

# Seminarvortrag im Fortgeschrittenenpraktikum Versuch Photoelektronenspektroskopie

Klaus Steiniger

6. Februar 2009

# Gliederung

- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Gliederung

- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Untersuchung struktureller und elektronischer Eigenschaften

## Low-Energie-Electron-Diffraction (LEED):

- Simulationen zu LEED-Bildern von Festkörperoberflächen
- Charakterisierung der Oberfläche durch LEED-Untersuchung
- Bestimmung der Oberflächenorientierung

## Photoelektronenspektroskopie (PES):

- Messungen zur Bandstruktur

# Gliederung

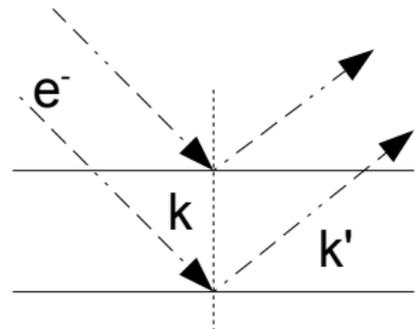
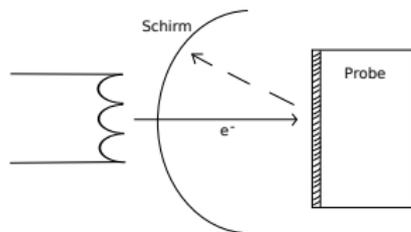
- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Strukturelle Eigenschaften

## LEED

### Prinzip von LEED

- gerichteter, monochromatischer Elektronenstrahl auf Probe  
 $50 \text{ eV} \leq E \leq 250 \text{ eV}$
- Beugung am Gitter
- gebeugte Elektronen werden am Schirm aufgefangen
- Laue-Bedingung:  $\Delta \vec{k} = \vec{G}$  ( $\vec{G}$  - reziproker Gittervektor) muss erfüllt sein für Intensitätsmaximum



# Strukturelle Eigenschaften LEED

Bedeutung von LEED:

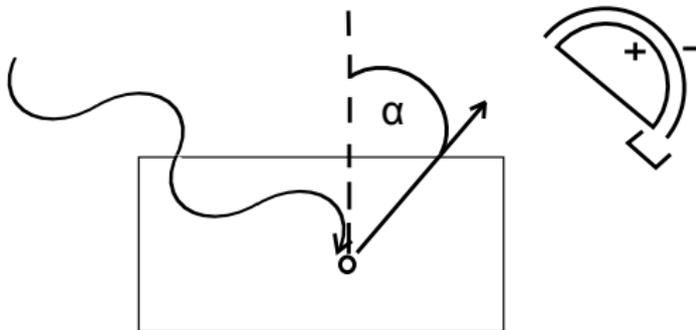
- Man erkennt, wie gut eine Oberfläche geordnet ist
- Adsorbate auf einer Oberfläche sind erkennbar
- aus den Reflexabständen lassen sich Rückschlüsse über das Kristallgitter ziehen

# Elektronische Eigenschaften

## PES

### Prinzip der Photoelektronenspektroskopie

- durch Photoeffekt ausgelöste Elektronen werden auf Energie und Winkel analysiert
- Analysierter Energiebereich: 30-40 eV
- Lichtquelle: He-Niederdruck-Gasentladungslampe ( $h\nu = 40.8 \text{ eV}$ )



# Elektronische Eigenschaften

## PES

Bedeutung von PES:

- Aufnahmen der Bandstruktur eines Festkörpers  
(ist oft rechnerisch nicht möglich)  
s. Auswertung

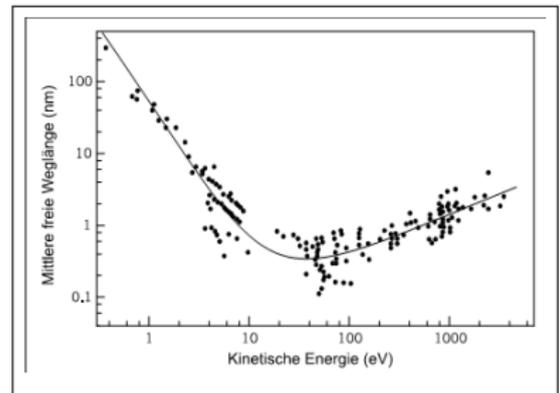
# Gliederung

- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - **Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit**
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Mittlere freie Weglänge von Elektronen

