Transport durch Nanostrukturen (Teil 2)

Unterlagen zur Vorlesung (Betreff: Einzelatomtransistor an wenzel@int.fzk.de)

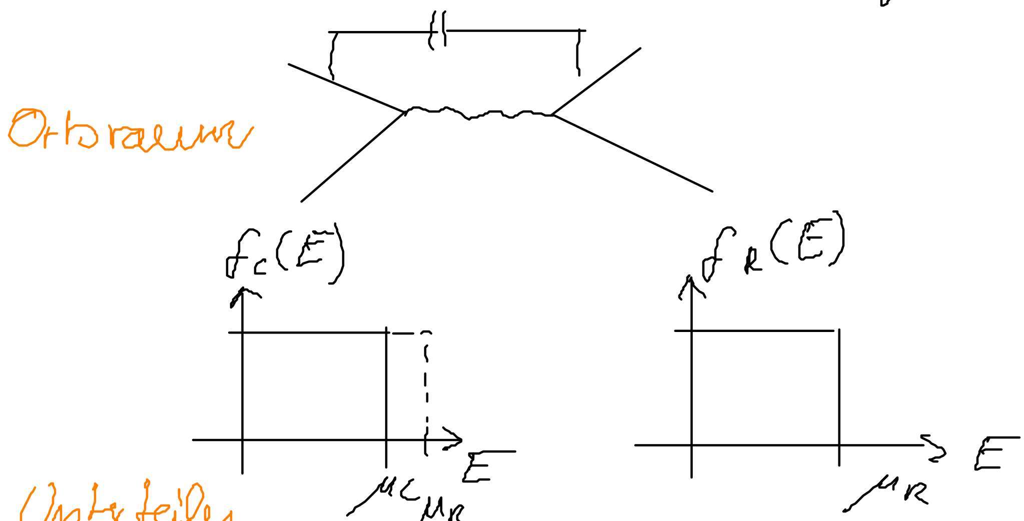
Literatur

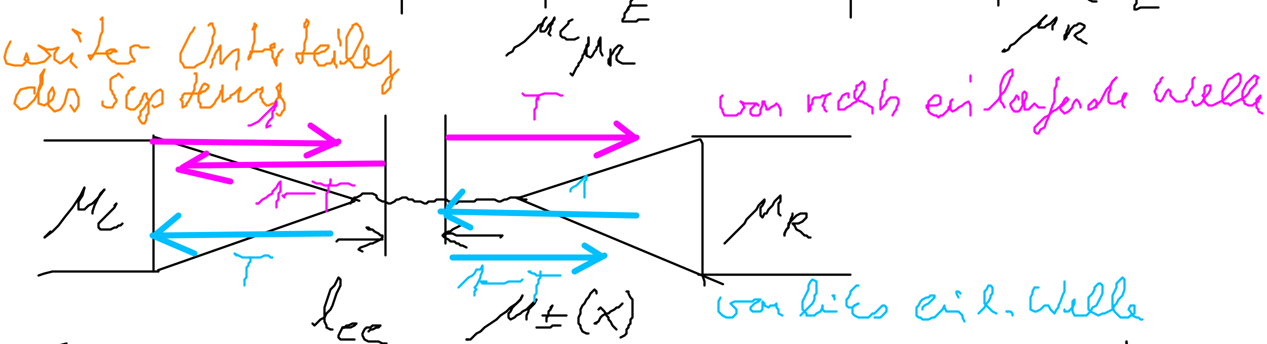
- S. Datta „Electronic Transport in Mesoscopic Systems" (Cambridge U. Press)
- M. Reed „Molecular Nanoelectronics" (2004)

1 Ballistischer Transport

Transmissionsfunktion

$$\boxed{I = \frac{2e^2}{h}\int dE\,[f_L(E)-f_R(E)]\,\underbrace{T(E)}_{\approx 1 \text{ für einen idealen Niveau}}}$$





l_{ee}: Längenskala (WW-Bereich der Elektronen)

$\mu_\pm(x)$: Chemische Potentiale (+ rechts laufende Wellen $k>0$)
(− links laufende Wellen $k<0$)

