

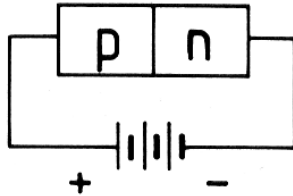
Übersicht über die Vorlesung

- 1. Grundlagen der Quantenmechanik**
- 2. Elektronische Zustände**
- 3. Vom Wasserstoffatom zum Periodensystem der Elemente**
- 4. Elektronen in Kristallen**
- 5. Halbleiter**
- 6. Quantenstatistik für Ladungsträger**
- 7. Dotierte Halbleiter**
- 8. Halbleiter im Nichtgleichgewicht**
- 9. Der pn-Übergang**

9.1. Der pn-Übergang unter Vorspannung

Festkörperelektronik
SS 2020
12. Foliensatz
23.06.2020

Durchlaßrichtung

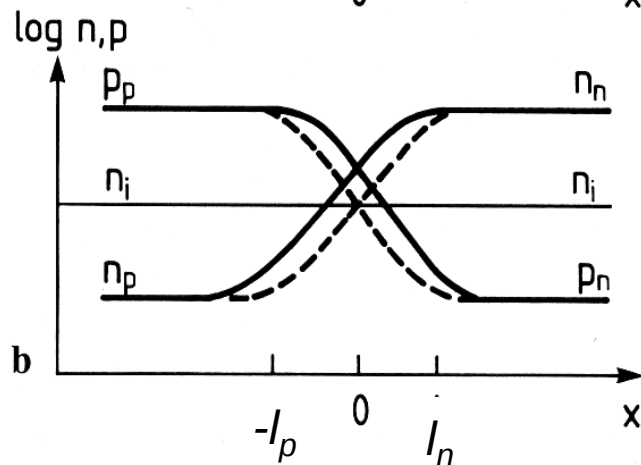
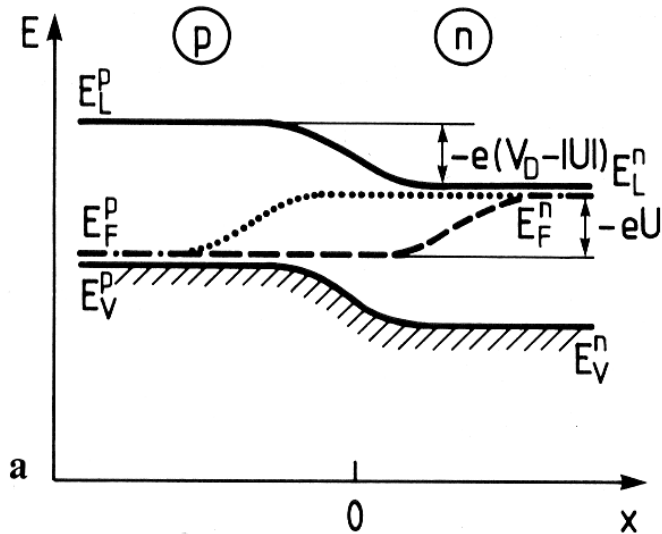


Der pn-Übergang bei Vorspannung

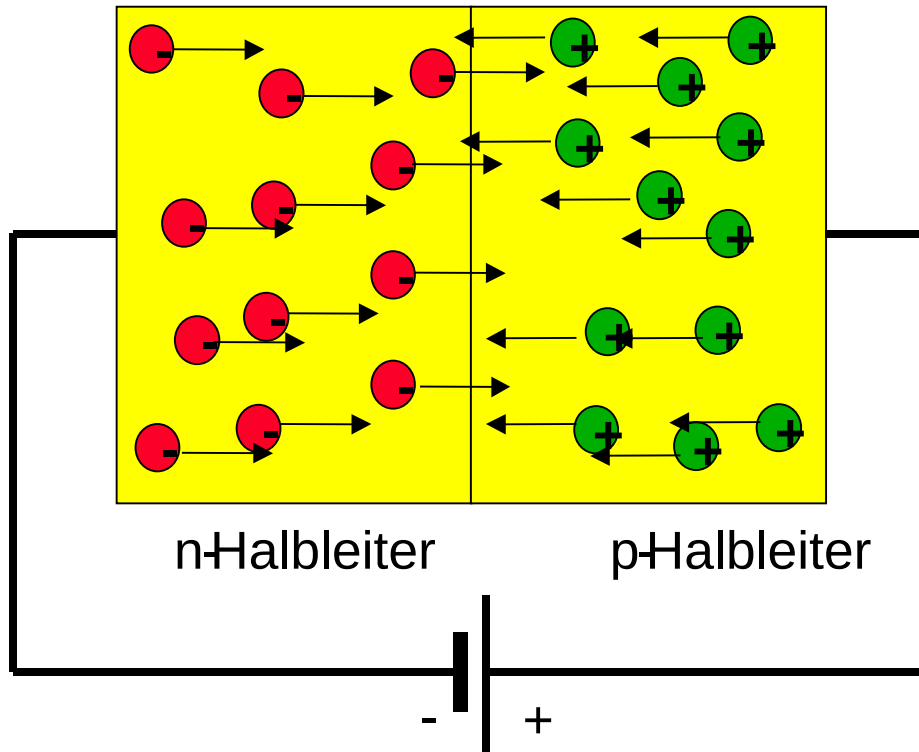
Qualitatives Verhalten:

-Vorwärtsspannung „schiebt“ Ladungsträger in RLZ hinein

-Spannung U führt zur Aufspaltung des Fermi-niveaus in zwei Quasi-Fermi-Niveaus

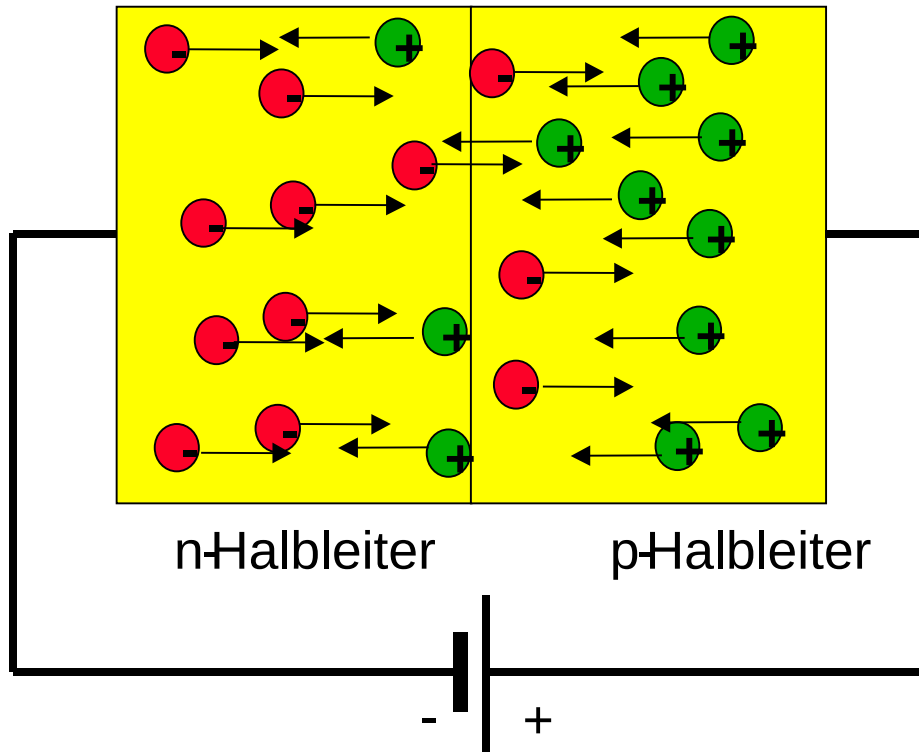


pn-Übergang



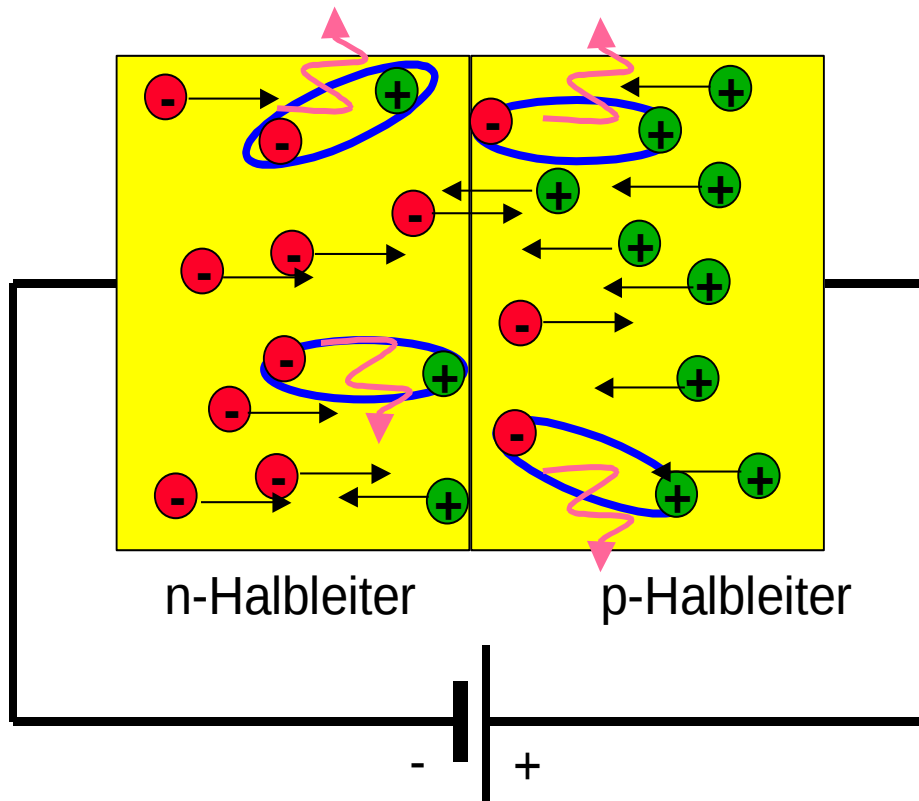
Polung in Vorwärtsrichtung: Elektronen und Löcher bewegen sich aufeinander zu