Sowohl LEED als auch PES oberflächenempfindliches Verfahren

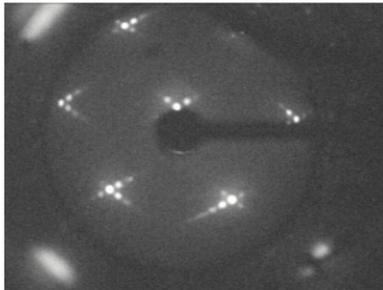
Zur Untersuchung von  
Oberflächen gut geeignet:  
Elektronen mit  
 $10 \text{ eV} \leq E_{\text{kin}} \leq 1000 \text{ eV}$



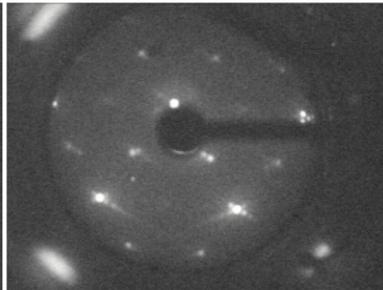
Schlussfolgerung → Präparation und 'Sauberhalten' der Probe ist wichtig!

# Präparation der Probe

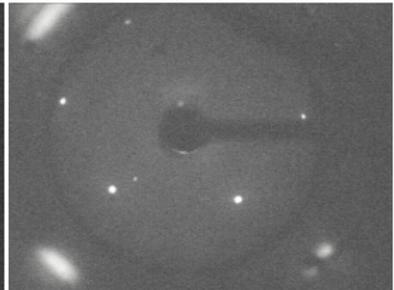
Stufen der Präparation:



unbehandelt



1 × geheizt



saubere Oberfläche

Bei einem Druck von  $10^{-10}$  mbar bleibt die Oberfläche für ungefähr 3h rein.

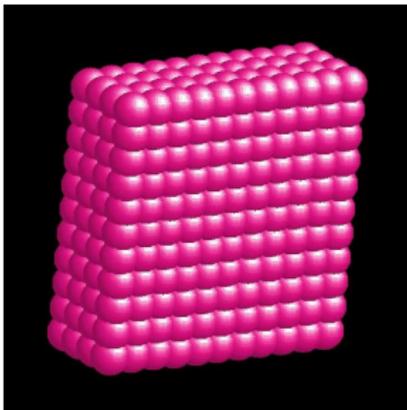
# Gliederung

- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Auswertung der Messergebnisse

## 1. Simulationen zu Leed Bildern von Festkörperoberflächen

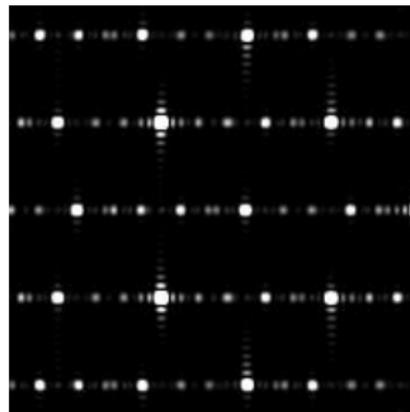
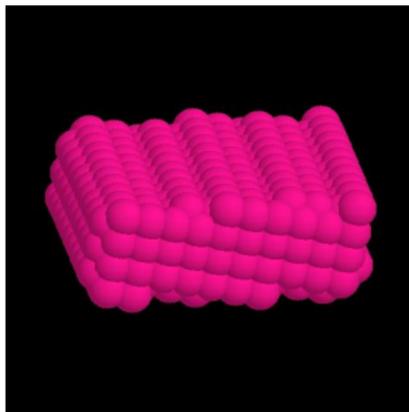
Oberflächenvektor steht senkrecht auf dem Kristallgitter  
(0 0 1)