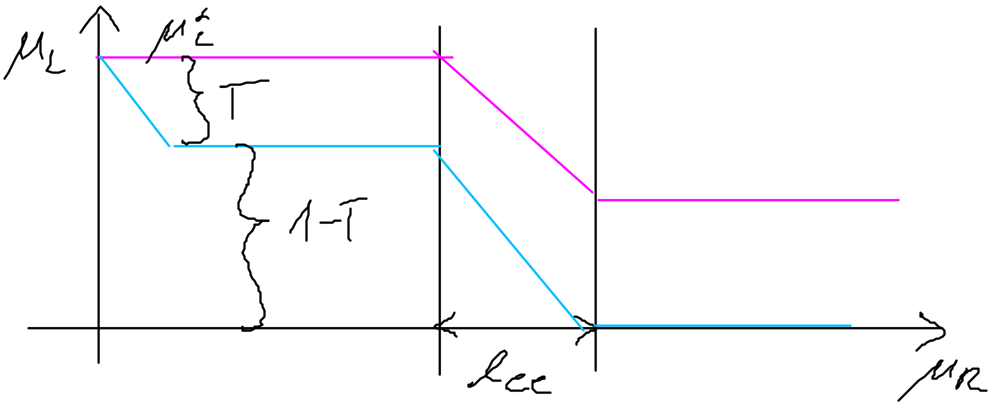
$$\Delta\mu_\pm(x) = \int dE\, \underbrace{N(E)}_{\text{Zustandsdichte}}\, f_\pm(E,x)$$

$\mu_\pm(x)$ geht hier ein

$N(E) \approx N(E_F)$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta\mu_\pm(x) = N(E_F)\,\Delta\mu_\pm(x)} \quad \text{mit } \Delta\mu_\pm(x) = \mu_\pm(x) - E_F$$

$$\mu_\pm(x) = \frac{\Delta\mu_\pm(x)}{\mu_L - \mu_R}$$



$$\Delta V_{Draht} = \frac{1}{e}(1-T)(\mu_L - \mu_R)$$

$$\Delta V_{Kontakt} = \frac{1}{e}\, T\, (\mu_L - \mu_R)$$

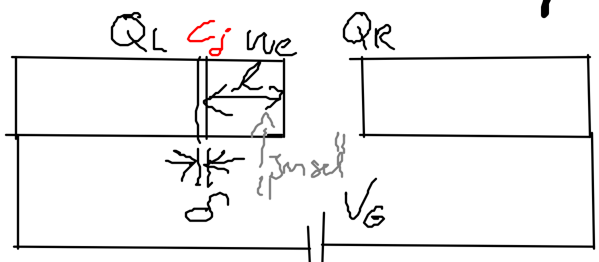
(für $T=1$ idealer Kontakt)

für $T=0$ fließt kein Strom

② Einzelelektronentransport

(Mikroskopischer + Makroskopischer Kondensator)

Kondensator (Reihenschaltung aus mehreren Kond.)



$S = l^2 = 100\,nm^2$

$d = 10\,Å = 1\,nm$

$\varepsilon \approx 10$ (Halbleiter)

k_B Boltzmann Konstante

Kapazität $\boxed{C = \frac{\varepsilon S}{4\pi d}} \approx 10^{-15}\,F$

Energie zum Aufladen

$\boxed{E_C = \frac{e^2}{2C}}$ (1 Kondensator) $\Longrightarrow \frac{E_C}{k_B} \approx 1\,K \Rightarrow E_C \approx k_B \cdot T$

Einzelelektroneneffekte bei Raumtemperatur zu erzielen für $l = 10\,nm$ (Molekülgrößenordnung)

