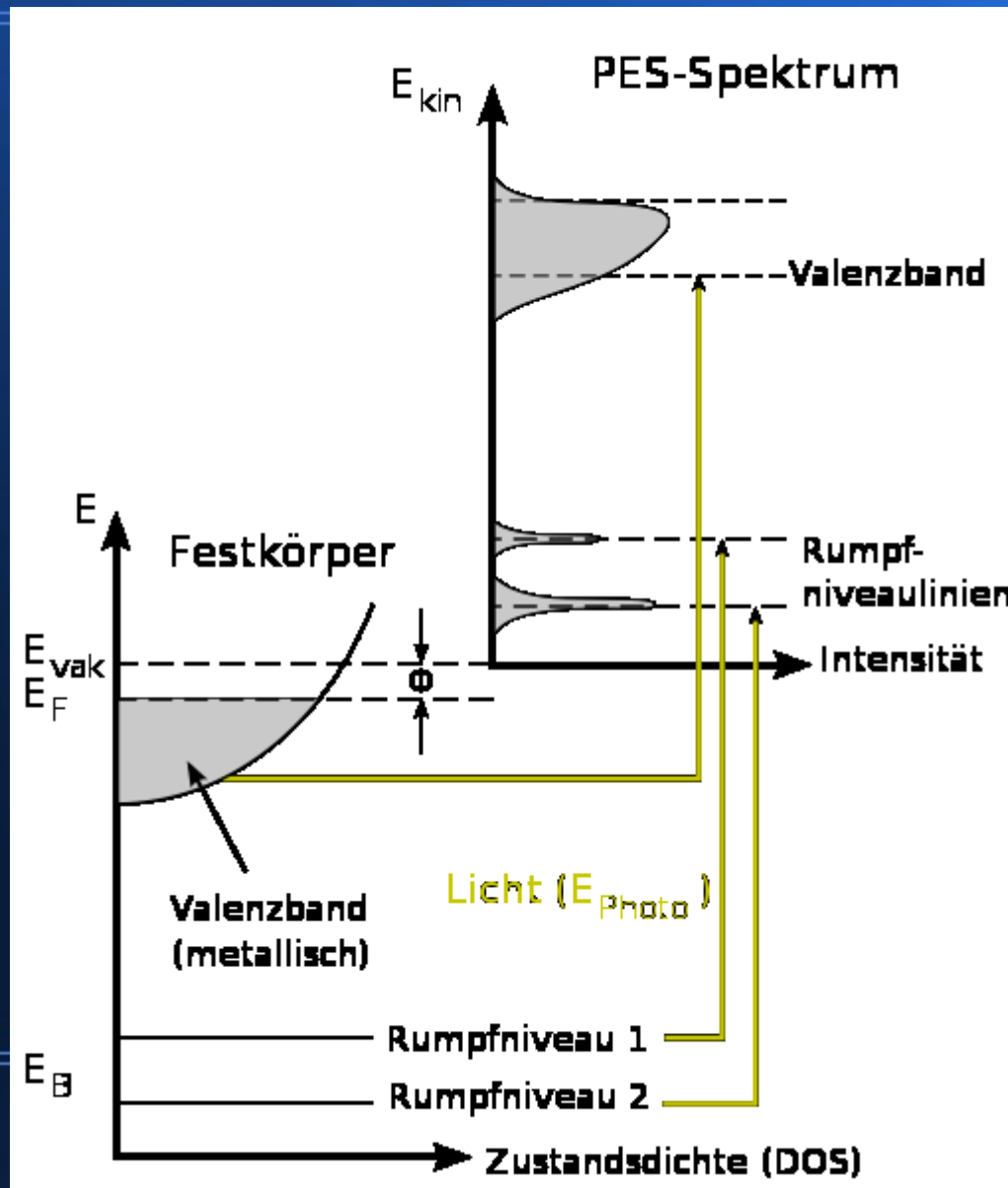
Photoeffekt und Impulserhaltung

- Kinetische Energie eines Photoelektrons:

$$E_{kin} = h\nu - \phi - |E_B|$$

- Intensität des Lichts: beeinflusst Anzahl der Photoelektronen, aber nicht die kinet. Energie