# Auswertung der Messergebnisse

## 1. Simulationen zu Leed Bildern von Festkörperoberflächen

Einfluss von Stufen (0.2 0 1)



Stufen bilden zusätzliche Periodizität

→ zusätzliche Periodizität im Beugungsbild

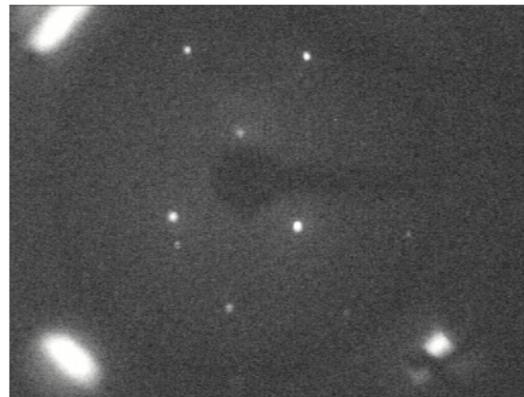
# Auswertung der Messergebnisse

## 2. Bestimmung der Oberflächenorientierung

Eins unserer Beugungsbilder

Symmetrie des  
Beugungsbildes =  
Symmetrie der Abgebildeten  
Ebene

⇒ Symmetrie nachstellen

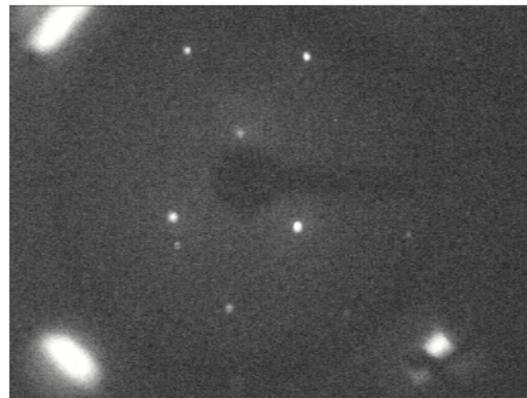
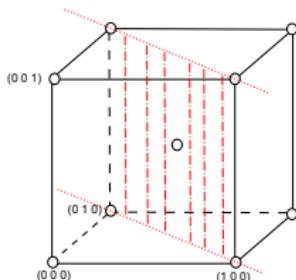


# Auswertung der Messergebnisse

## 2. Bestimmung der Oberflächenorientierung

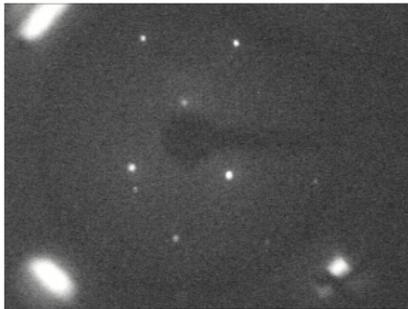
Eins unserer Beugungsbilder

- 2-zählige Symmetrie und keine Nebenreflexe
- ⇒ Oberflächenvektor nur mit ganzzahligen Werten
- $(1\ 1\ 0)$  Ebene hat zweizählige Symmetrie

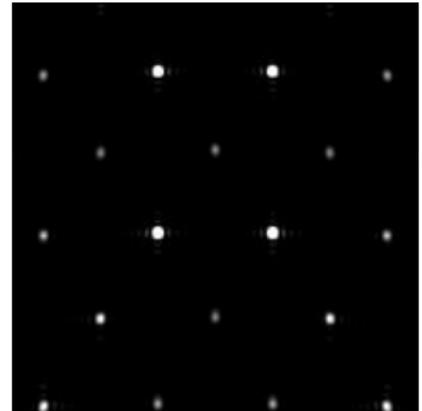


## Fazit

Oberflächenvektor  $(1\ 1\ 0)$  mit Kippung des Kristalls um  $5^\circ$  bringt den richtigen Oberflächenvektor



aufgenommen



simuliert

# Gliederung

- 1 Einführung
  - Ziel und Aufgabenstellung
  - Durchführung
  - Besondere Bemerkung zur Oberflächenempfindlichkeit
  
