

# Exp. Aufbau zur Photoemissionsspektroskopie

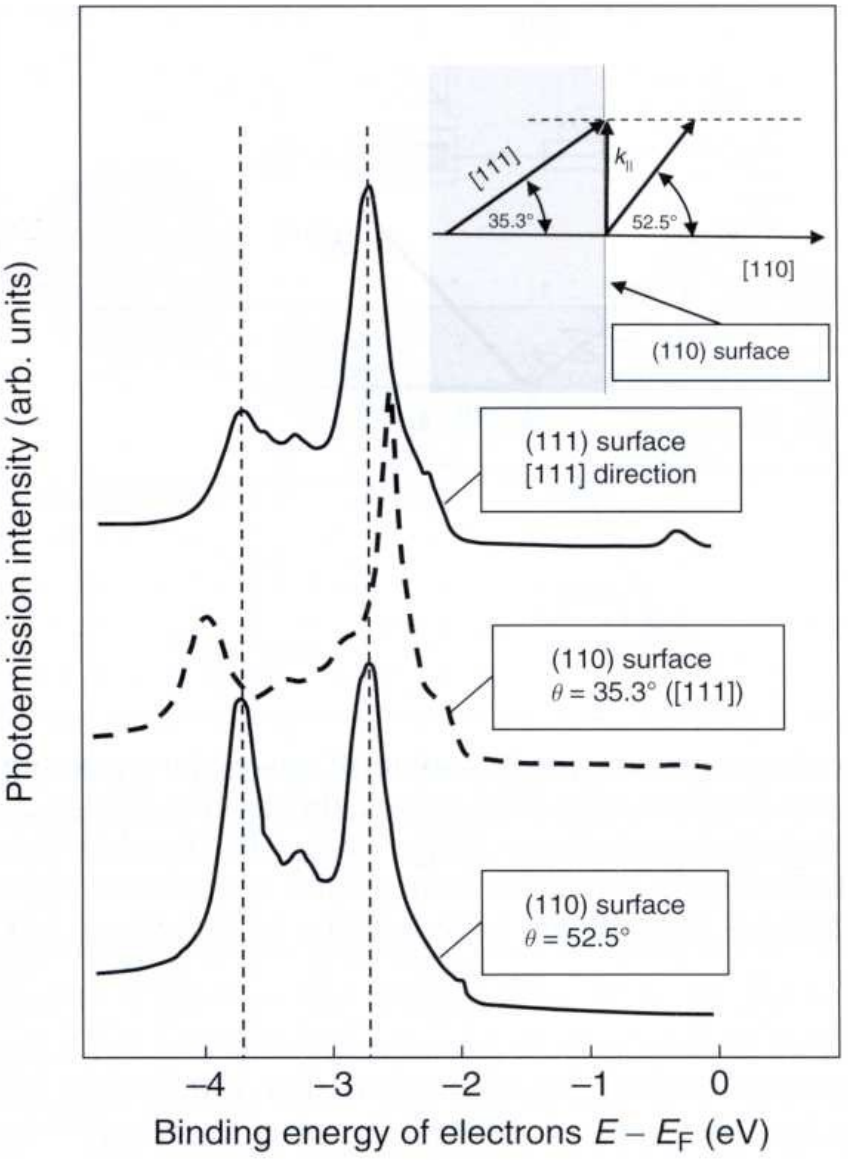
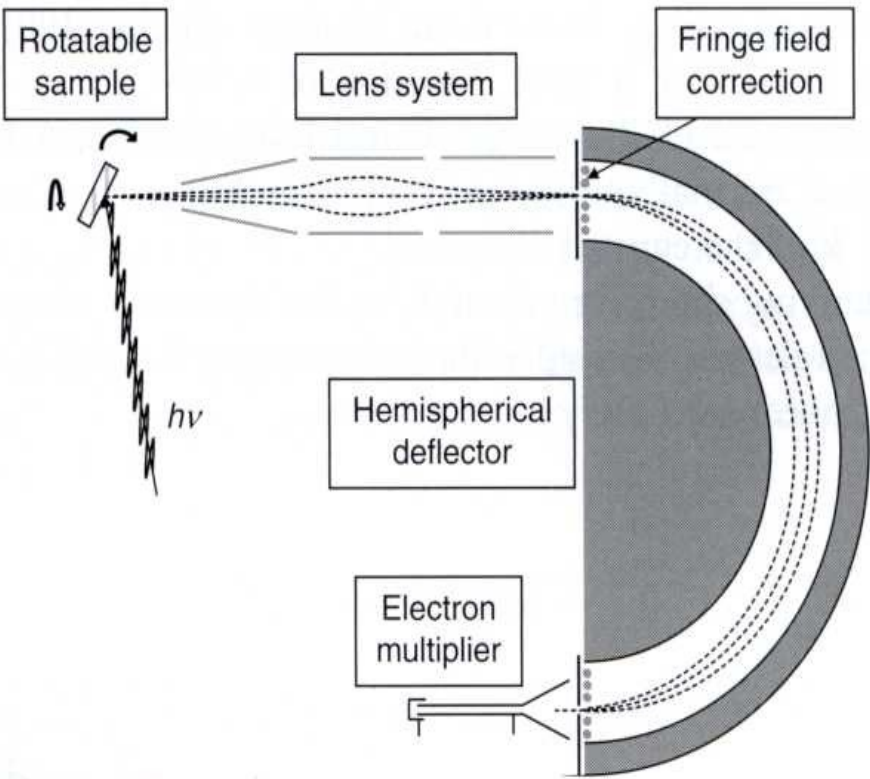
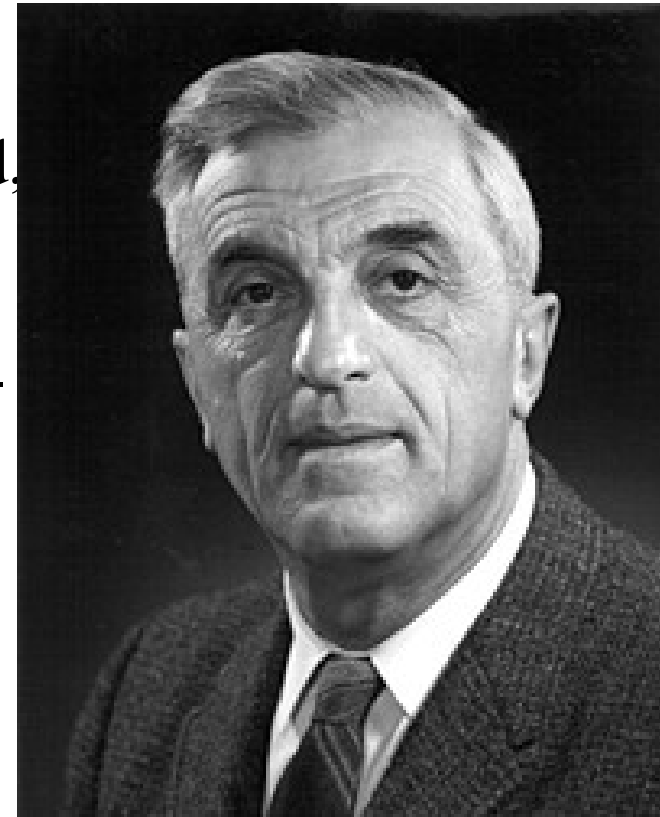