pn-Übergang



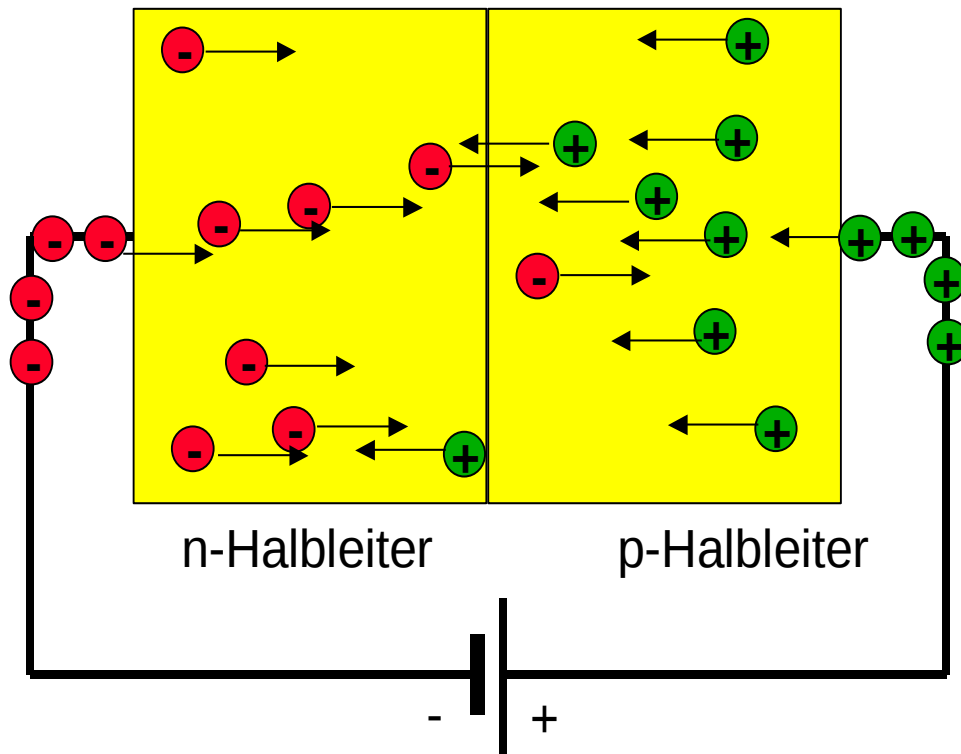
Polung in Vorwärtsrichtung: Elektronen diffundieren in den p-Halbleiter und Löcher in den n-Halbleiter

pn-Übergang



Polung in Vorwärtsrichtung: Elektronen rekombinieren mit Löchern und können z.B. Licht aussenden

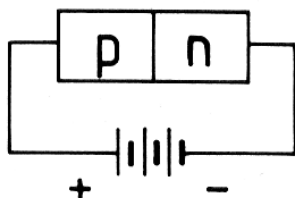
pn-Übergang



Polung in Vorwärtsrichtung: Fehlende Elektronen im n-Halbleiter und fehlende Löcher im p-Halbleiter fließen nach.

Durchlaßrichtung

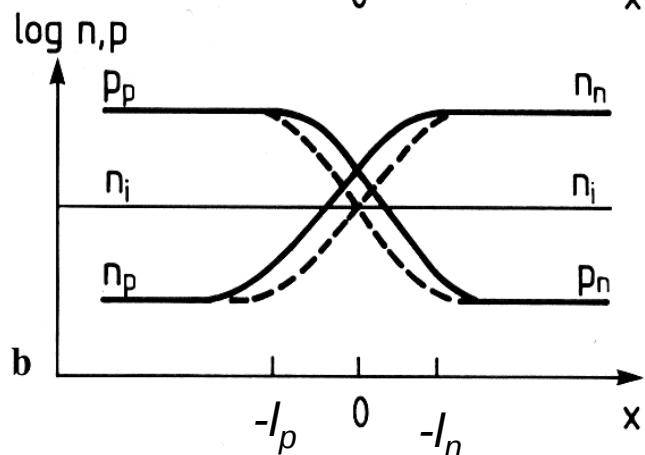
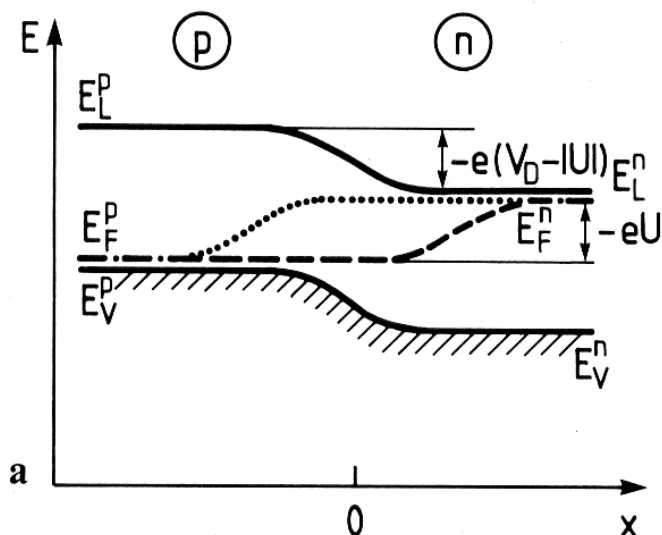
Der pn-Übergang bei Vorspannung



Shockley-Modell:

-Rekombination in der RLZ ist vernachlässigbar

-Stromfluß durch Änderung der Minoritätsladungsträgerdichten an den Rändern der RLZ



Feldströme brauchen nicht betrachtet werden, denn gerade außerhalb der RLZ ist das Feld und damit der Feldstrom = Null.

Der PN-Übergang im thermodynamischen Gleichgewicht

Auswahl der Grafiken:

Oben:

Bändermodell

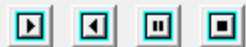
Unten:

Ladungsträgerkonzent

Spannung:

+ 0 -

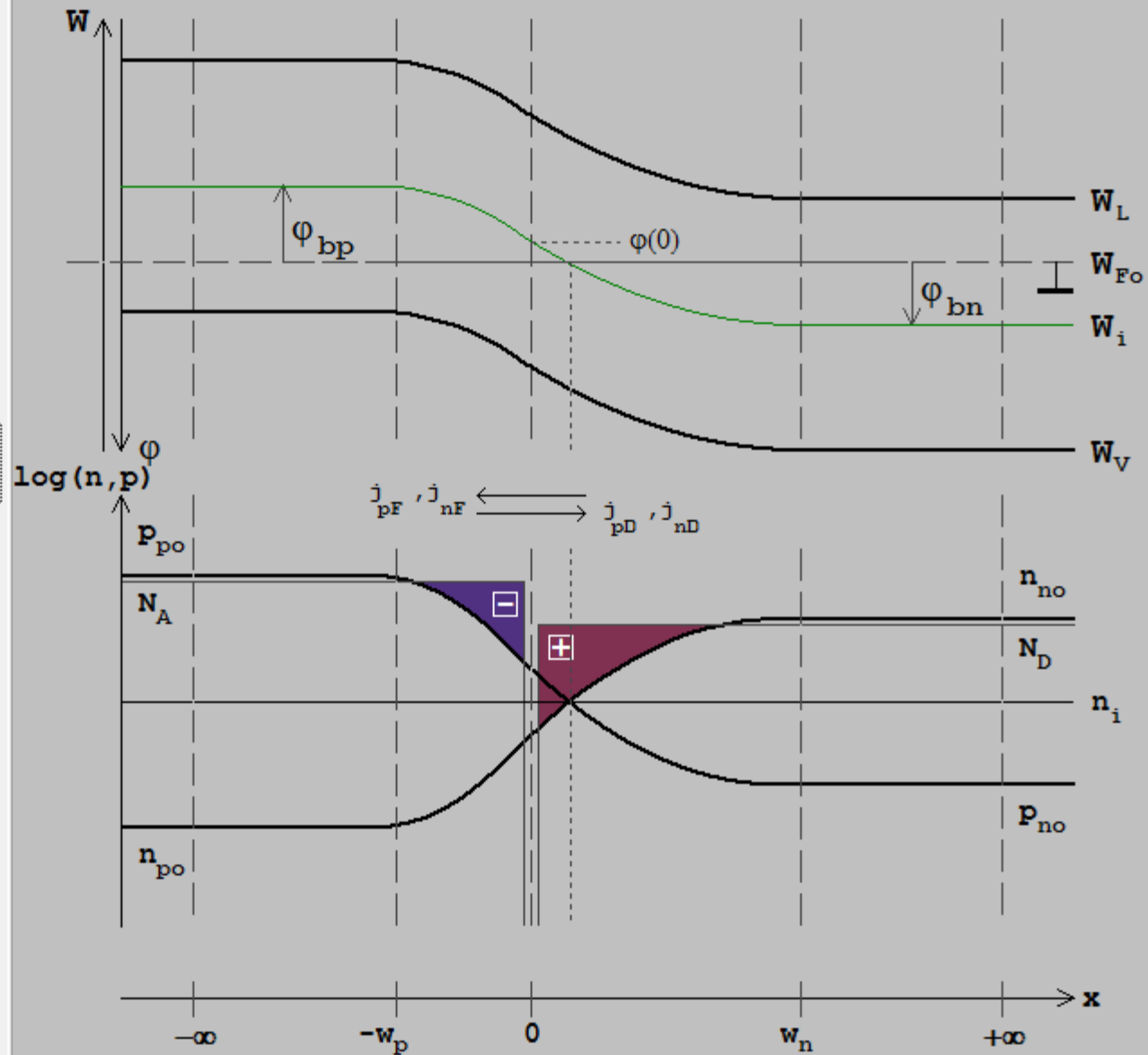
Gleichgewicht



Hintergrundfarbe

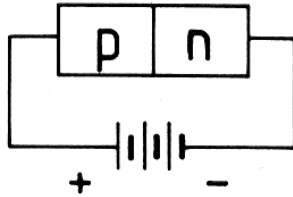
Farbe der Hilfslinien

X Ende



Durchlaßrichtung

Der pn-Übergang bei Vorspannung



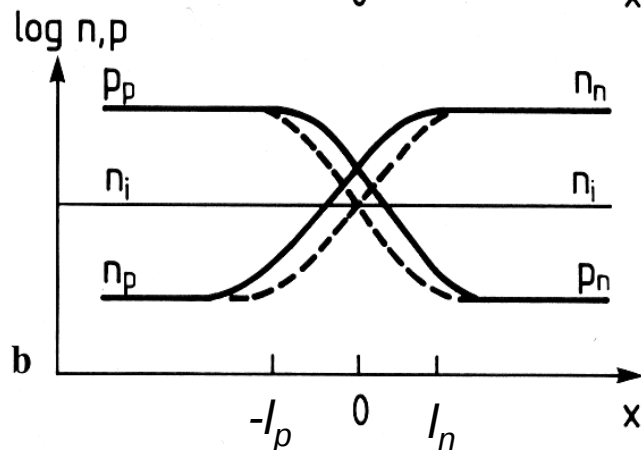
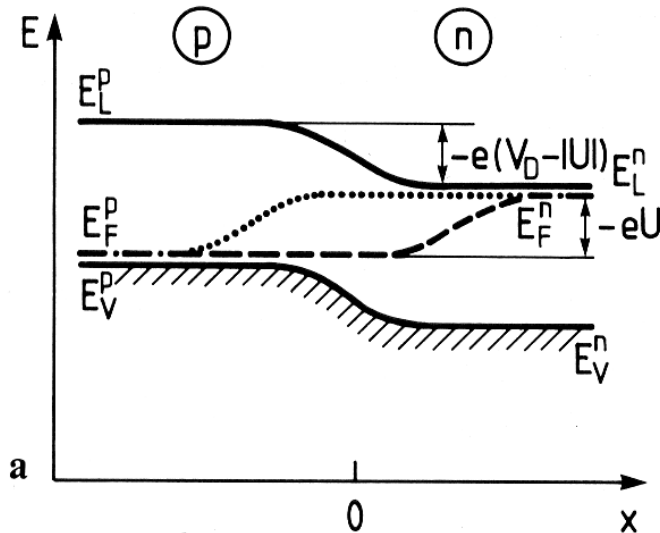
z.B. Löcherdiffusionsstrom am rechten Rand der RLZ:

$$J_{p,D}(x = l_n) = -eD_p \left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{x=l_n}$$

