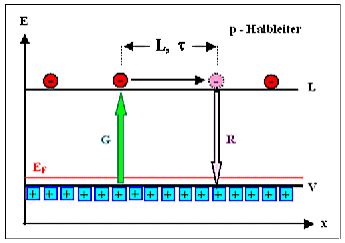
9.5.2 Was man wissen muss

Wir kennen auswendig, weil verstanden, die wichtigsten Gleichungen für reale (= dotierte) Halbeiter im Gleichgewicht.

$n_{Maj} = N_{Dot}$	$n_{Min}(T) = \frac{n_i^2(T)}{N_{Dot}}$	$R = G = \frac{n_{Min}}{\tau}$

- Wir wissen, dass bei **Si** die Energielücke $E_G = 1{,}1$ **eV** beträgt.
- Wir haben ein Gefühl für *Dotieren* : Womit (in **Si**: **P** und **As** für **n**-Typ, **B** für **p**-Typ), wieviel man so nimmt (10^{15} **cm**$^{-3}$ **. . .** 10^{19} **cm**$^{-3}$), und wie's ungefähr gemacht wird.
- Wir wissen, was *Generationsrate* ***G***, *Rekombinationsrate* ***R*** und *Lebensdauer* τ bedeuten. *Löcher* im Valenzband und *Elektronen* im Leitungsband sowie ihr Verhalten bezüglich Energie und Feld sind uns vertraut.

Was in den nachfolgenden Bildern / Gleichungen gezeigt ist, haben wir also *total* verstanden:

	$R = \frac{n_{Min}}{\tau} = G$ $L = (D \cdot \tau)^{1/2}$

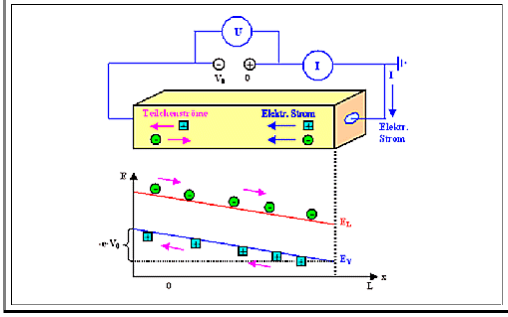
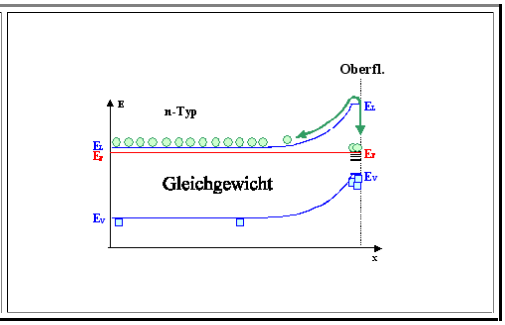
- Wir wissen, was *direkte* und *indirekte* Halbleiter unterscheidet, und dass **Si** ein indirekter Halbleiter ist.

Der Weg zu diesen Erkenntnissen war steinig.

- Wir könnten aber noch Gleichungen wie die unten gegebenen zumindest zuordnen, und wir haben vor allem verstanden, was die *Position der Fermienergie* in der Bandlücke bestimmt – und warum das so wichtig ist.

$n_e = \int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot f(E; E_F, T) \cdot dE$ $\approx N_{eff} \cdot \exp(-\frac{E_L - E_F}{k_B T})$	$n_h = \int_{-\infty}^{E_V} D(E) \cdot [1 - f(E; E_F, T)] \cdot dE$ $\approx N_{eff} \cdot \exp(-\frac{E_F - E_V}{k_B T})$
$n_e \cdot n_h = n_i^2$	$n_i = N_{eff} \cdot \exp(-\frac{E_G}{2k_B T})$

Bandkrümmungen wie dargestellt sind (semi-)quantitativ und qualitativ verstanden.

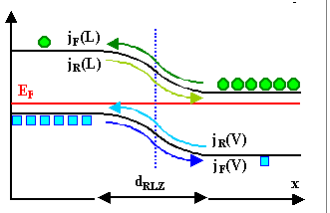
Wir wissen, dass zwischen der *Beweglichkeit* **μ** und dem *Diffusionskoeffizienten* ***D*** der Ladungsgträger eine simple Beziehung existiert und erinnern uns zumindest an $\mu \propto D$.

- Damit ist die *Leitfähigkeit* $\sigma = q n \mu$ der Halbleiter klar, und auch wie sie im Prinzip von der Dotierkonzentration N_{Dot} abhängt.

Die Bedeutung von *Kontakten* ist klar; wir können einige konstruieren, denn wir kennen das **3**-Schritte-Rezept.

- Der Zusammenhang zwischen *Ladungen*, *Bandverbiegung* , *Raumladungszone* und *elektrisches Feld* im Kontakt ist klar.
- Das Kondensatormodell für die Weite der Raumladungszone ist klar; mit einigen Hinweisen könnten wir es rekonstruieren.

Wir können das Banddiagramm eines **pn**-Übergangs konstruieren, Ladungsträger und *Ströme* einzeichnen, die Ströme benennen und auch noch die Ladungsverteilung im Ortsraum skizzieren (wir sehen auch, dass im Bild unten was vertauscht ist gegenüber dem darüber).

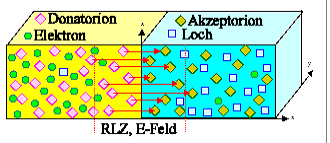


Strom der **Majoritäten** in das jeweils andere Gebiet:

- **Diffusionsstrom** oder
- **Rekombinationsstrom** oder
- **Durchlaßstrom**.

Beispiel: Elektronenstrom vom **n-Si** zum **p-Si**.

(Hinweis: In dieser Abbildung sind die Teilströme noch englisch beschriftet: Diffusionsstrom = forward current j_F, Feldstrom = reverse current j_R)



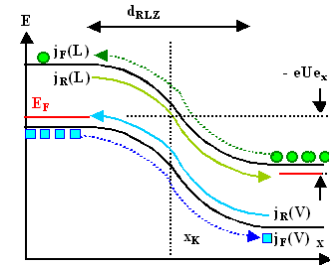
Strom der **Minoritäten** in das jeweils andere Gebiet:

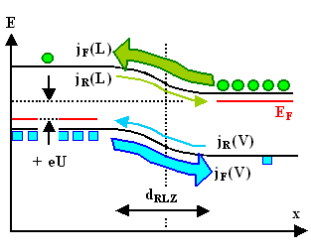
- **Feldstrom** oder
- **Driftstrom** oder
- **Generationsstrom** oder
- **Sperrstrom**.

Beispiel: Elektronenstrom vom **p-Si** zum **n-Si**.

- Wir haben im Detail verstanden, dass im Gleichgewicht gilt: $j_D = -j_F$ und $|j_F| = e \cdot L \cdot G = e \cdot L \cdot n_i^2/\tau \cdot N_{Dot}$

Wie die Banddiagramme mit *externer Spannung* ausssehen und wie daraus die Diodengleichung folgt, ist klar (Hinweis: In der folgenden Abbildung sind die Teilströme noch englisch beschriftet: Diffusionsstrom = forward current j_F, Feldstrom = reverse current j_R).





$$j(U_{ex}) = \left(\frac{e \cdot L \cdot (n_i)^2}{N_A \cdot \tau} + \frac{e \cdot L \cdot (n_i)^2}{N_D \cdot \tau} \right) \cdot \left(\exp\left(\frac{eU_{ex}}{k_B T} \right) - 1 \right)$$

Wenn bis dahin wirklich alles klar ist, versteht sich der Rest von selbst.