Fig. 4-6

Photoemissionsspektrum von Cu

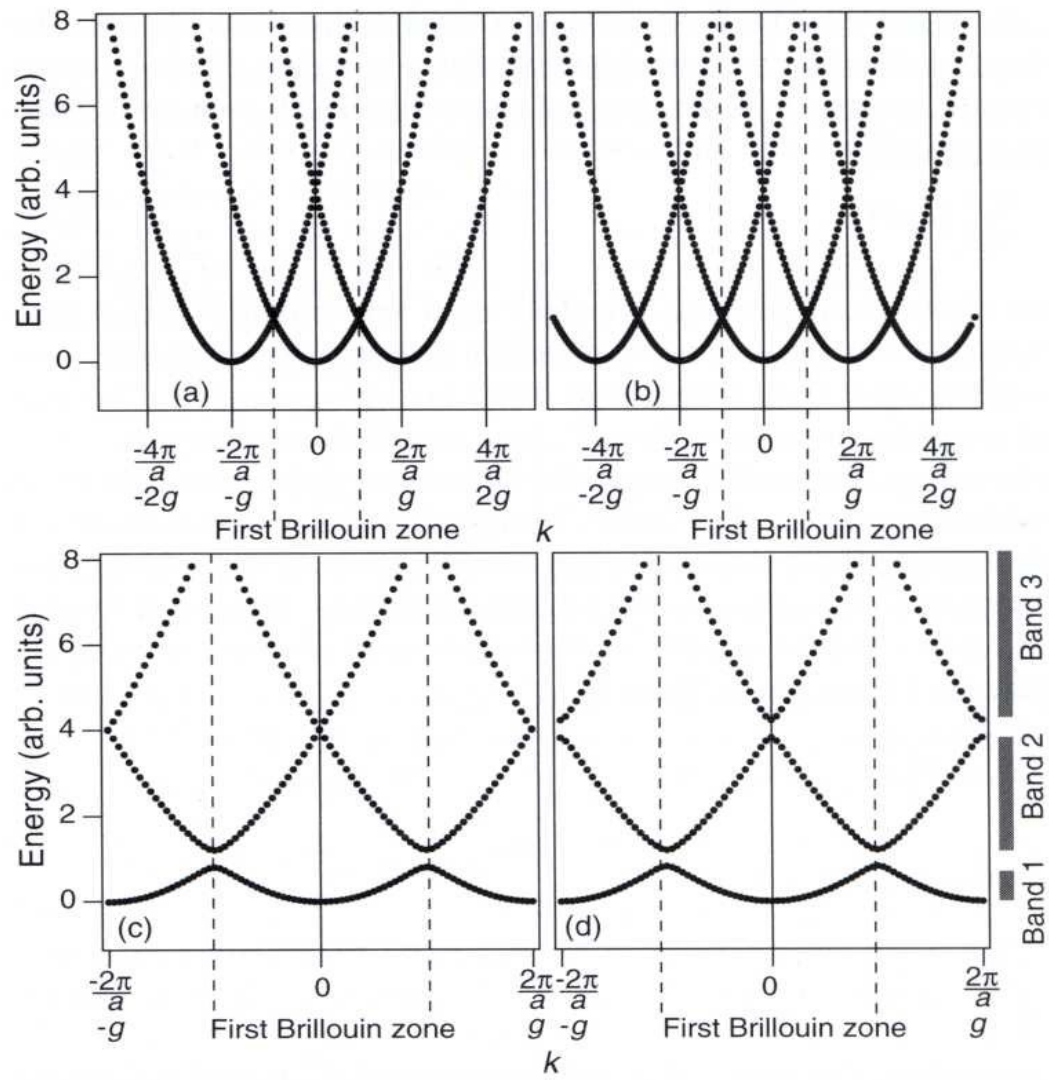
“Als ich ueber das Problem nachzudenken begann, erkannte ich, dass die Hauptschwierigkeit darin bestand, zu erklaren, wie die Elektronen ungestoert an allen Ionen im Metall vorbeikommen koennen ...  
Zu meiner Freude fand ich durch eine einfache Fourier-Analyse, dass sich die Welle von der ebenen Welle eines freien Elektrons nur durch eine periodische Modulation unterschied”

Felix Bloch, 1905 - 1983



Bloch'sches Theorem: fuer jede beliebige Wellenfunktion, welche die Schroedinger-Gleichung erfuehlt, existiert ein derartiger Wellenvektor  $k$ , dass die Translation um einen Gittervektor  $R$  gleichwertig mit der Multiplikation mit dem Phasenfaktor  $\exp(ikR)$  ist.

# elektronische Zustände fuer fast freie Elektronen in einem 1-dim Gitter



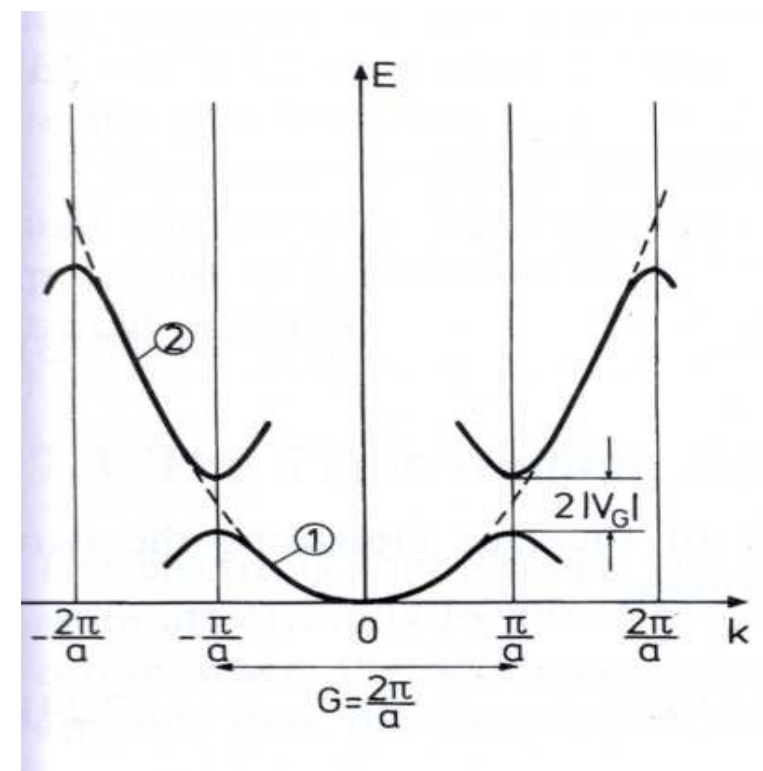
a,b)  $U$  fast 0 betrachte 3 bzw 5 Koeff. in der Blochwelle

c)  $U_1, U_{-1}$  etwas groesser

d)  $+U_2, U_{-2}$  etwas groesser

Aufspaltung der Parabel fuer freies Elektron --- an Grenze der 1. BZ bei  $k=\pm\pi/a$

Fig. 4-8



Energiebaender in Al a) in der  $\Gamma$ -X Richtung (siehe 1. BZ im insert)  
 b) fuer Symmetriepunkte entlang gestricheltem Pfad