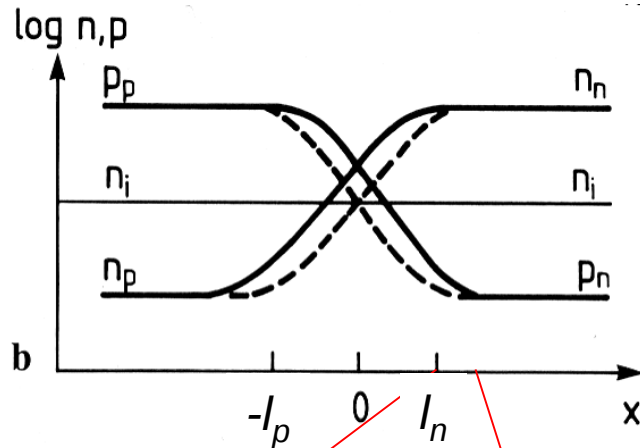
D.h. aus der Kenntnis von $p(x=l_n)$ kann der Diffusionsstrom abgeleitet werden

Für die Ortsabhängigkeit der Lochdichte gilt

$$p(l_n) = N_V \exp\left(-\frac{W_F + e(U_D - U) - W_V(-\infty)}{kT}\right) \\ = p_n \exp\left(\frac{eU}{kT}\right)$$



Der pn-Übergang bei Vorspannung

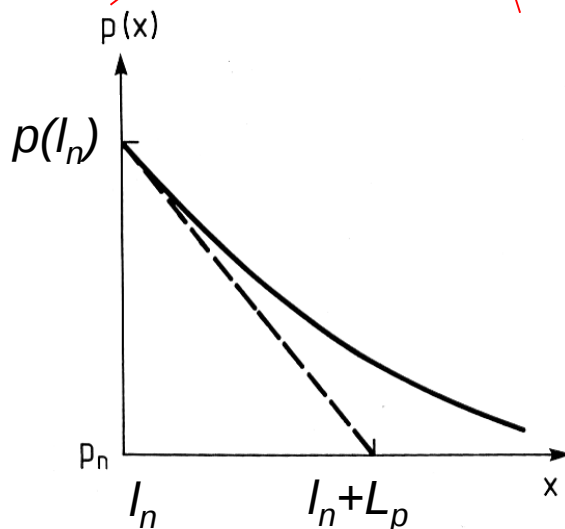


→ durch die geringere Potentialbarriere wird eine Überschussladungsträgerdichte von Minoritätsträgern erzeugt

Diese beträgt:

$$\Delta p(l_n) = p(l_n) - p_n = p_n \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$

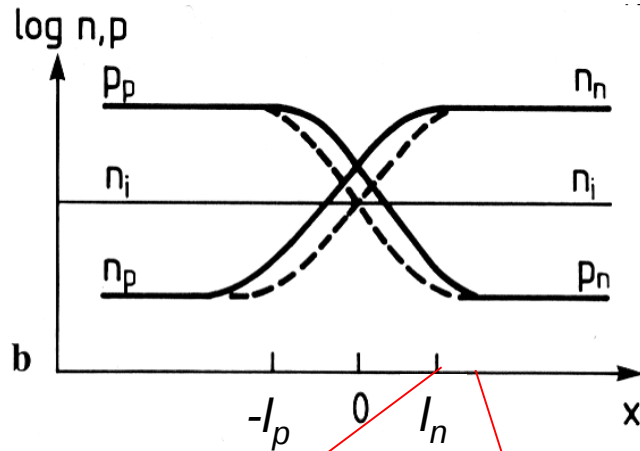
Dies führt zur Ausbildung eines Überschuss-Dichteprofiles gemäß : (Übung)



$$\Delta p(x) = \Delta p(l_n) \exp\left(-\frac{x - l_n}{L_p}\right)$$

$$= \Delta p(l_n) \exp\left(-\frac{x - l_n}{\sqrt{D_p \tau_p}}\right)$$

Der pn-Übergang bei Vorspannung



- dies wiederum erhält einen Diffusionsstrom aufrecht gemäß

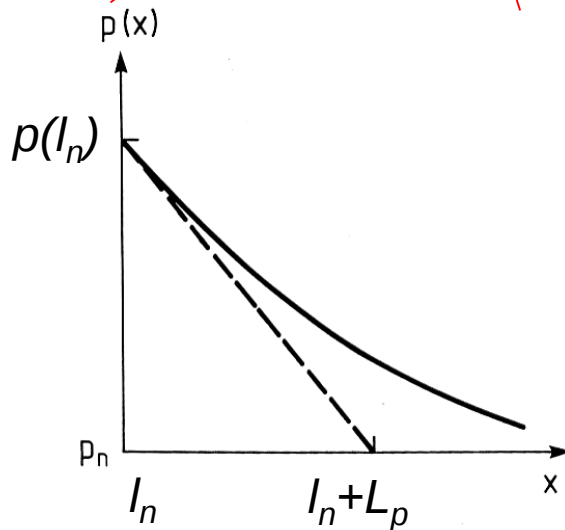
$$J_{p,D}(l_n) = -eD_p \frac{\partial}{\partial x} \left[\Delta p(l_n) \exp\left(-\frac{x-l_n}{L_p}\right) \right]$$

$$= e \frac{D_p}{L_p} p_n \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$

Eine analoge Betrachtung für die Elektronen ergibt:

$$J_{n,D}(-l_p) = -eD_n \frac{\partial}{\partial x} \left[n(l_p) \exp\left(-\frac{(l_p-x)}{L_n}\right) \right]$$

$$= e \frac{D_n}{L_n} n_p \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$



Diodenkennlinie

Insgesamt ergibt sich damit die folgende Kennlinie:

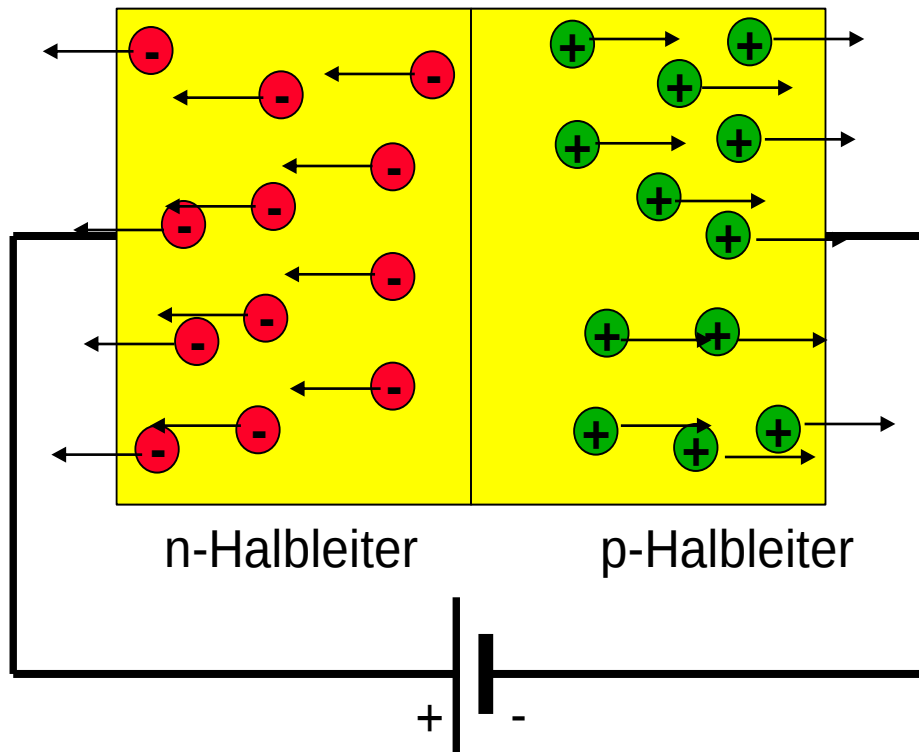
$$J(U) = e \left(\frac{D_n}{L_n} n_p + \frac{D_p}{L_p} p_n \right) \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$

- exponentieller Anstieg in Vorwärtsrichtung

... und in Sperrrichtung ?

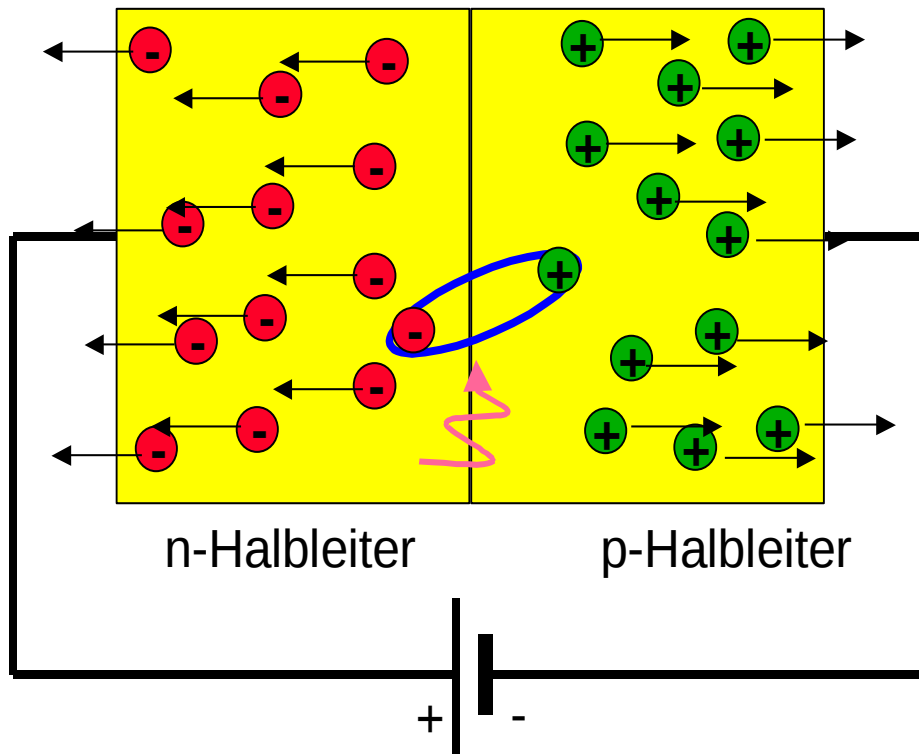
... die Formel bleibt richtig, nur U wird negativ.

