

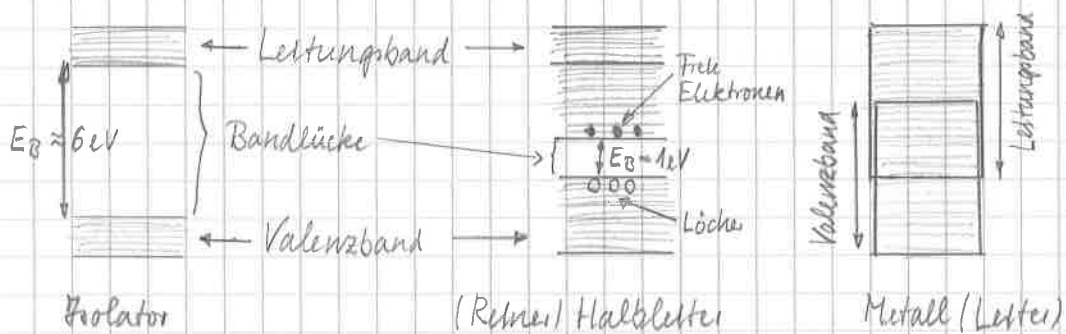
Thema der nächsten beiden Vorlesungen: Innendetektorkonzepte für Experimente am HL-LHC und am FCC.

Heute: Grundlagen von Halbleiterdetektoren für die Messung von spurengeladenen Teilchen.

Nächste Woche: Anforderungen an die Halbleiterdetektoren und Lösungsansätze.

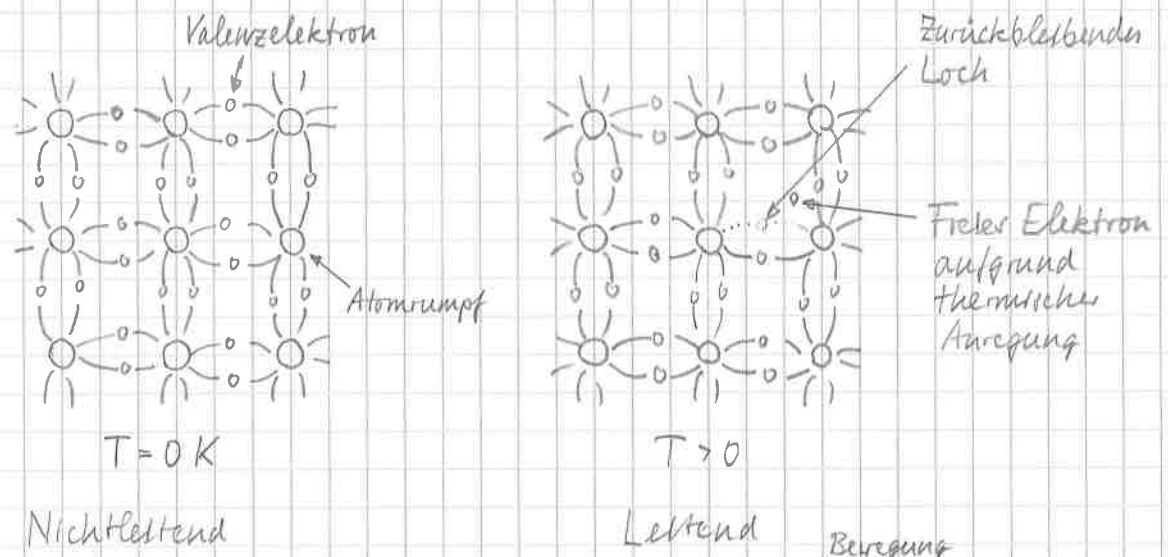
Innendetektorentwürfe.

### Struktur der Energiebänder in Festkörpern



### Ladungsträger im Halbleiter

Beispiel: Kovalente Bindungen von Silizium.



Zwei Quellen elektrischen Stromes in einem Halbleiter: freie Elektronen im Leitungsband und Bewegung der Löcher im Valenzband.