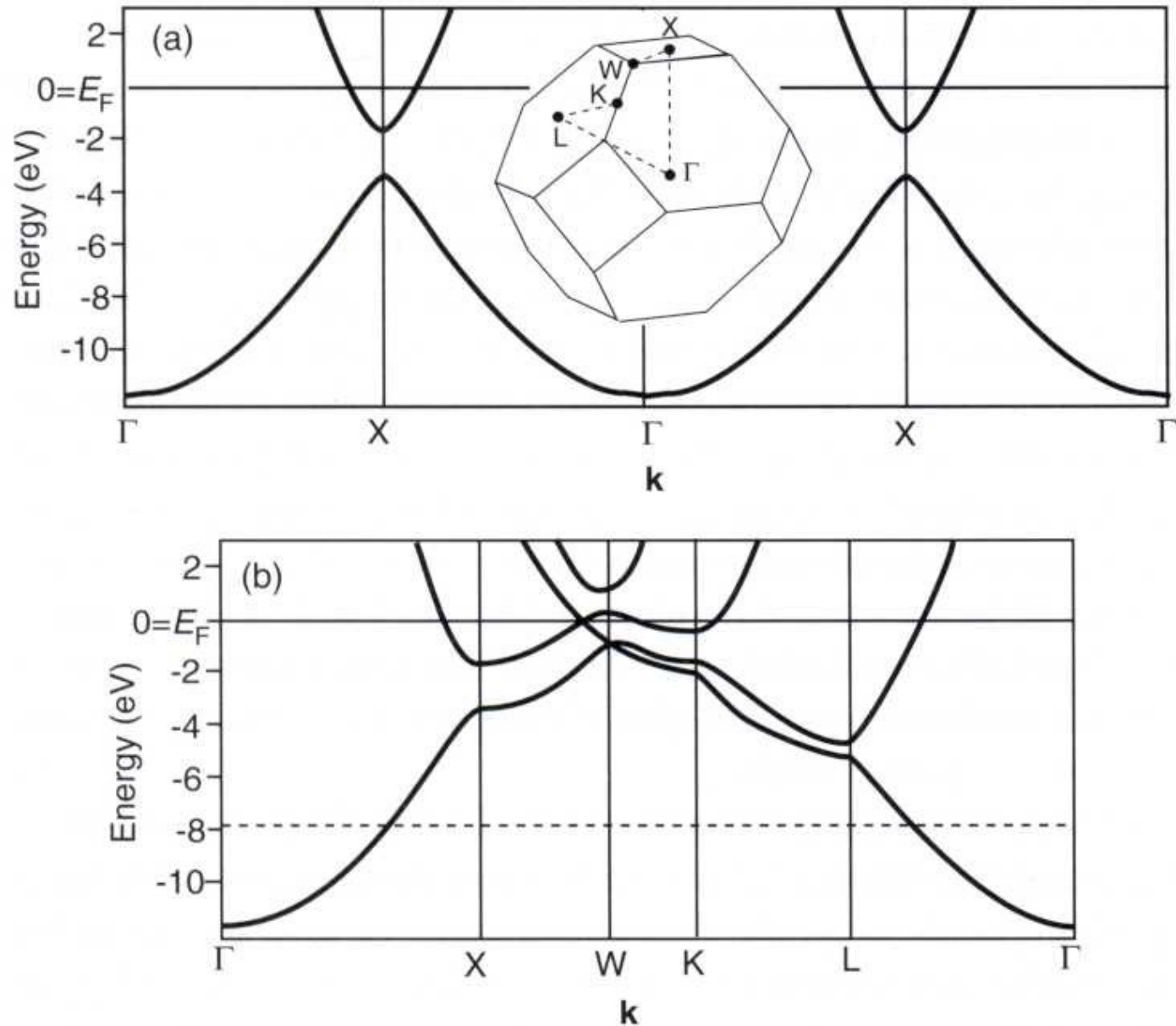
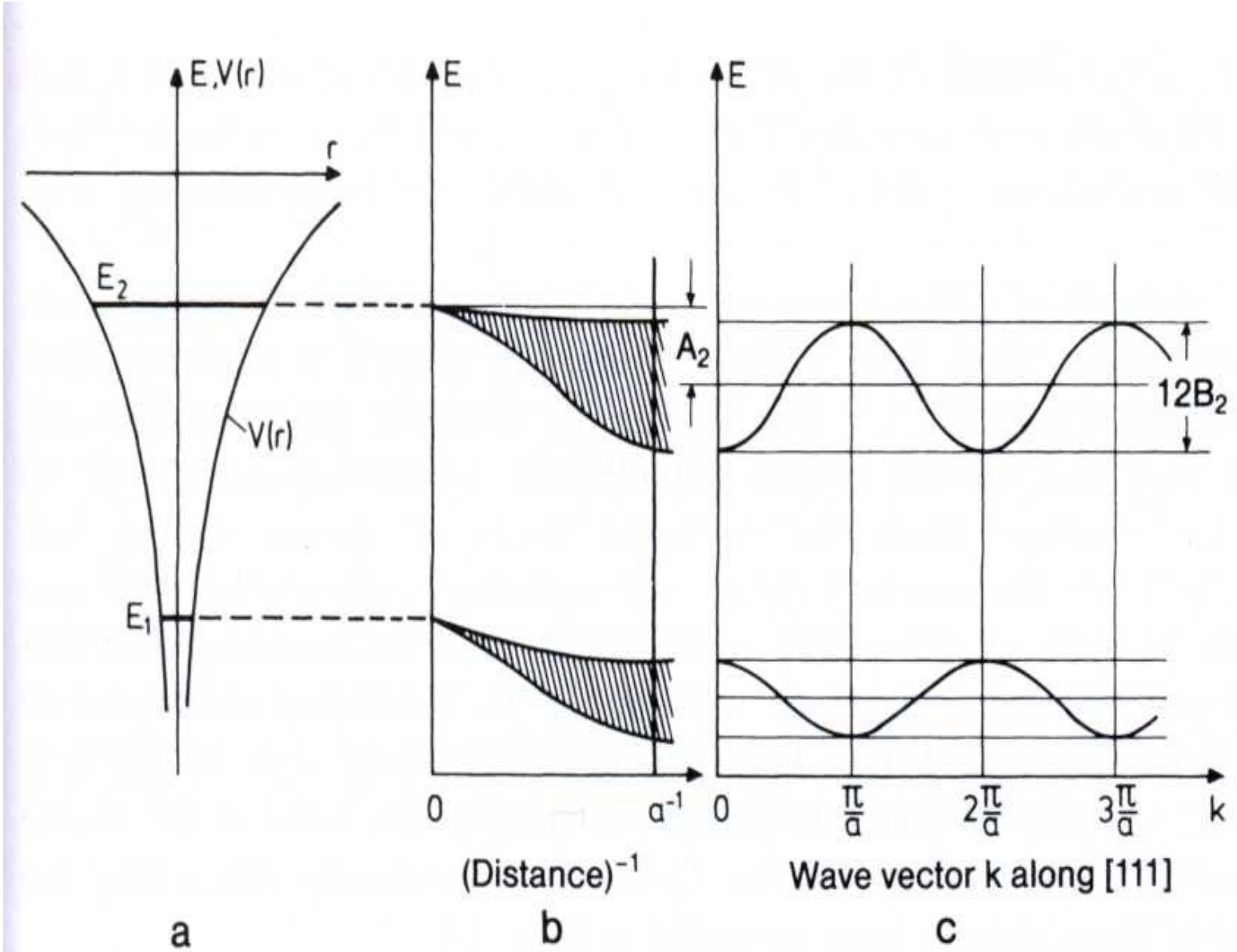


Fig. 4-9

# Entstehung von Energiebandern fuer stark gebundene Elektronen



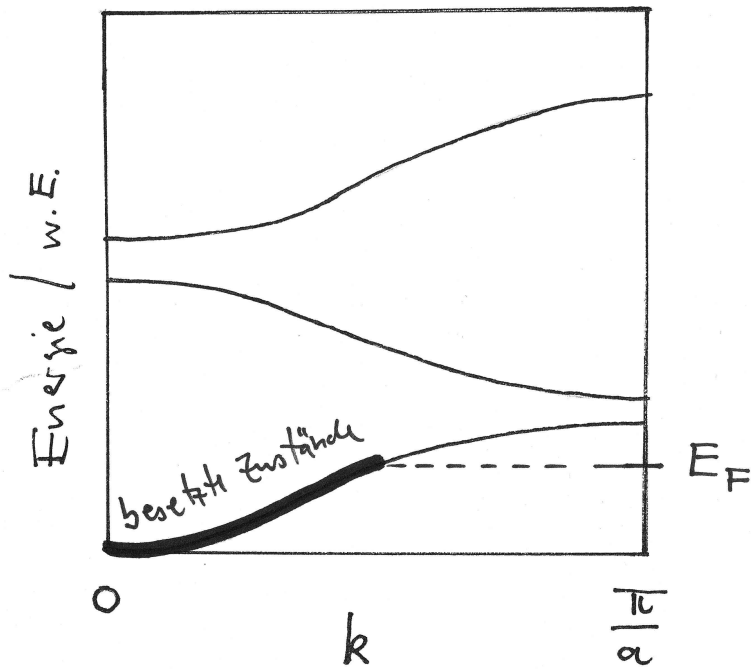
kubisch primitives Gitter mit Gitterkonst.  $a$  und Energieniveaus  $E_1$  und  $E_2$  im Potential  $V(r)$  des freien Atoms