pn-Übergang in Sperrrichtung



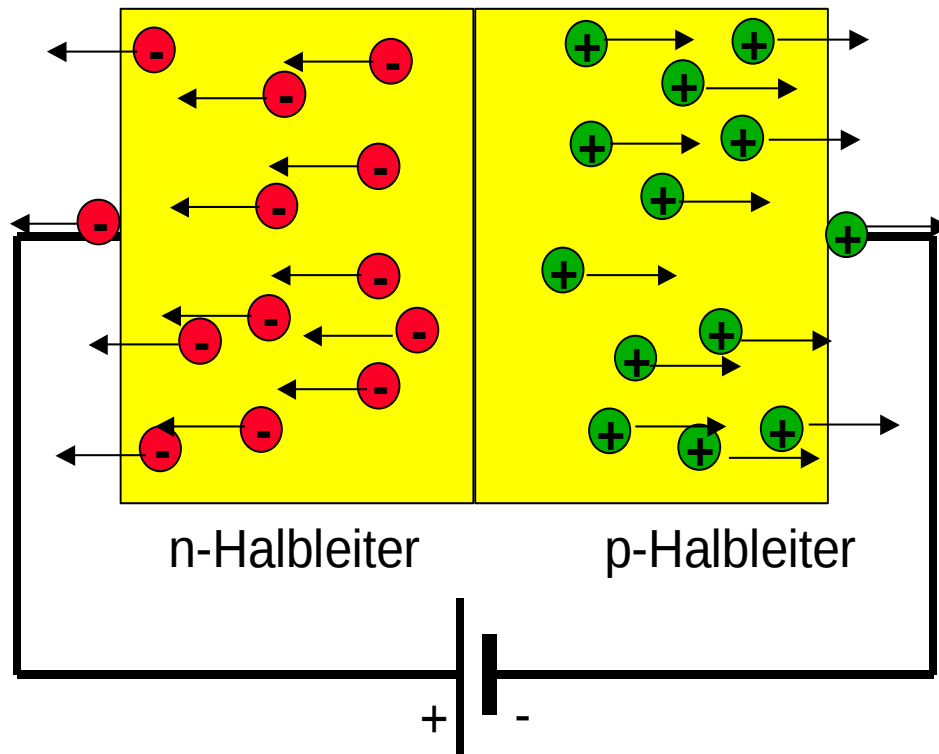
Polung in Sperrrichtung: Elektronen und Löcher bewegen sich voneinander weg.

pn-Übergang in Sperrrichtung



Polung in Sperrrichtung: Bei endlicher Temperatur können wenige Elektronen-Loch-Paare generiert werden, so dass wenige Ladungen von der Grenzfläche her nachfließen können.

pn-Übergang in Sperrrichtung

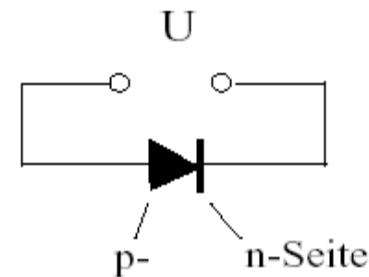
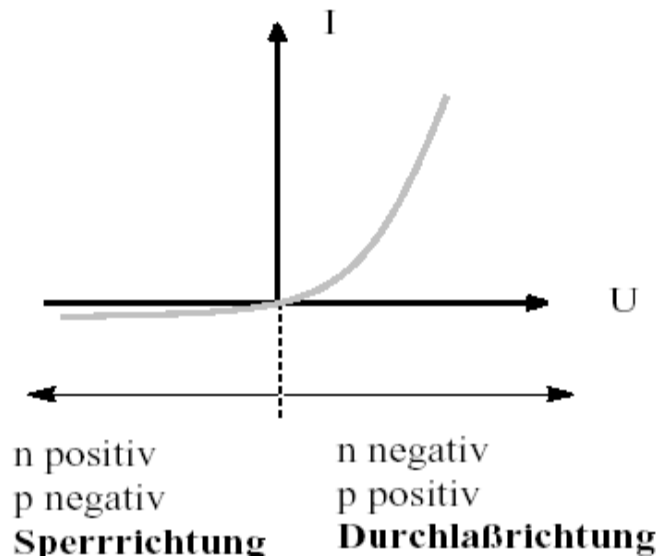


Polung in Sperrrichtung: Durch die nachfließenden Ladungen kann ein geringer Strom durch die pn-Diode fließen.

Diodenkennlinie

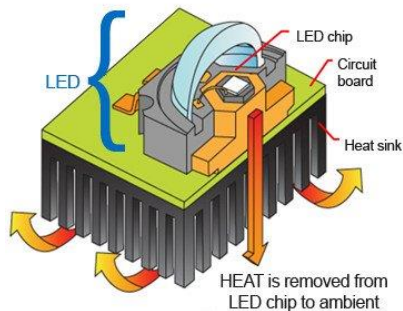
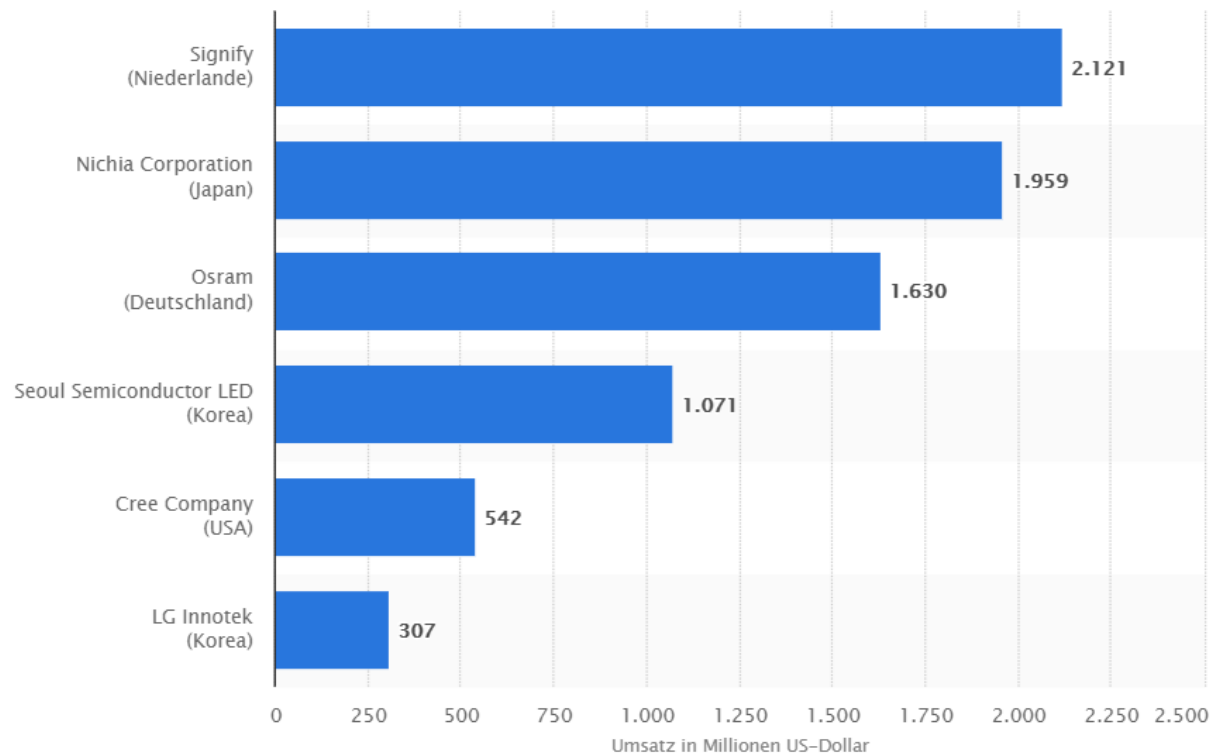
Insgesamt ergibt sich damit:
$$J(U) = e \left(\frac{D_n}{L_n} n_p + \frac{D_p}{L_p} p_n \right) \left(\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right)$$