Beispiel: PES-Spektrum



Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Kinetische Energie eines Photoelektrons:

$$E_{kin} = h\nu - \phi - |E_B|$$

- Intensität des Lichts: beeinflusst Anzahl der Photoelektronen, aber nicht die kinet. Energie
- Impulserhaltung:

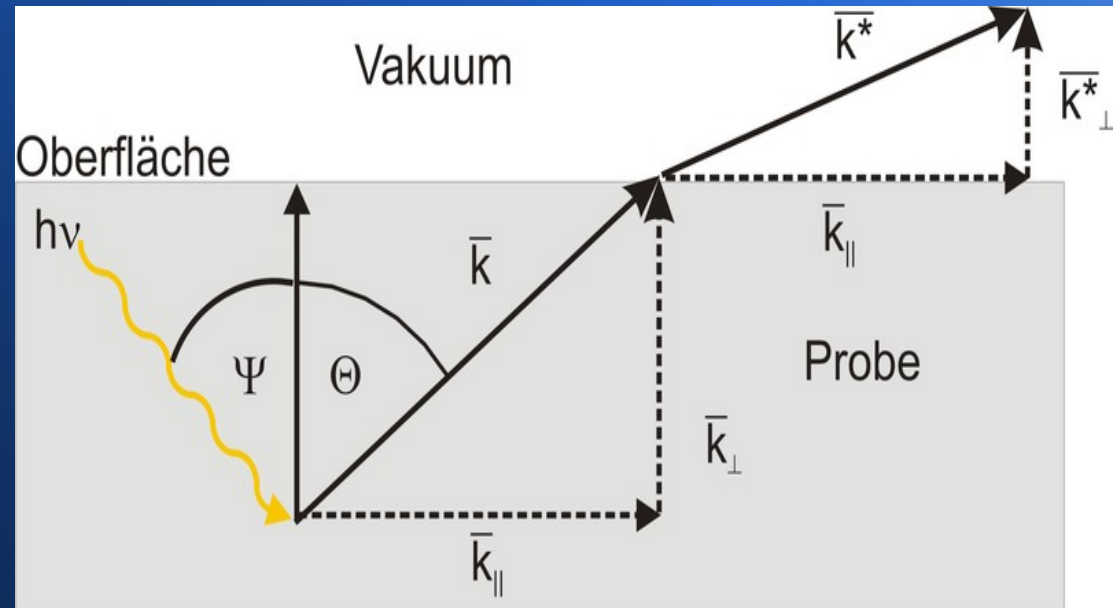
$$\mathbf{p}_{\parallel} = \hbar \mathbf{k}_{\parallel} = \sqrt{2mE_{kin}} \cdot \sin \vartheta$$

(Impuls des Photons vernachlässigbar)

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Impuls senkrecht zur Oberfläche nicht erhalten!



- Impulserhaltung:

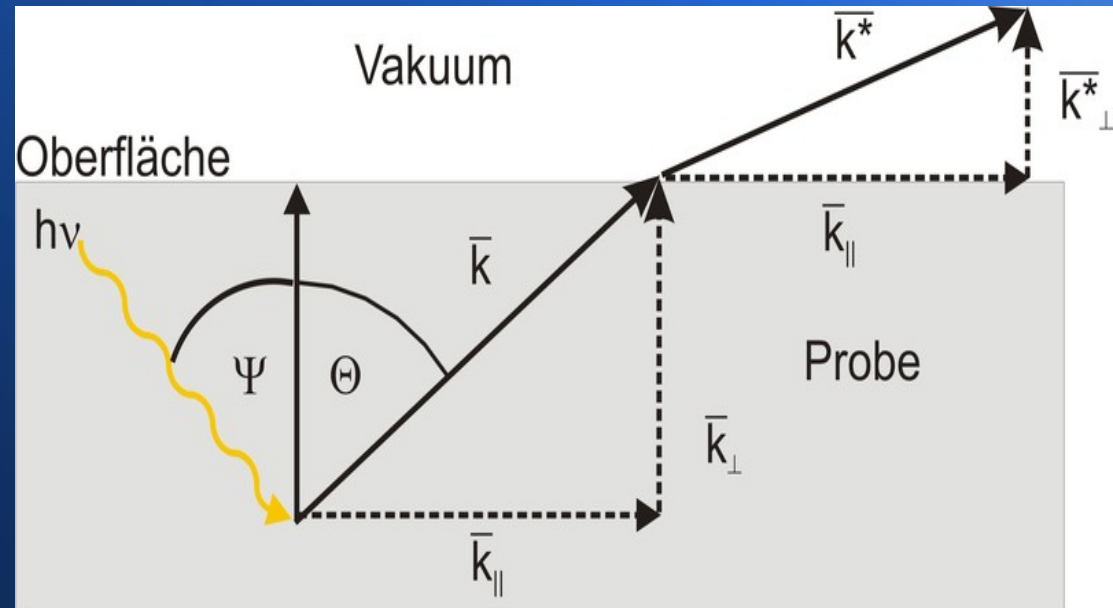
$$\mathbf{p}_{\parallel} = \hbar \mathbf{k}_{\parallel} = \sqrt{2m E_{kin}} \cdot \sin \vartheta$$