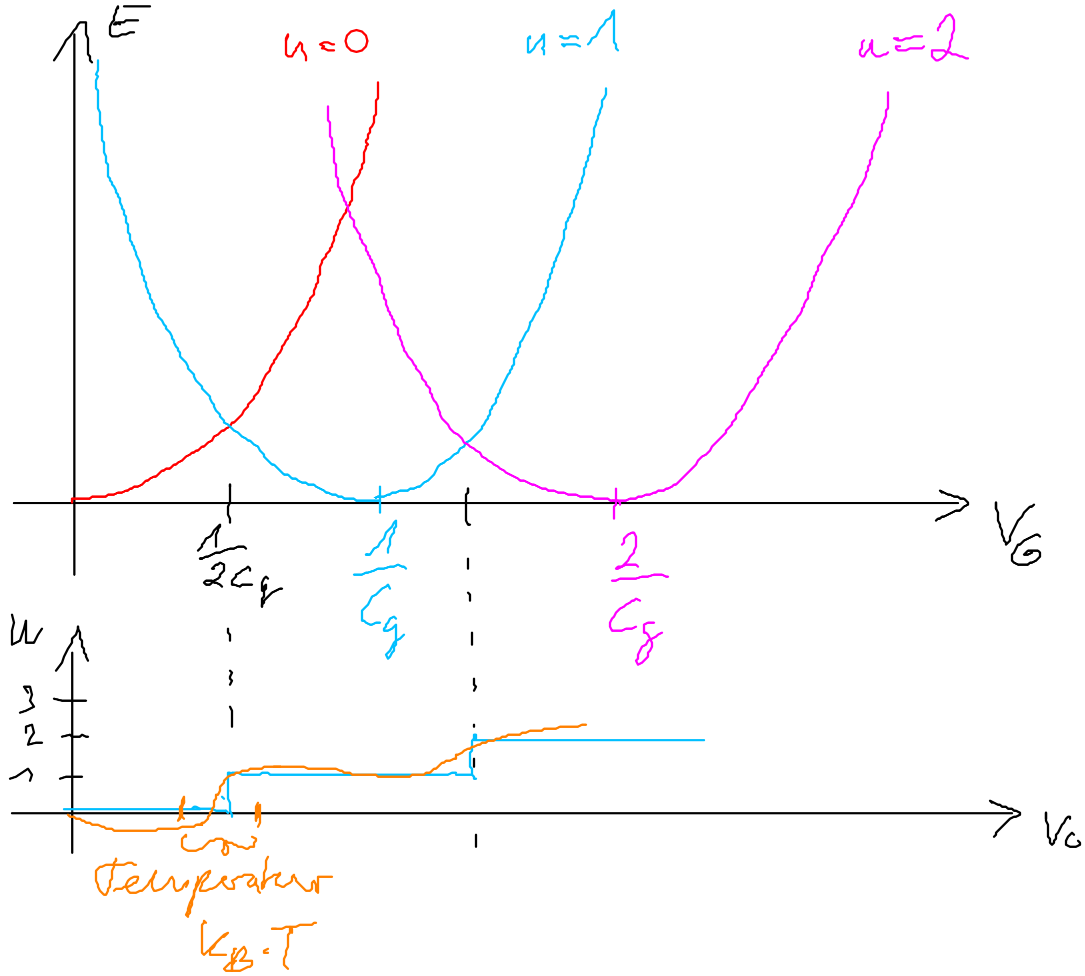
$\boxed{-ne = Q_L + Q_R}$ $\qquad V_G = \frac{Q_L}{C_j} - \frac{Q_R}{C_g}$

$E_{Ladung} = \frac{Q_L^2}{2C_j} + \frac{Q_R^2}{2C_g}$ $\qquad E = V_G \cdot Q_R,\ Q_R = -(ne - Q_L),\ Q_L = C_j\left(V_G + \frac{Q_R}{C_g}\right)$

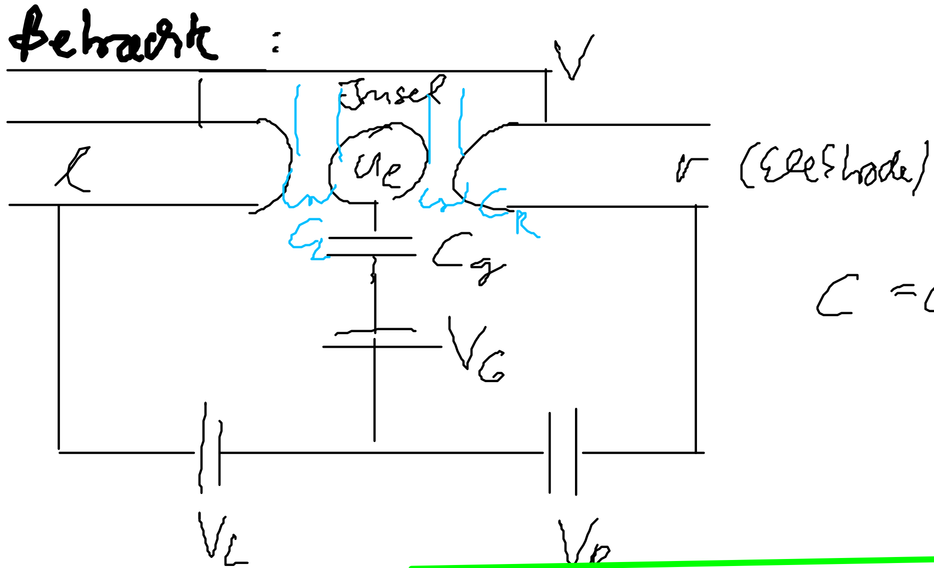
Gesamtenergie des Kondensatorsystems $\qquad C = C_j + C_g$

$\Rightarrow \boxed{E(n, V_G) = \frac{(ne - C_g V_G)^2}{2C}}$

Ladung n der „Insel"



Betrachte:

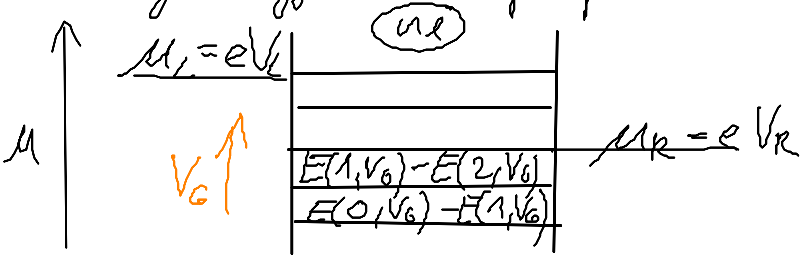


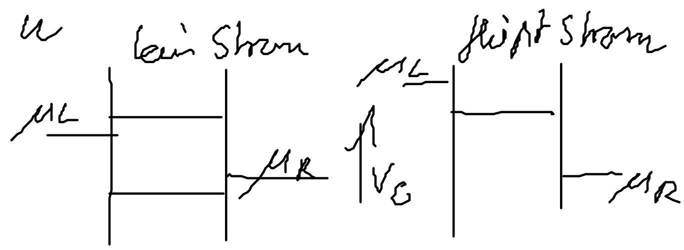
$$C = C_L + C_R + C_g$$

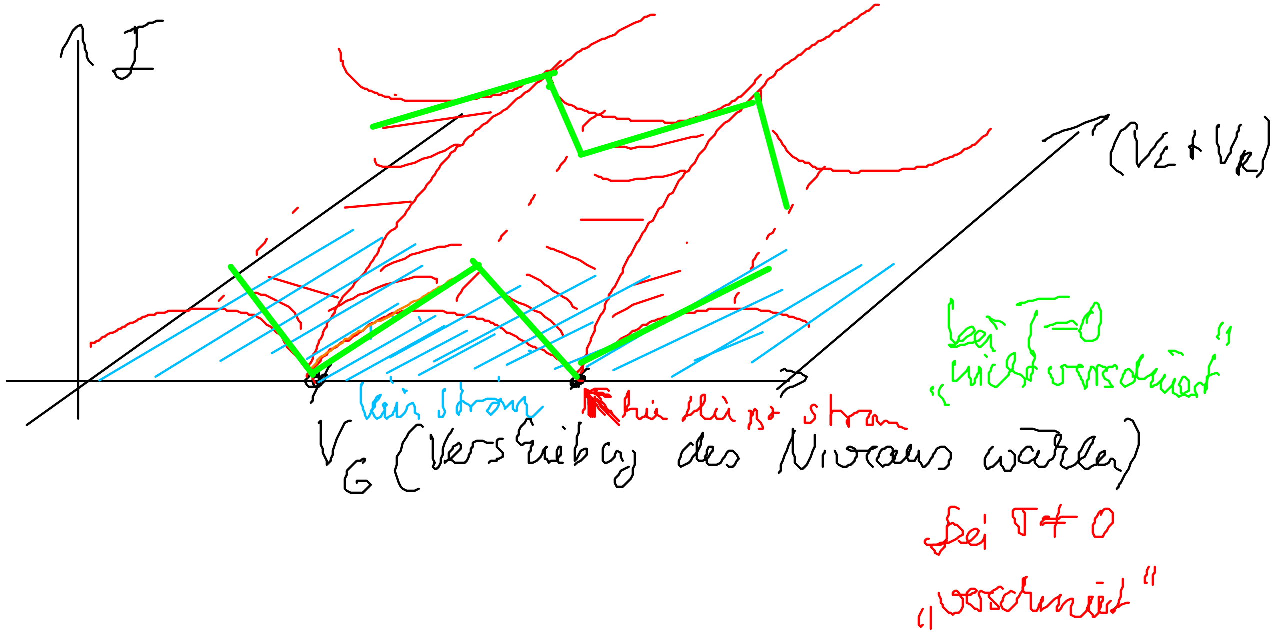
Energie der Insel: $\boxed{E_{ch}(n,V_G) = \frac{(ne - V_G C_g)^2}{2C}}$

$$\boxed{E(n+1,V_G) - E(n,V_G) = \left(n + \frac{1}{2} + \frac{V_G C_g}{C}\right)\frac{e^2}{C}}$$

⇒ Energiedifferenz ist proportional zu n






I
(V_L + V_R)
kein Strom
hier fließt Strom
V_G (Verschiebung des Niveaus wählen)
bei T = 0 „nicht verschmiert“
bei T ≠ 0 „verschmiert“