Fig. 4-10

# Energiebänder

Metalle - Isolatoren - Halbleiter

Bsp. Einwertiges Metall



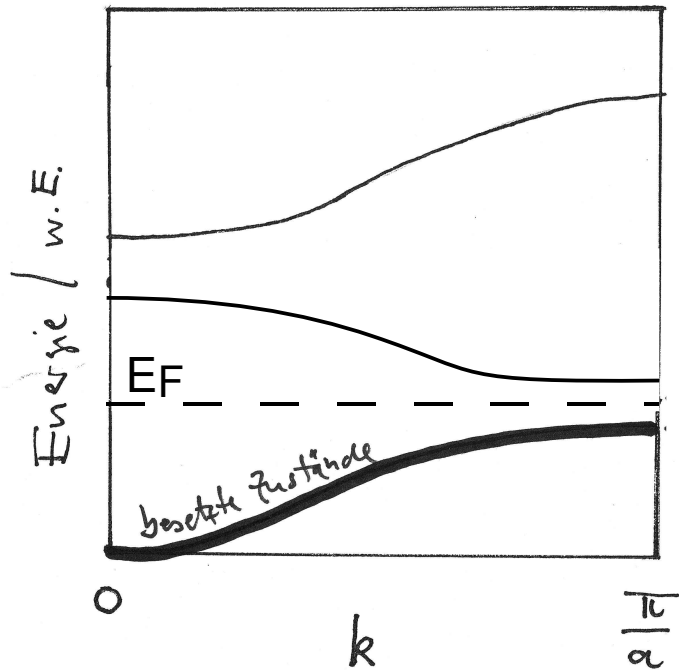
„Band ist halb gefüllt“

Bild 4.11

# Energiebänder

Metalle - Isolatoren - Halbleiter

Bsp. Isolator (Halbleiter)



Bandlücke

(Isolator:  $> 3\text{eV}$  typ.)  
(Halbleiter:  $< 3\text{eV}$  typ.)

Bild 4.12

# Energiebänder

Halbmetalle (wenig Überlapp) ←  
Metalle (große Überlapp) ←

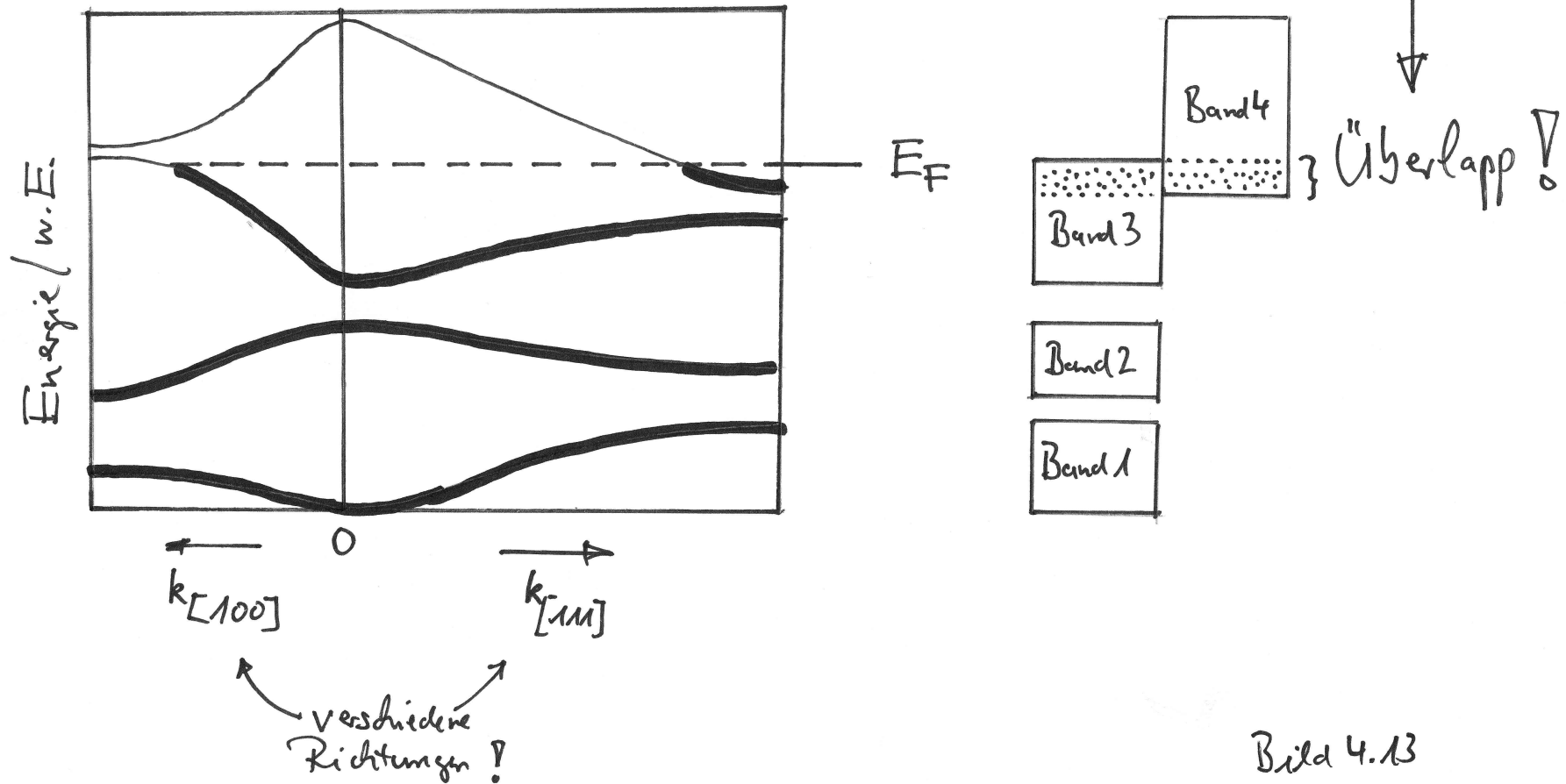


Bild 4.13



Dispersionsrelation,  
Gruppengeschwindigkeit,  
Effektive Masse  
 eindim. schematisch