(Impuls des Photons vernachlässigbar)

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Photoeffekt und Impulserhaltung

- Impuls senkrecht zur Oberfläche nicht erhalten!



- k_{gesamt} lässt sich zumindest bei niedrigdimensionalen Systemen oder durch zusätzliche Annahmen bestimmen

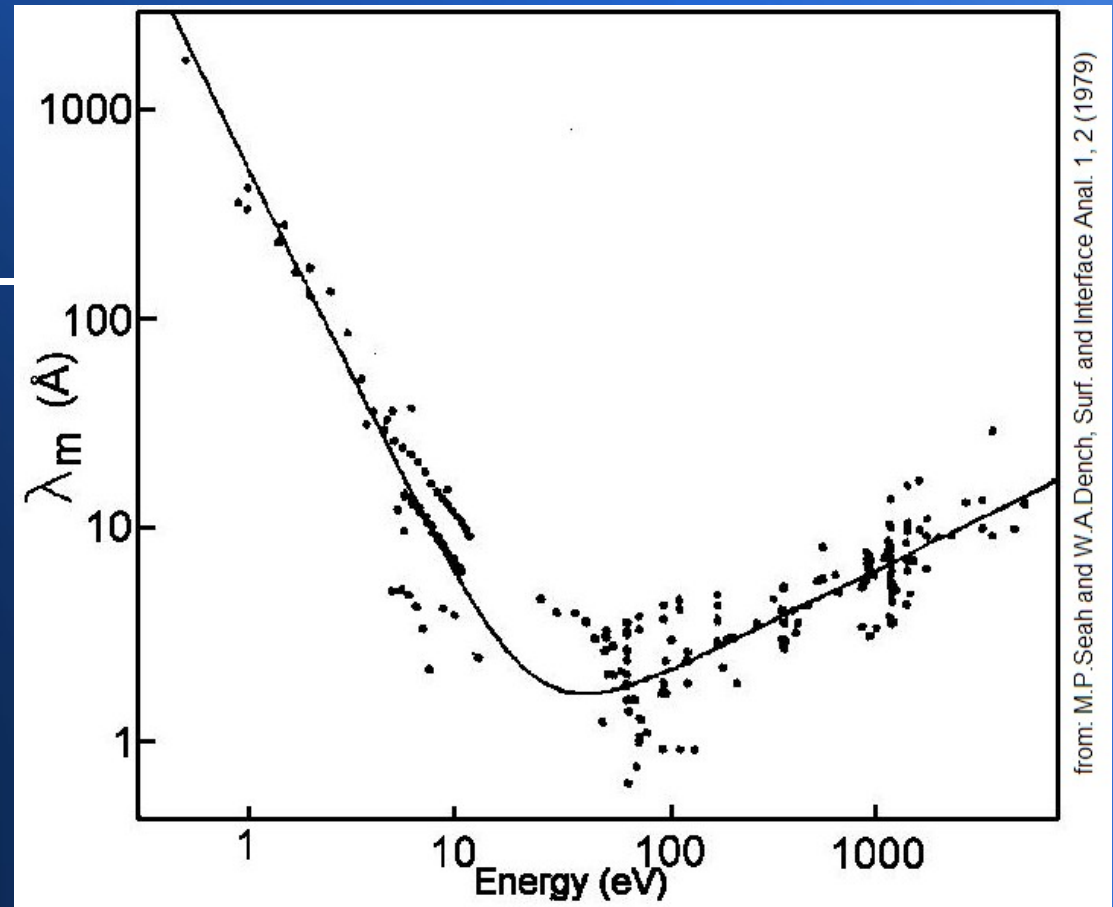
Photon-Elektron-Wechselwirkung

Mittlere freie Weglänge von Photoelektronen

Photon-Elektron-Wechselwirkung

Mittlere freie Weglänge von Photoelektronen

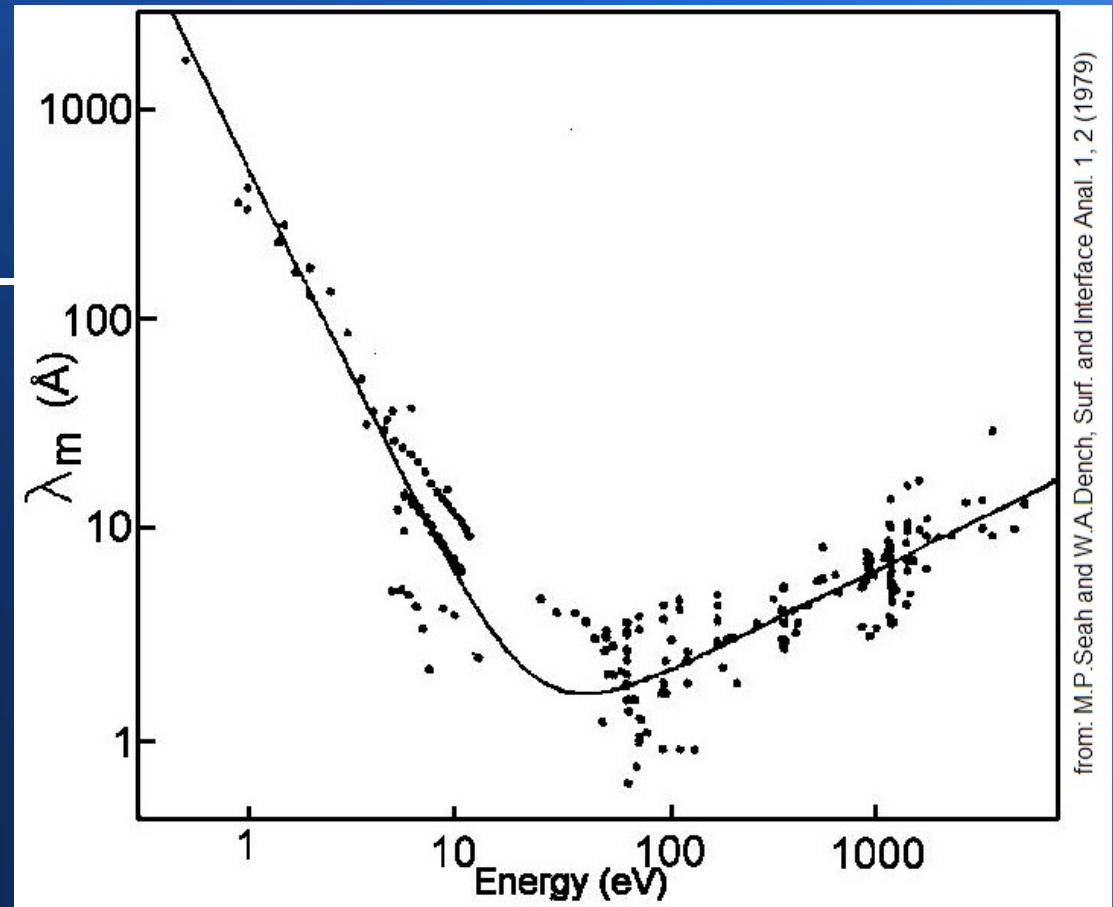
- Betrachte Bereich
20-100 eV:
Mittl. freie Weglänge e^-
ca. 5 Angström