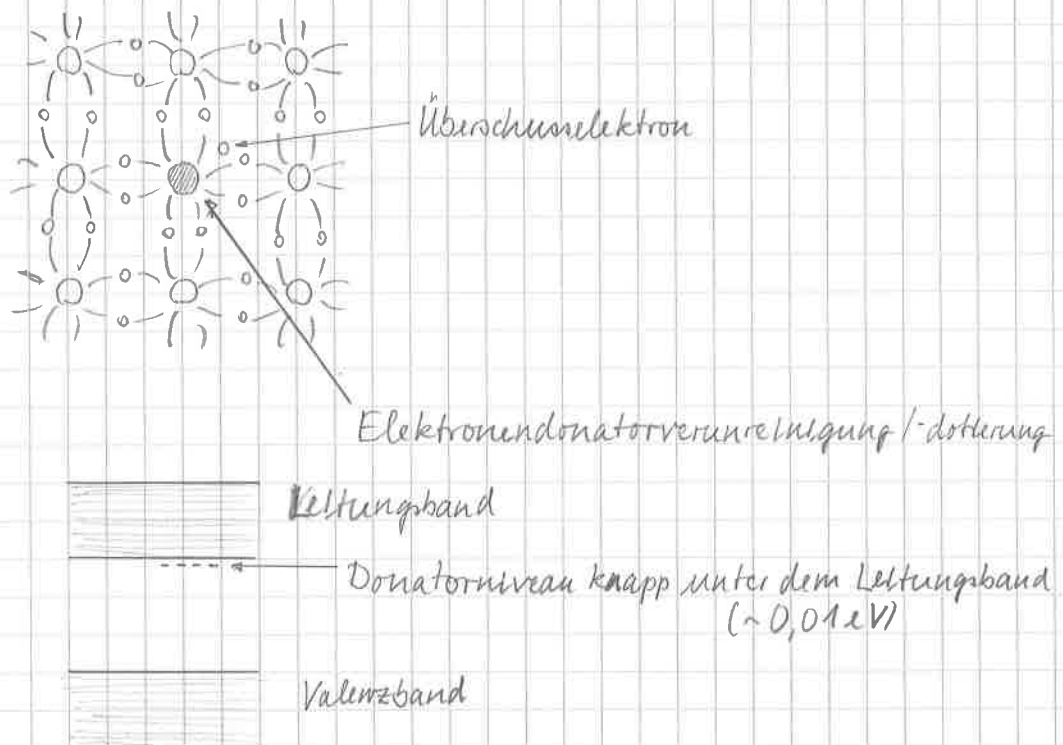
(Im Metall Strom nur von Bewegung der Elektronen im Leitungsband)

## Dotierte Halbleiter

Im reinen Halbleiter ist die Anzahl der freien Elektronen gleich der Anzahl der Löcher.

In dotierten Halbleitern kann es mehr Elektronen als Löcher und umgekehrt geben.

Dotierung von Silizium mit pentavalenten Atomen (Arsen, Phosphor, Antimon)