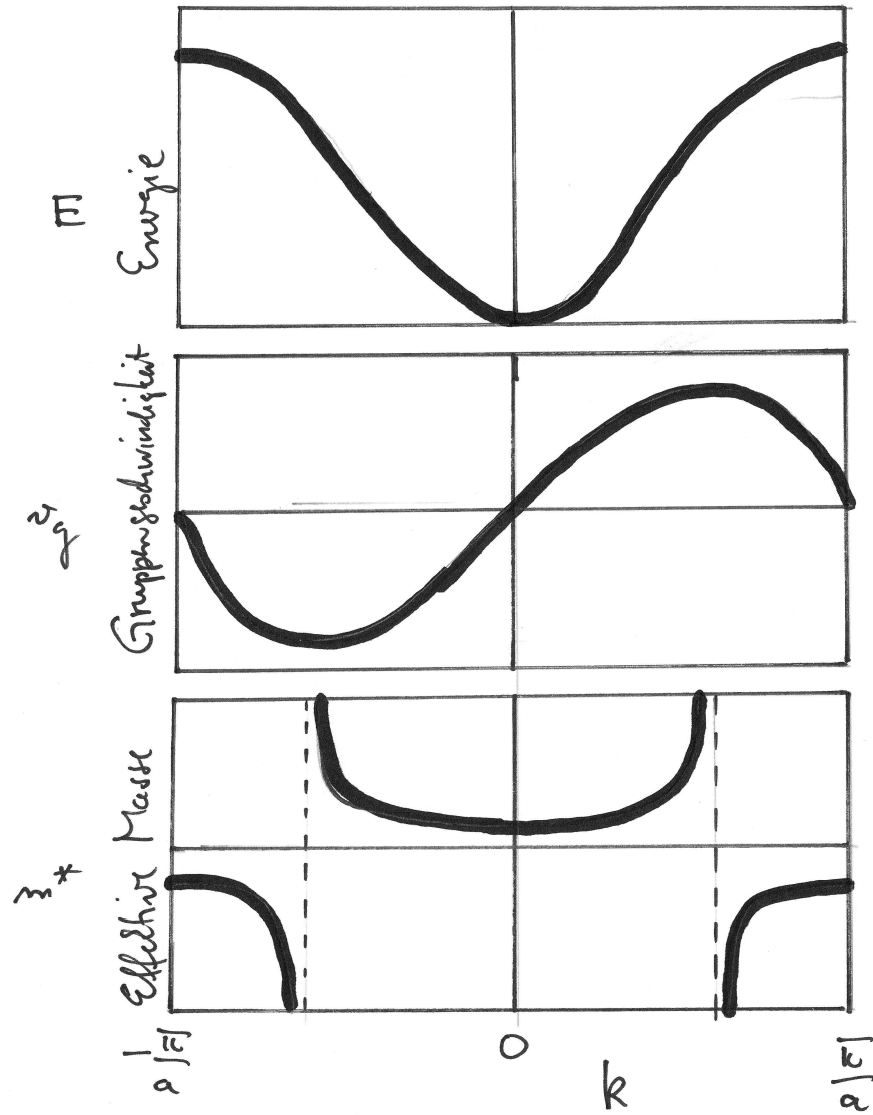


Bild 4.14

Dispersionsrelation,  
Gruppengeschwindigkeit,  
Effektive Masse  
 eindim. Schematische

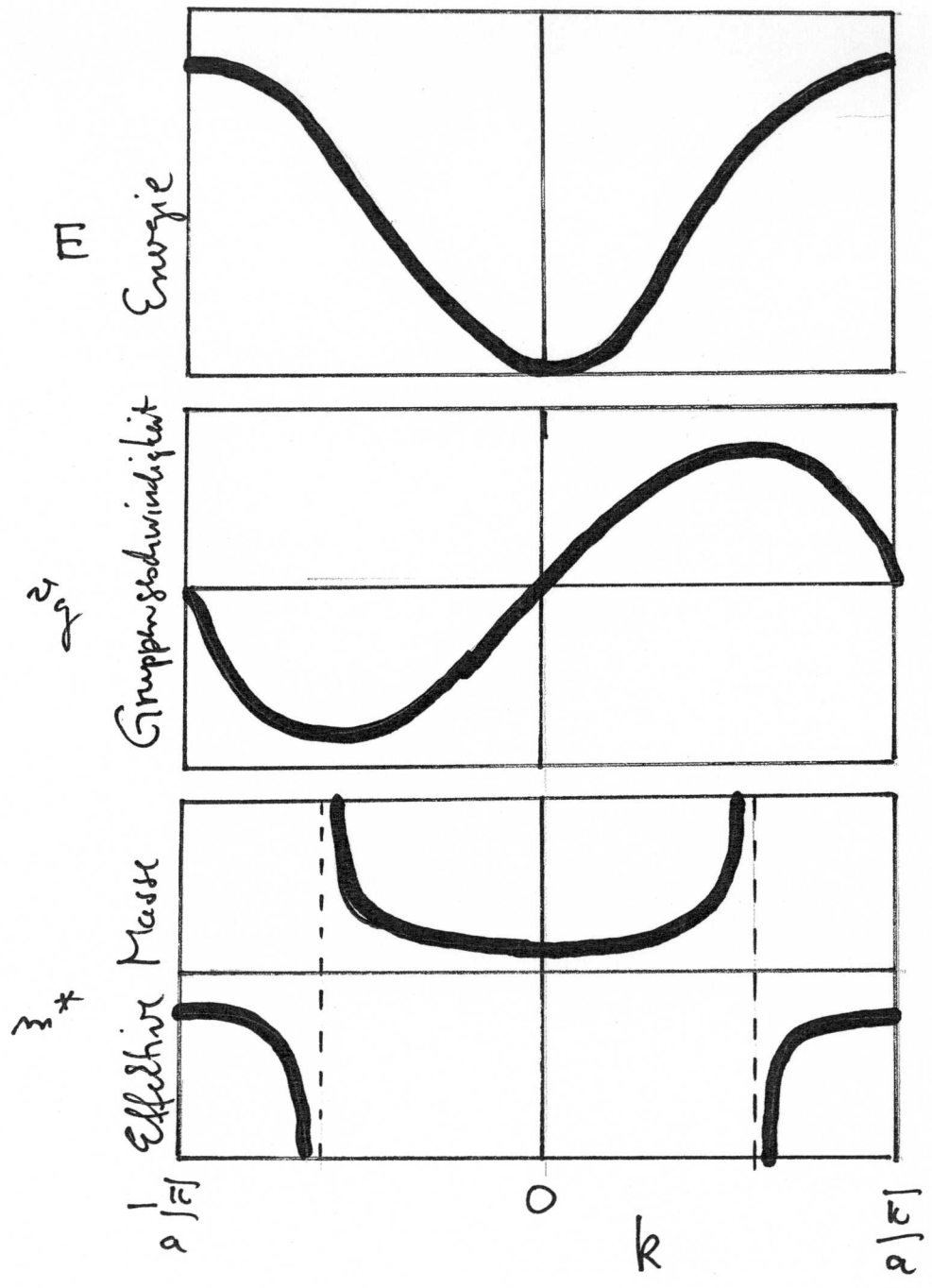
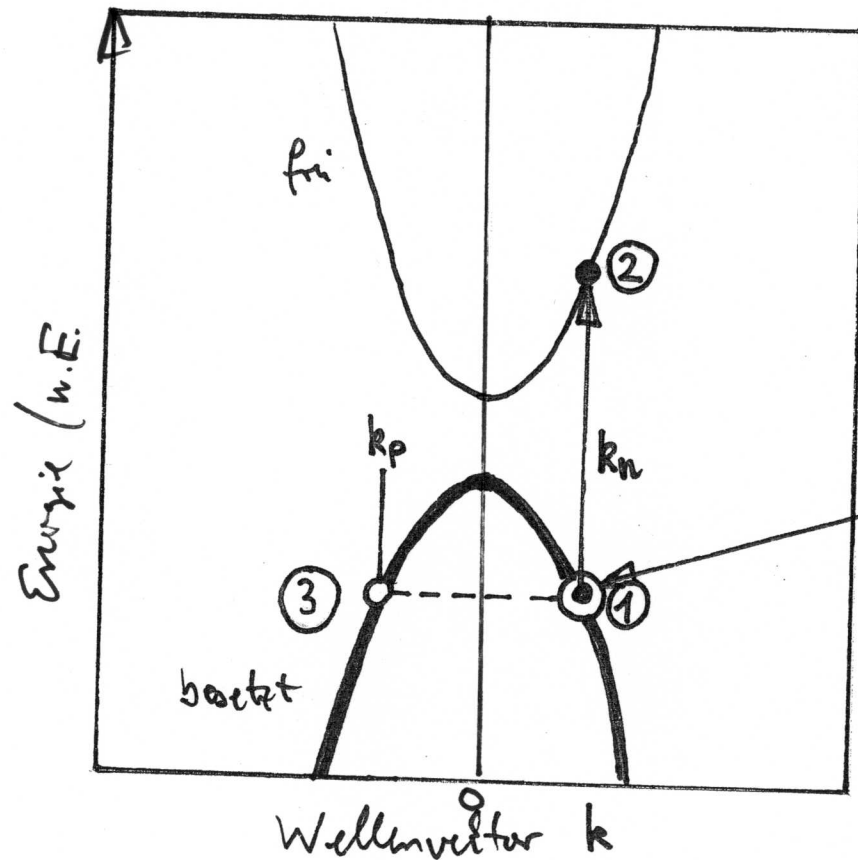