Photon-Elektron-Wechselwirkung

Mittlere freie Weglänge von Photoelektronen

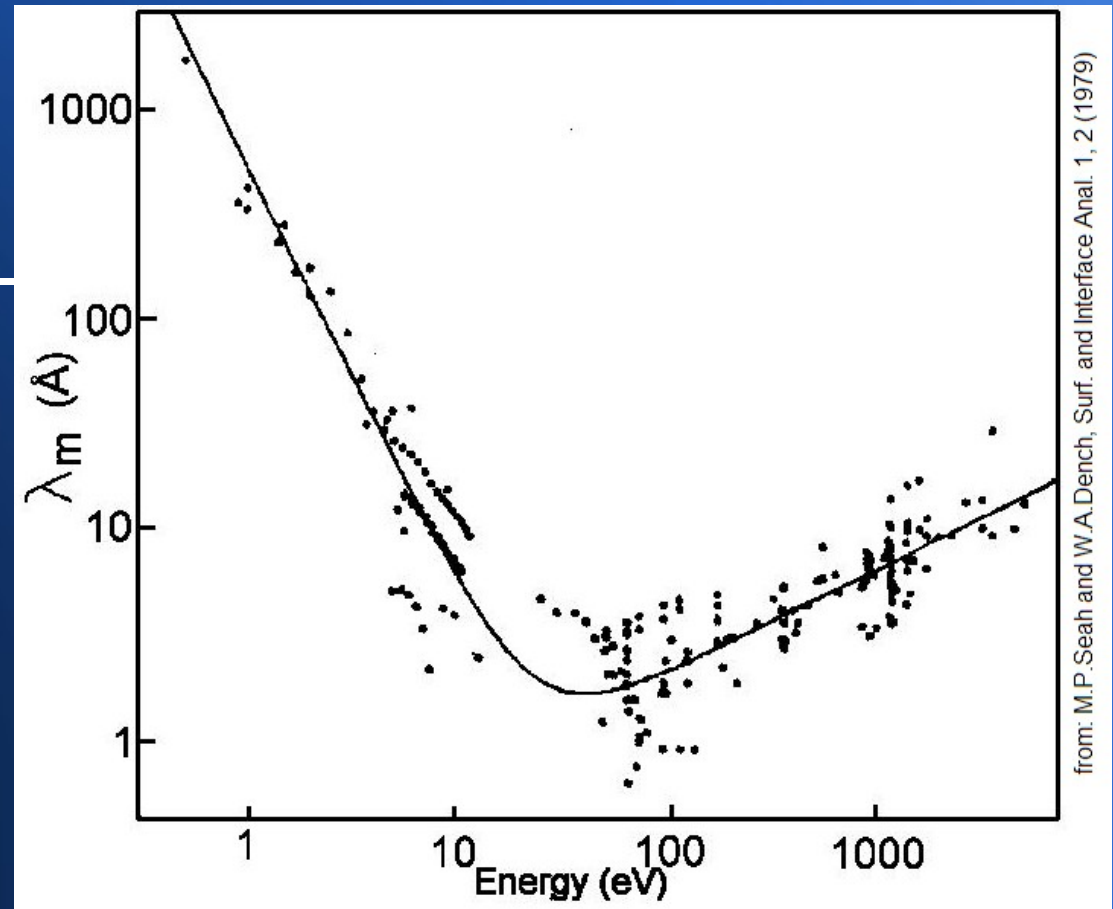
- Betrachte Bereich
20-100 eV:
Mittl. freie Weglänge e^-
ca. 5 Angström
- Photonen: etwa
1000 Angström