- 2 Ergebnisse
  - Elektronenbeugung
  - Photoelektronenspektroskopie

# Auswertung der Messergebnisse

- Bandstruktur: Beschreibung der erlaubten Elektronenzustände im Impulsraum,  $E = E(\vec{k})$
- freie Elektronen:  $E = \vec{p}^2/2m = \hbar^2 \vec{k}^2/2m$
- Im Festkörper zusätzliche Terme durch Potential der Atome

# Auswertung der Messergebnisse

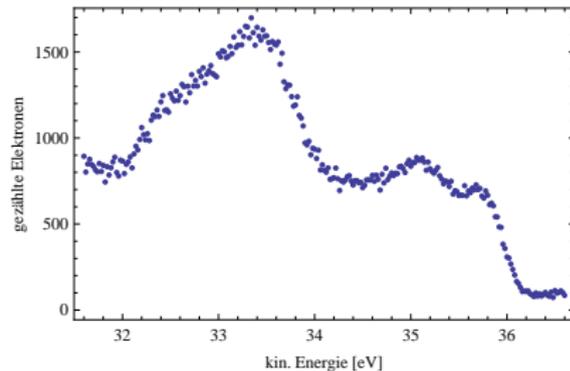
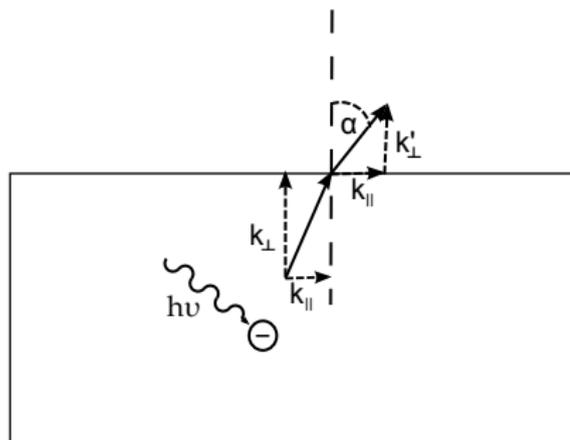
Im Versuch

- nur Bestimmung von  $k_{||}$
- aufgetragen über der Bindungsenergie (relativ zur Fermikante)

# Auswertung der Messergebnisse

Im Detail:

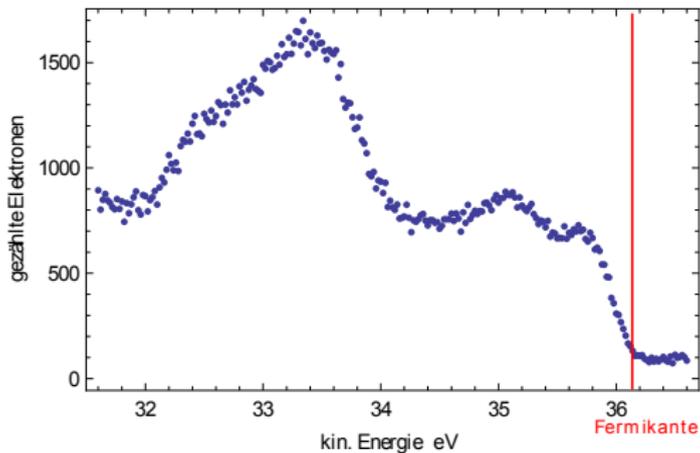
Spektrum der kinetische Energie der Elektronen unter dem Winkel  $\alpha = -14^\circ$