Bild 4.14



## Löcher und Elektronen

① → ② hebe Elektron vom vollen Valenzband ins leere Leitungsband

verbleibendes Loch hat den Wellenvektor  $k_p = -k_n$ , also den des Elektrons auf ③

Dirrekter Halbleiter

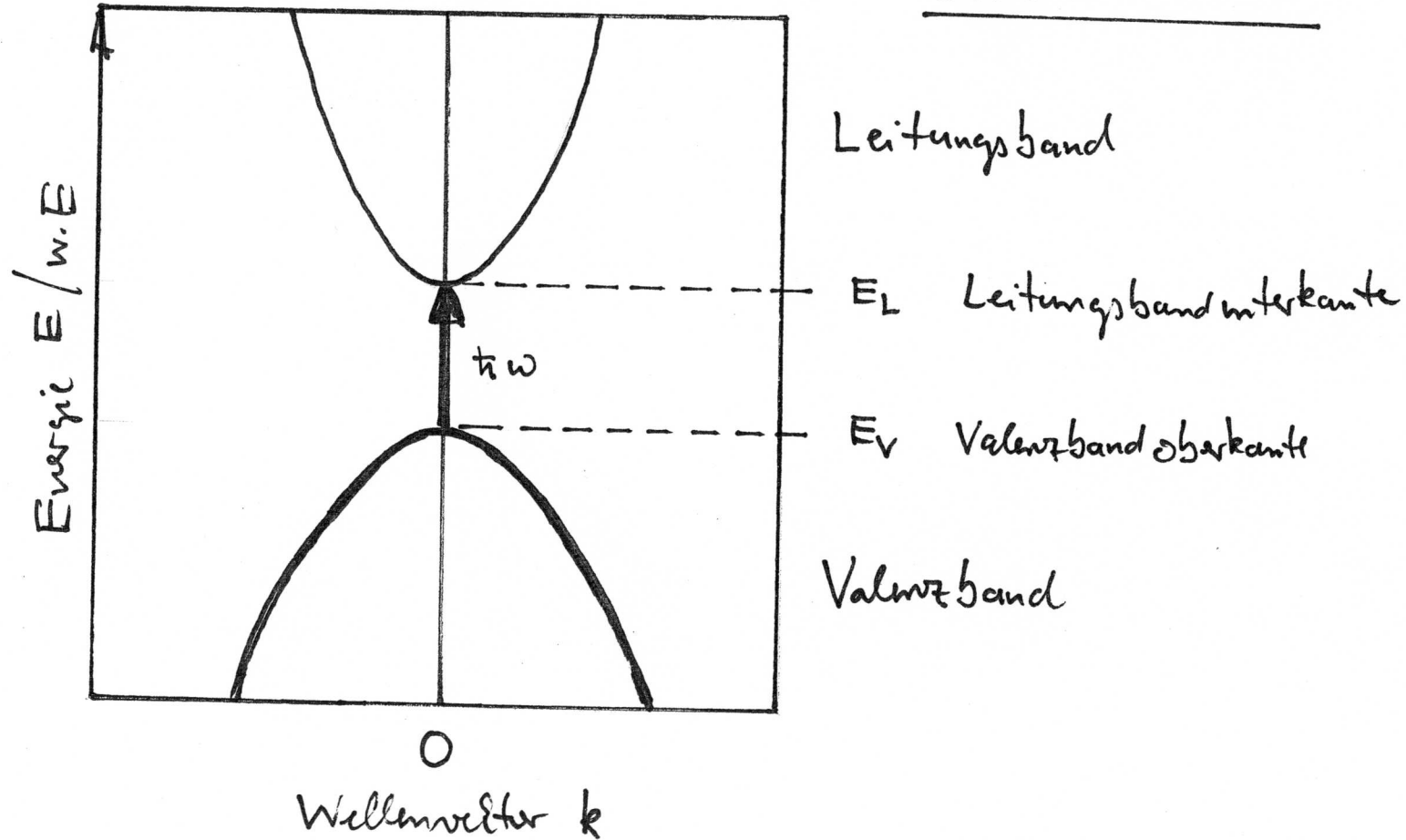
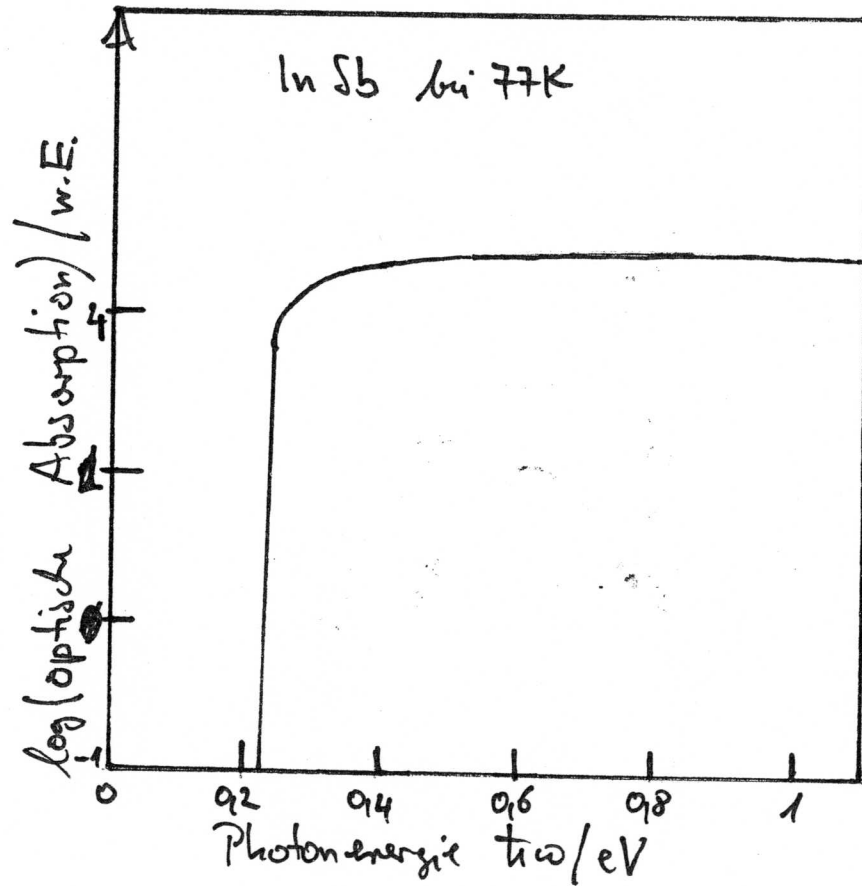
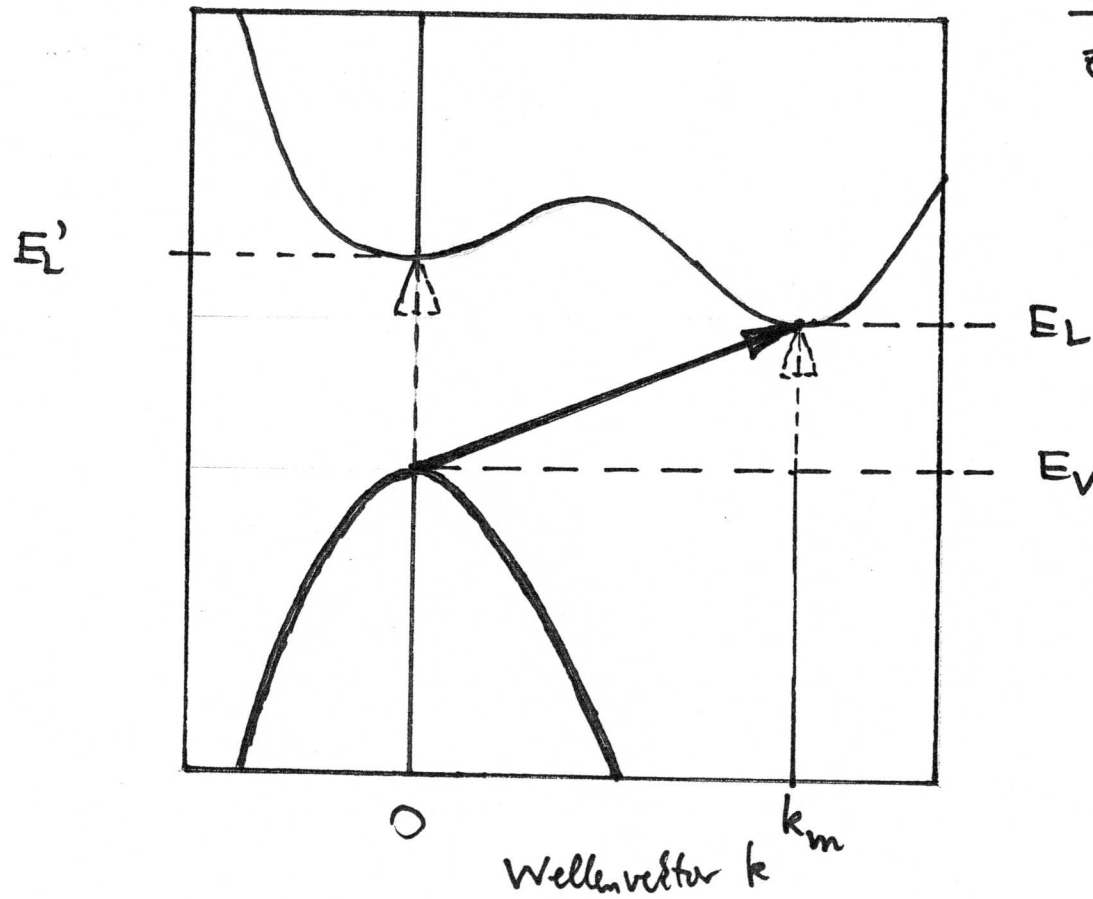