Photon-Elektron-Wechselwirkung

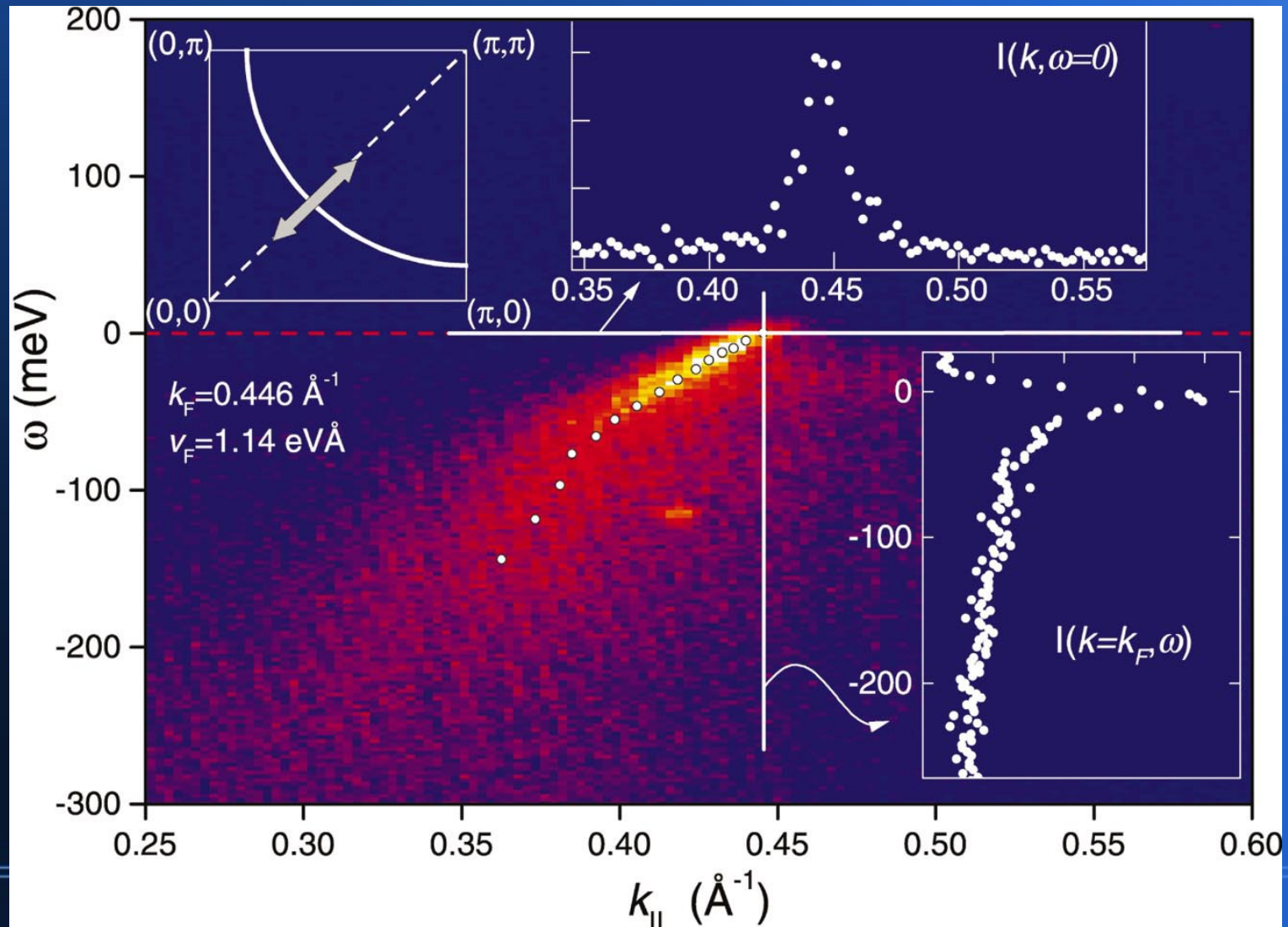
Mittlere freie Weglänge von Photoelektronen

- Betrachte Bereich
20-100 eV:
Mittl. freie Weglänge e^-
ca. 5 Angström
- Photonen: etwa
1000 Angström