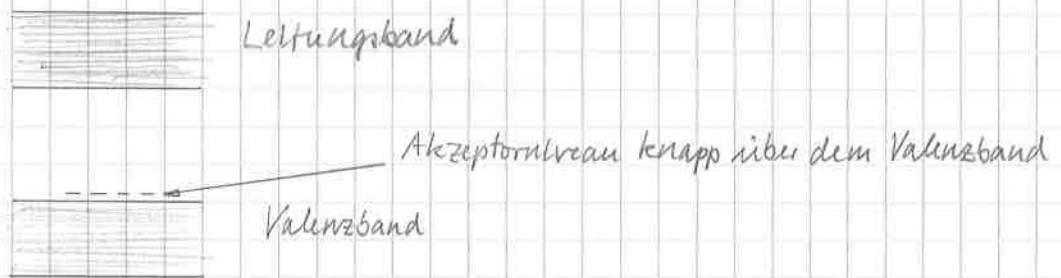
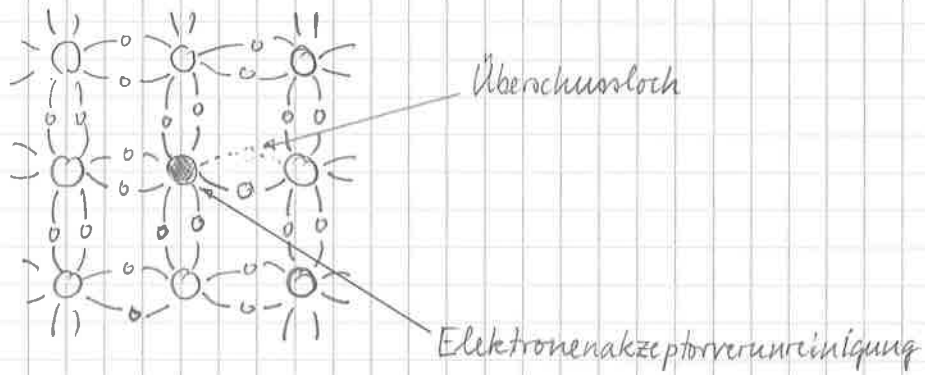


—> Erhöhte Leitfähigkeit durch Überschuss-elektronen, die sehr leicht vom Donatorniveau ins Leitungsband angeregt werden können.

Nomenklatur: n-Typ-Halbleiter.

Hauptladungsträger im n-Typ-Halbleiter: Elektronen

# Dotierung von Silizium mit trivalenten Atomen (Gallium, Bor, Indium)

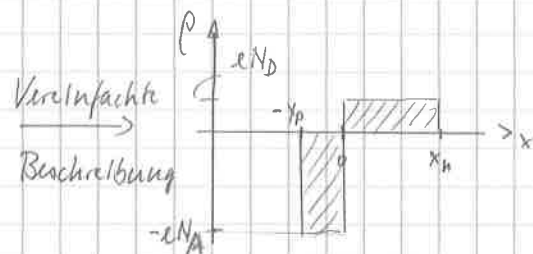
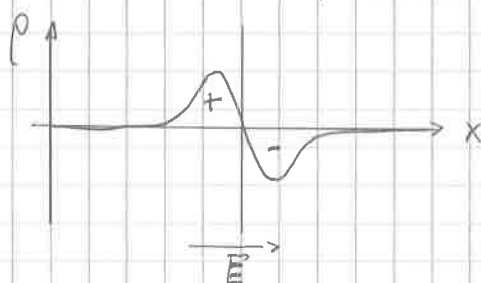
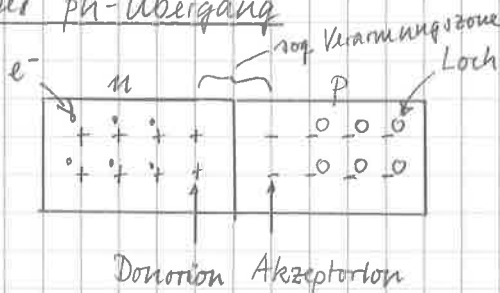


→ Erhöhte Leitfähigkeit durch Überschusslöcher, die entstehen, wenn Elektronen aus dem Valenzband ins Akzeptorniveau angehoben werden

Nomenklatur: p-Typ-Halbleiter.

Hauptladungsträger im p-Typ-Halbleiter: Löcher.