Bild 5.1

Optische Absorption  
direkter Halbleiter



G.W. Gobelti et al. Phys. Rev. 119 (1960) 613



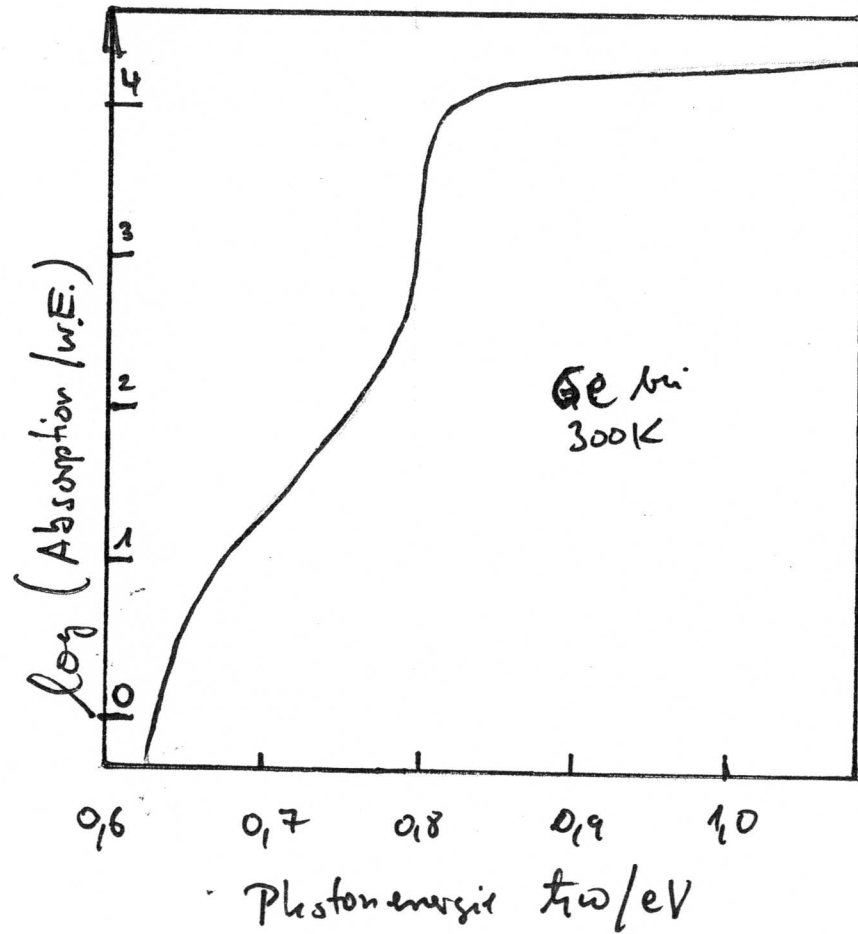
Indirekte Halbleiter

z. B. Silizium, Germanium

$$\hbar \omega_g \pm \hbar \omega_q = E_g$$

$$\hbar \vec{k}_g \pm \hbar \vec{q} = \hbar \vec{k}_m$$

Bild 5.3



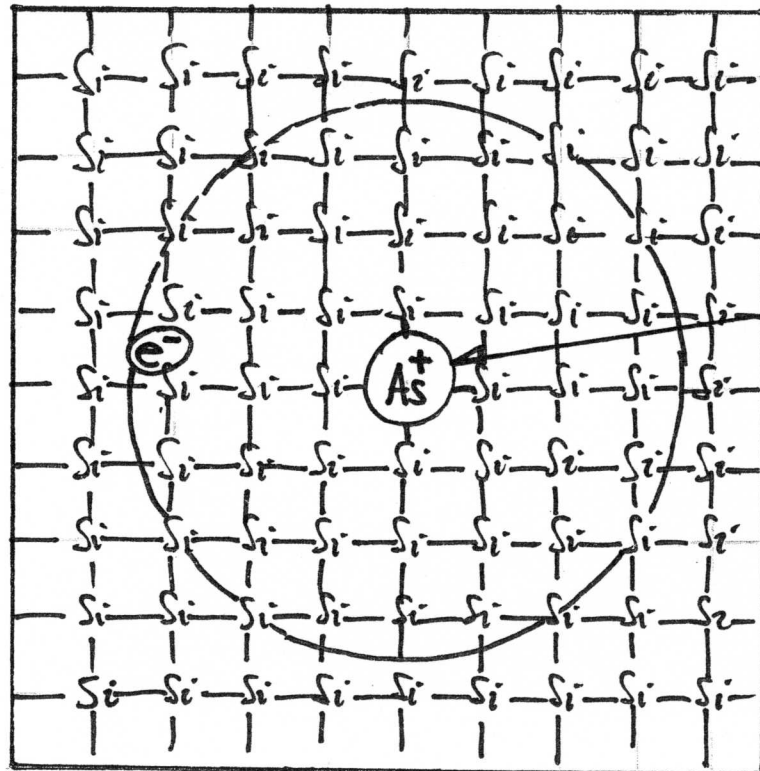
Optische Absorption  
Indirekter Halbleiter

$$h\omega_g \pm h\omega_q = E_g$$

$$h\vec{k}_g \pm h\vec{q} = h\vec{k}_{em}$$

W.C. Dash, R. Newman, Phys. Rev. 99 (1955) 1151

Bild 5.4



## Dotiertes Silizium

p-Dotierung mit Arsen

Wasserstoffmodell Donatorzustand

4-fache Koordination  
durch Umgebung  
(Si-Gitter) erzwungen!