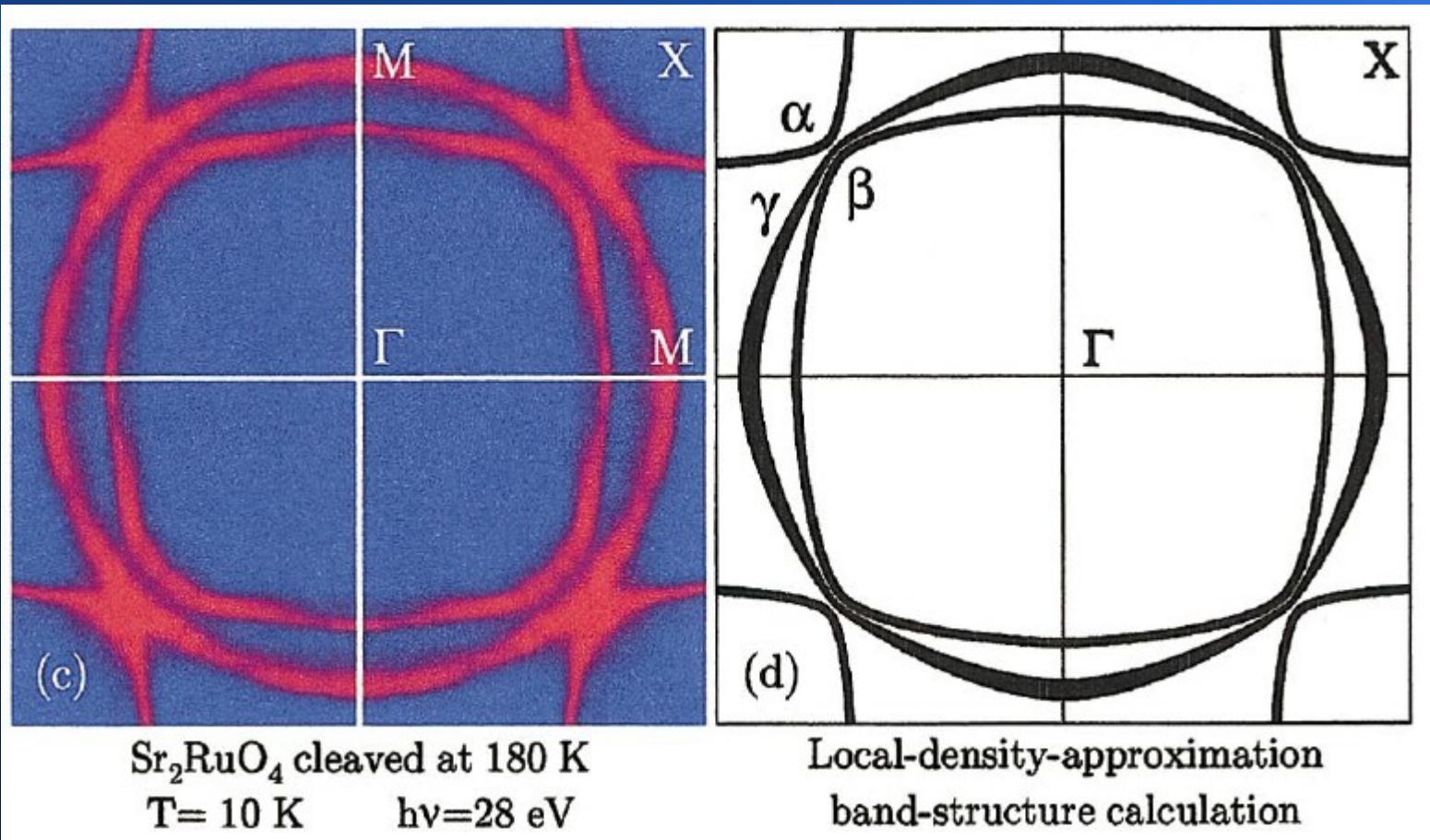


Die PES ist also sehr **oberflächensensitiv!**

Deutung der Messergebnisse



Experiment vs. Theorie



Aktuelle Anwendungen

- Aktuell: 2 meV Energieauflösung, 0.2° Winkelauflösung (2003)
- Untersuchung von Kuprat-Supraleitern
- Beobachtung von dispersiven elektronischen Eigenschaften
- d-Wellen Energielücke im Supraleiter

Quellen

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Xps-analysator.jpg&filetimestamp=20081006064651>

Andrea Damascelli et al.: „Angle-resolved photoemission studies of the cuprate superconductors“, Reviews of Modern Physics Volume 75, April 2003, pp. 473-541

<http://people.physik.hu-berlin.de/~kreier/seminar/20070514.pdf>

http://en.wikipedia.org/wiki/Photoemission_spectroscopy

<http://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektronenspektroskopie>

<http://iopscience.iop.org/1367-2630/7/1/097/fulltext/>

http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Edelgase_in_Entladungsroehren.jpg&filetimestamp=20090819230737