- exponentieller Anstieg in Vorwärtsrichtung
- schnelle Sättigung in Rückwärtsrichtung

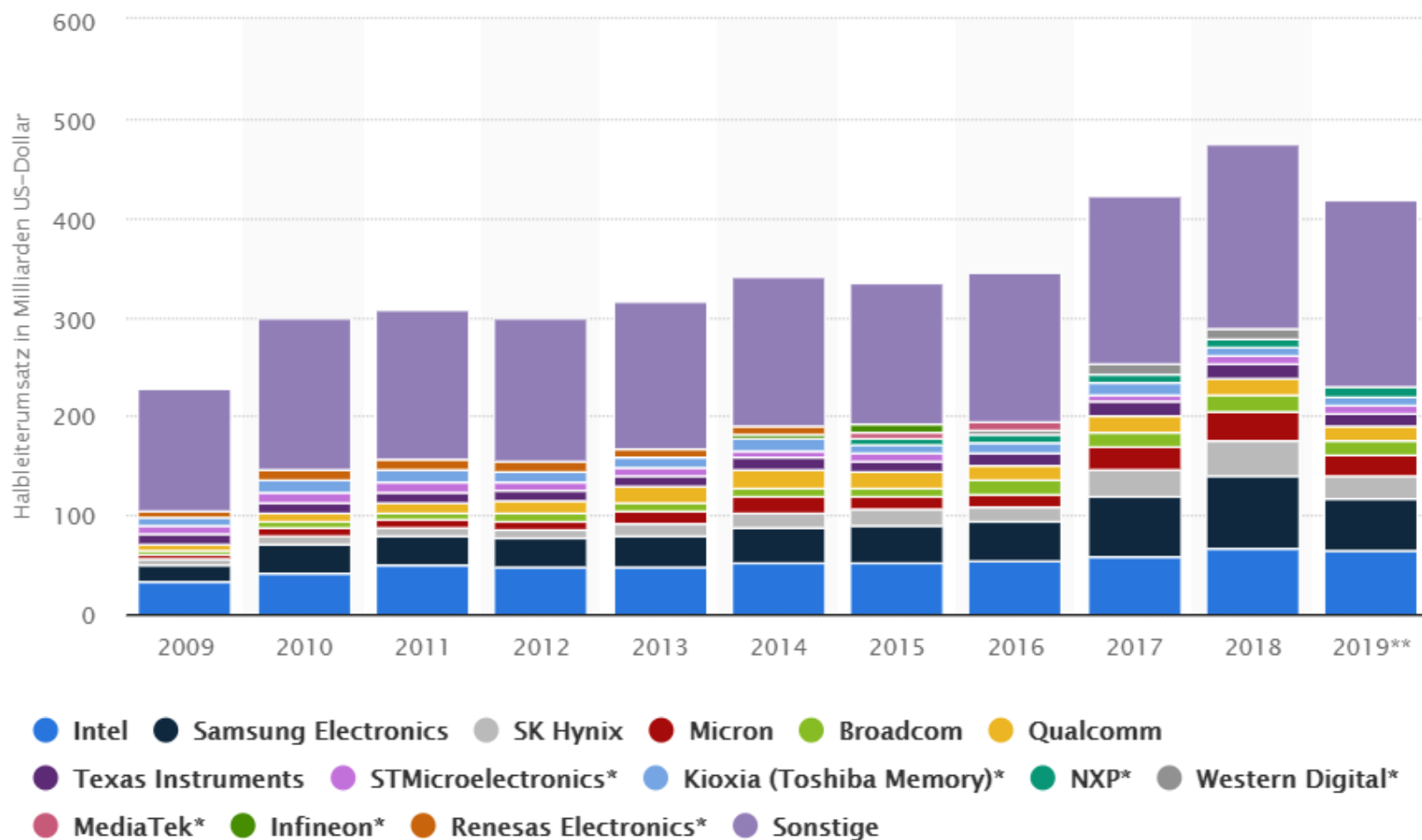


Wichtige LED-Hersteller weltweit nach Umsatz im Jahr 2019

(in Millionen US-Dollar)



Die größten Player der Halbleiterindustrie



Eine Milliarde für die Chipfabrik der Zukunft

VON STEFAN LOCKE , DRESDEN - AKTUALISIERT AM 25.06.2018 - 20:21



Infineon: Milliardeninvestition in Villach

Der Technologiekonzern Infineon erweitert den Standort Kärnten kräftig. Die Unternehmensleitung kündigte am Freitag an, dass 1,6 Milliarden Euro für ein neues Chipwerk in Villach reserviert wurden. In der ersten Phase entstehen 400 neue Arbeitsplätze.