# Auswertung der Messergebnisse

Man erkennt

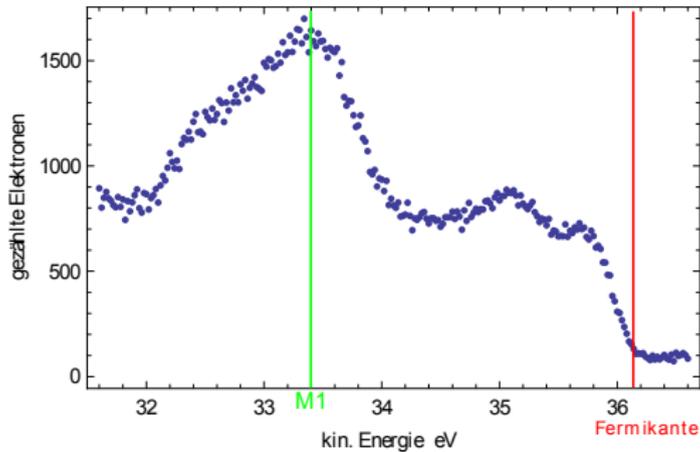
- Fermikante



# Auswertung der Messergebnisse

Man erkennt

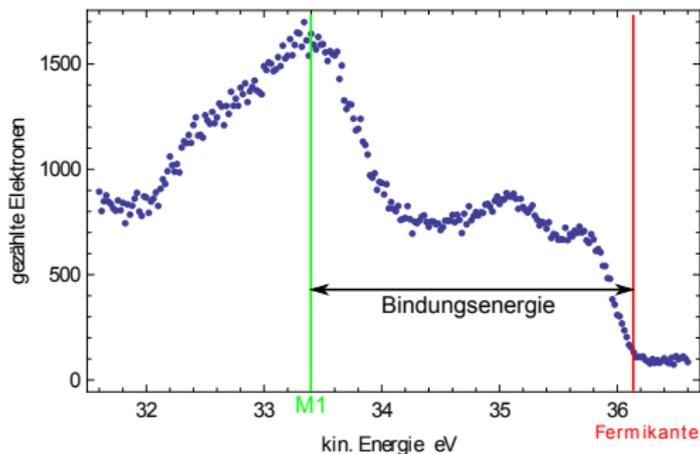
- Fermikante
- Zählmaximum (nur diese werden ausgewertet)



# Auswertung der Messergebnisse

Man erkennt

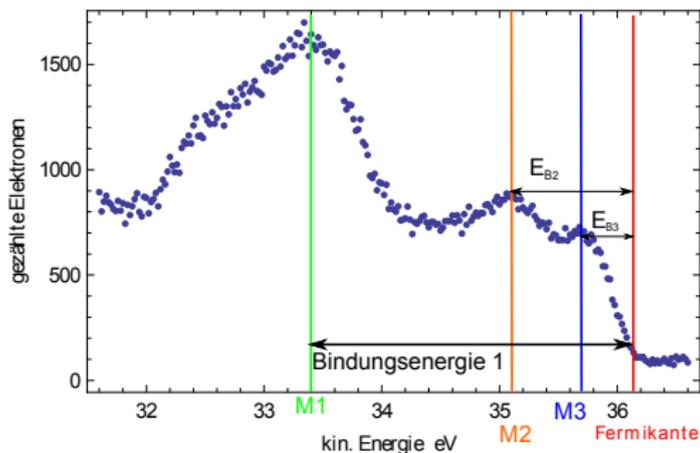
- Fermikante
- Zählmaximum (nur diese werden ausgewertet)
- zugehörige Bindungsenergie  $E_B$