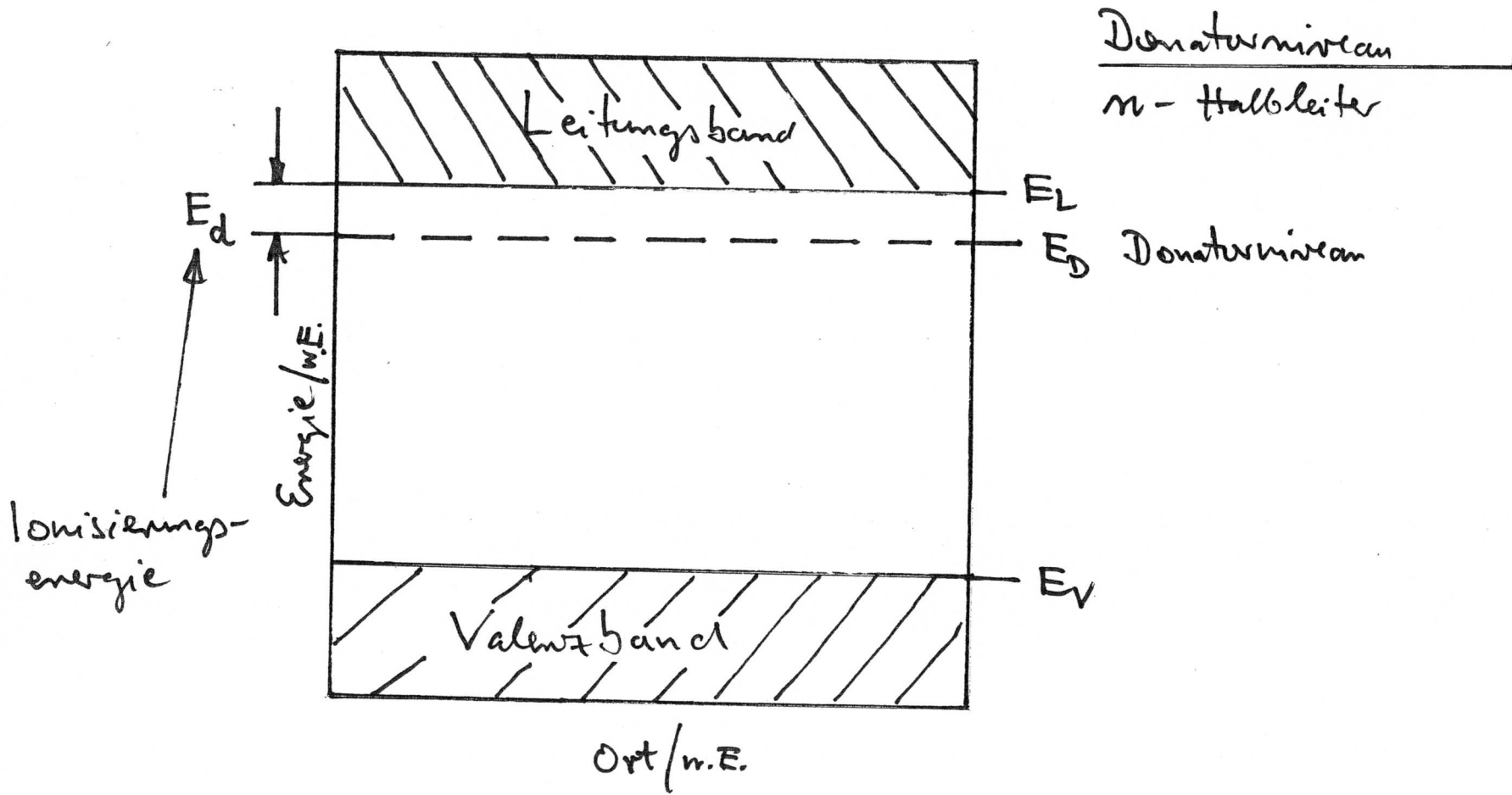


Bild 5.6

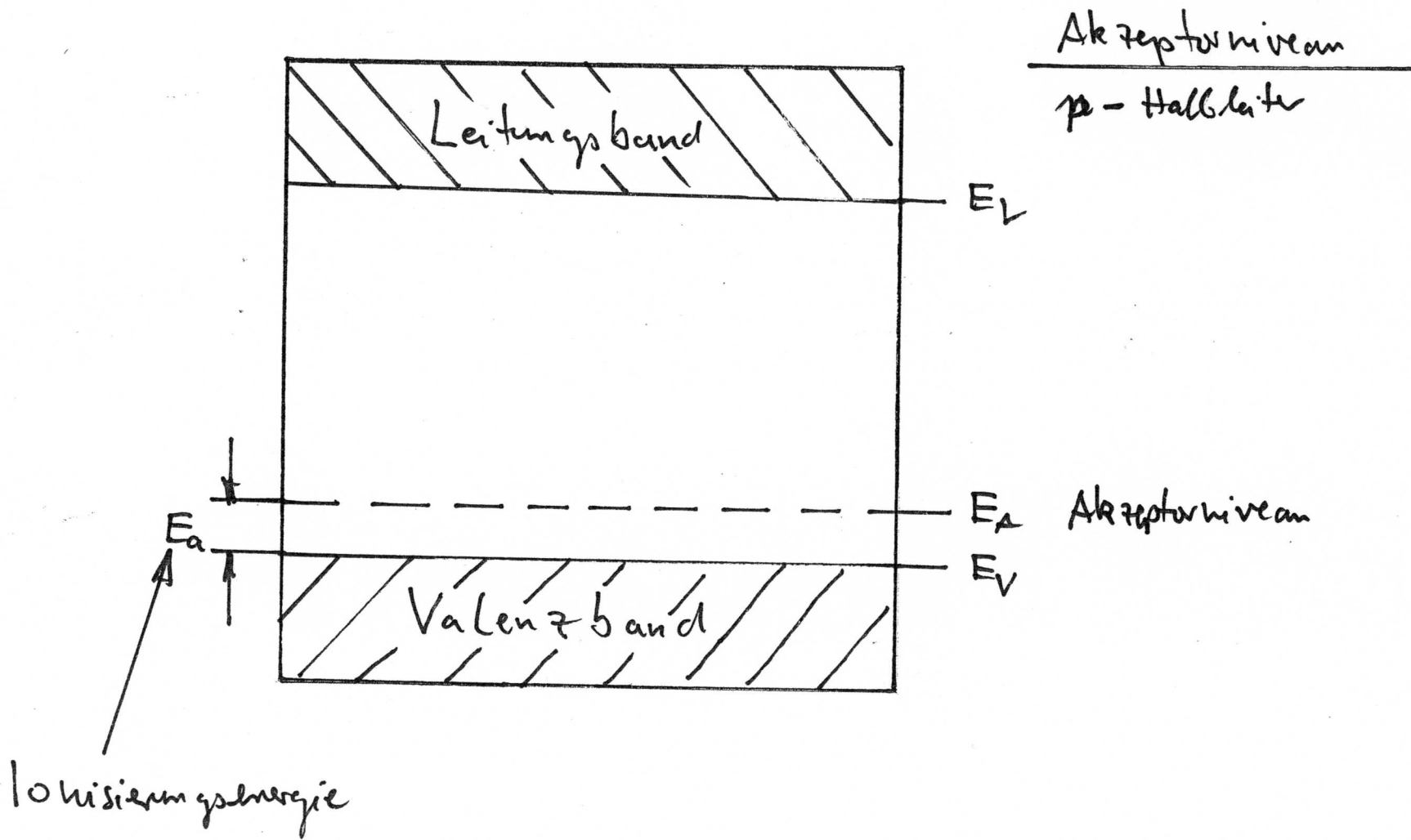


Bild 5.7