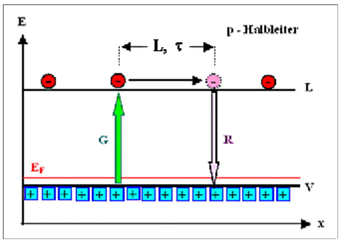
9.5.2 Was man wissen muss

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

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

- Wir wissen, dass bei **Si** die Energielücke $\boldsymbol{E_G = 1{,}1}$ **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:

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

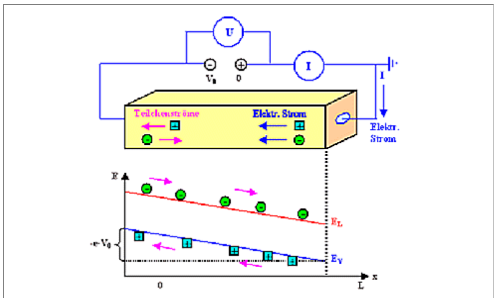
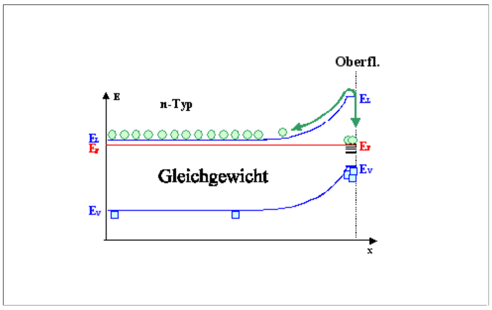
- Wir wissen, was *direkte* und *indirekte* Halbleiter unterscheidet, und dass **Si** ein indirekter Halbleiter ist.

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.

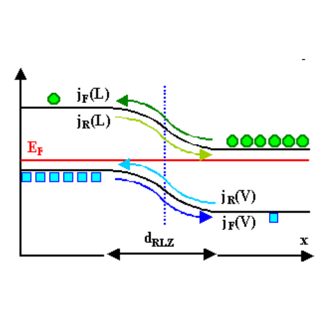
$n_e = \displaystyle\int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot f(E; E_F, T) \cdot dE$ $\approx N_{\text{eff}} \cdot \exp\left(-\dfrac{E_L - E_F}{k_B T}\right)$	$n_h = \displaystyle\int_{-\infty}^{E_V} D(E) \cdot [1 - f(E; E_F, T)] \cdot dE$ $\approx N_{\text{eff}} \cdot \exp\left(-\dfrac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$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

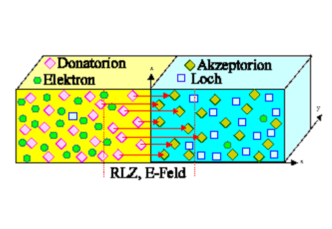
Bandkrümmungen wie dargestellt sind (semi-)quantitativ und qualitativ verstanden.

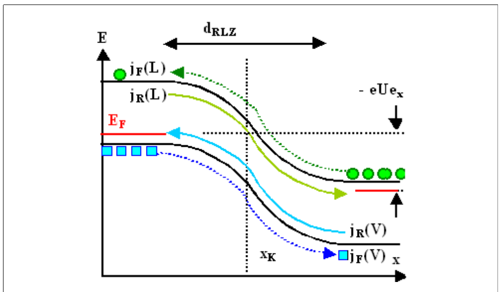
Wir wissen, dass zwischen der *Beweglichkeit* **μ** und dem *Diffusionskoeffizienten* ***D*** der Ladungsgträger eine simple Beziehung existiert und erinnern uns zumindest an **μ** ∝ ***D***.

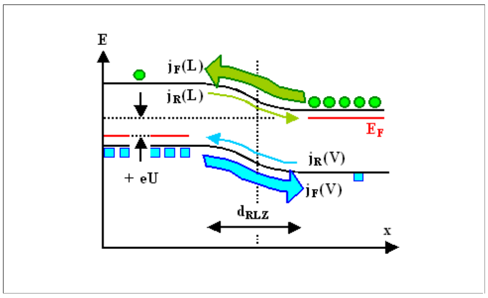
  - Damit ist die *Leitfähigkeit* σ **= q*nµ*** der Halbleiter klar, und auch wie sie im Prinzip von der Dotierkonzentration N_{Dot} abhängt.
- Die Bedeutung von *Kontakten* ist klar; wir können einige konstruieren, denn wir kennen das **3**-Schritte-Rezept.
  - Der Zusammenhang zwischen *Ladungen*, *Bandverbiegung* , *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).

<table>
<tr><td>
</td><td>Strom der Majoritäten in das jeweils andere Gebiet:
• Diffusionsstrom oder
• Rekombinationsstrom oder
• Durchlaßstrom.
Beispiel: Elektronenstrom vom n-Si zum p-Si.

(<u>Hinweis:</u> In dieser Abbildung sind die Teilströme noch englisch beschriftet: Diffusionsstrom = forward current j_F, Feldstrom = reverse current j_R)</td></tr>
<tr><td>
</td><td>Strom der Minoritäten in das jeweils andere Gebiet:
• Feldstrom oder
• Driftstrom oder
• Generationsstrom oder
• Sperrstrom.
Beispiel: Elektronenstrom vom p-Si zum n-Si.</td></tr>
</table>

  - 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.