# Auswertung der Messergebnisse

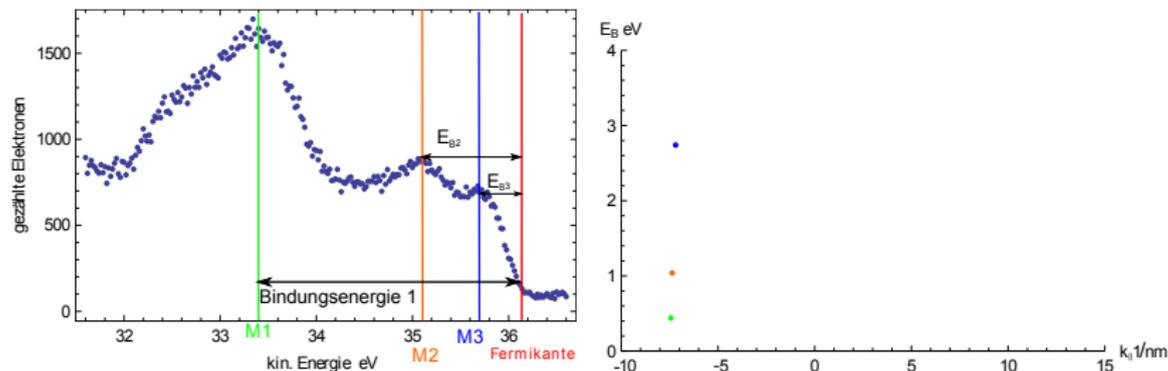
Man erkennt

- Fermikante
- Zählmaximum (nur diese werden ausgewertet)
- zugehörige Bindungsenergie  $E_B$
- weitere Maxima mit Bindungsenergien



# Auswertung der Messergebnisse

Man erhält für die Maxima  $E_B = 33.4, 35.1, 35.7$  eV

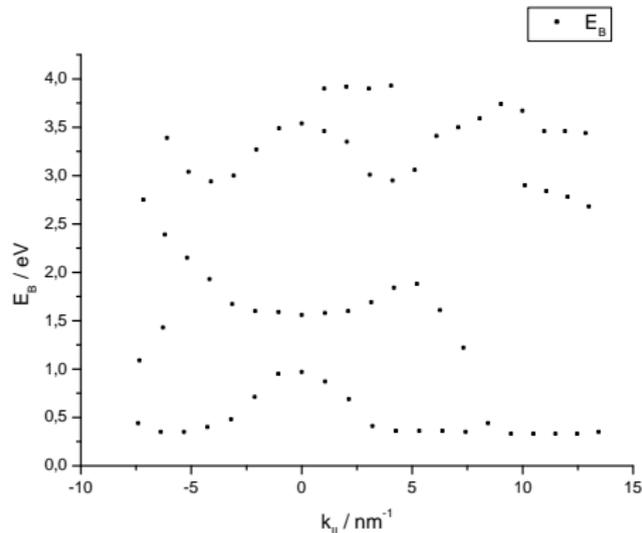
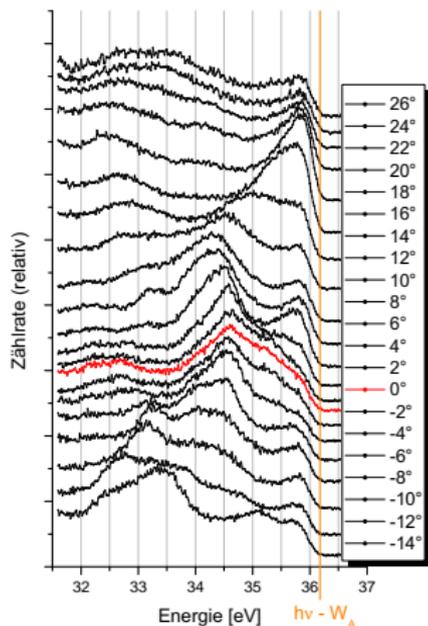


Die parallele Impulskomponente errechnet sich aus:

$$k_{||} = \sqrt{\frac{E_{\text{kin}} \cdot 2m}{\hbar^2}} \cdot \sin \alpha$$

# Auswertung der Messergebnisse

Auswertung für alle Spektren liefert die Bandstruktur des Wolframs



# Zusammenfassung

Was haben wir im Versuch gelernt

- Präparation einer Probe für oberflächenempfindliche Messverfahren
- Durchführen von Simulationen zu LEED-Bildern von Festkörperoberflächen
- Ermitteln der Orientierung einer Probe
- Aufnahme der Bandstruktur eines Festkörpers

Insbesondere: Wissen aus der Festkörperphysik vertieft und praktisch angewendet

# Zusätzliches

## Zusätzliches