## Der pn-Übergang



$N_{A/D}$ : Akzeptoren-/Donatorkonzentration

$$\rho(x) = \begin{cases} -e N_A & \text{für } x \in [-x_p, 0[, \\ +e N_D & \text{für } x \in [0, x_n], \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \text{ liefert } \frac{dE}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon}.$$

$$E(x) = 0 \text{ für } x < -x_p \text{ und } x > x_n.$$

$$E(x) = -\frac{e}{\epsilon} N_A (x + x_p) \text{ für } x \in [-x_p, 0[.$$

$$E(x) = +\frac{e}{\epsilon} N_D (x - x_n) \text{ für } x \in [0, x_n].$$

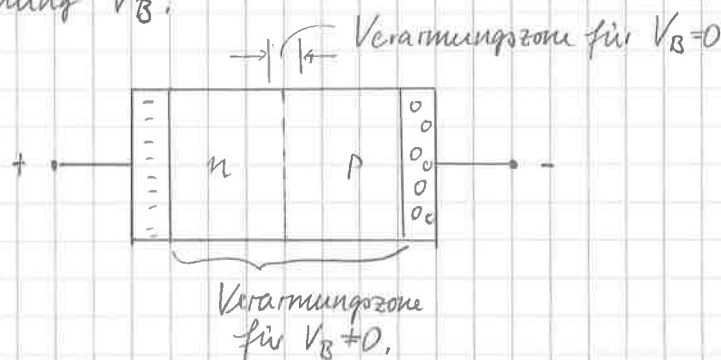
$$\text{Stetigkeit bei } x=0 \text{ liefert } N_A x_p = N_D x_n \Leftrightarrow \frac{x_p}{x_n} = \frac{N_D}{N_A} \quad (*)$$

D.h. die Verarmungszone erstreckt sich weiter in den Bereich geringerer Dotierkonzentration.

$$\begin{aligned} \text{Potentialdifferenz } V_0 &= -\int_{-x_p}^{x_n} E(x) dx = +\frac{e N_A}{2\epsilon} (x + x_p)^2 \Big|_{-x_p}^0 + \frac{e N_D}{2\epsilon} (x - x_n)^2 \Big|_0^{x_n} \\ &= \frac{e}{2\epsilon} (N_D x_n^2 + N_A x_p^2). \end{aligned}$$

$$\stackrel{(*)}{\Rightarrow} x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon V_0}{e N_D (1 + \frac{N_D}{N_A})}} \quad , \quad x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon V_0}{e N_A (1 + \frac{N_A}{N_D})}}.$$

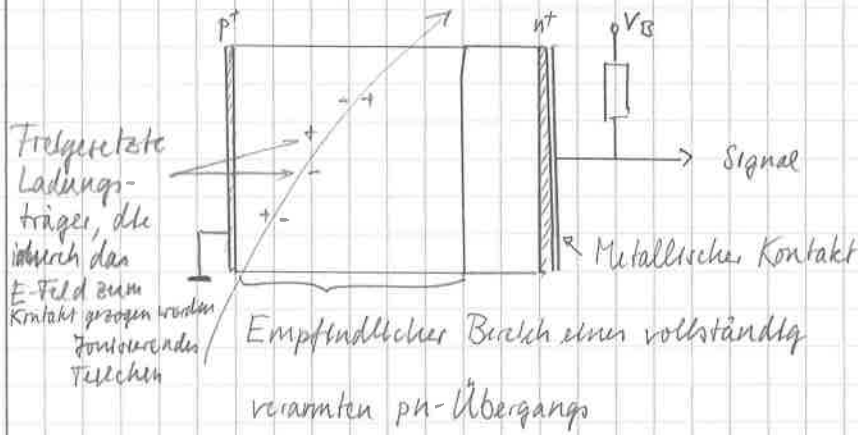
Vergrößerung der Verarmungszone durch Anlegen einer sogenannten Blasenspannung  $V_B$ :



$$x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon (V_0 + V_B)}{e N_D (1 + \frac{N_D}{N_A})}} \quad , \quad x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon (V_0 + V_B)}{e N_A (1 + \frac{N_A}{N_D})}}$$

$V_B$  für vollständige Verarmung des pn-Übergangs  $\sim 300V$ .

## Grundkonzept eines Halbleiterdetektors



Um Bildung einer Diode am ohmschen Kontakt zu verhindern, deren Verarmungszone sich in den Halbleiter erstreckt, hochdotierte Lagen an den Kontaktflächen.

## Beispiel eines flüchtigkeitstreibend detektor zur Protonenmessung

