Inhalt – Korrektur

I Konzepte

II Landauer

III Mol. Elektronik

IV QHE

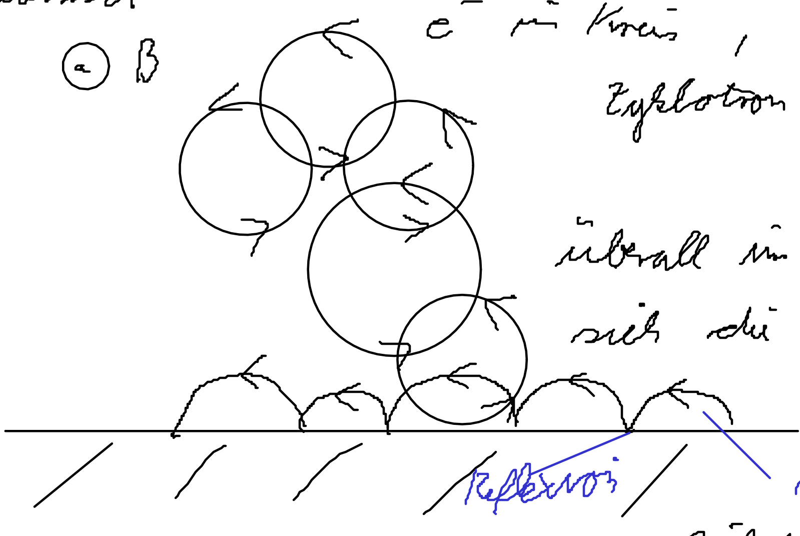
V Interferenz-Effekt – Aharonov-Bohm
– schwache Lokalisierung
– universal cond. fluct.

VI Spintronics – Julliere-Modell
– GMR
– Spin-Bahn

VII Einzel-Elektronen-Effekte

4.4.1 Randkanäle

klassisch

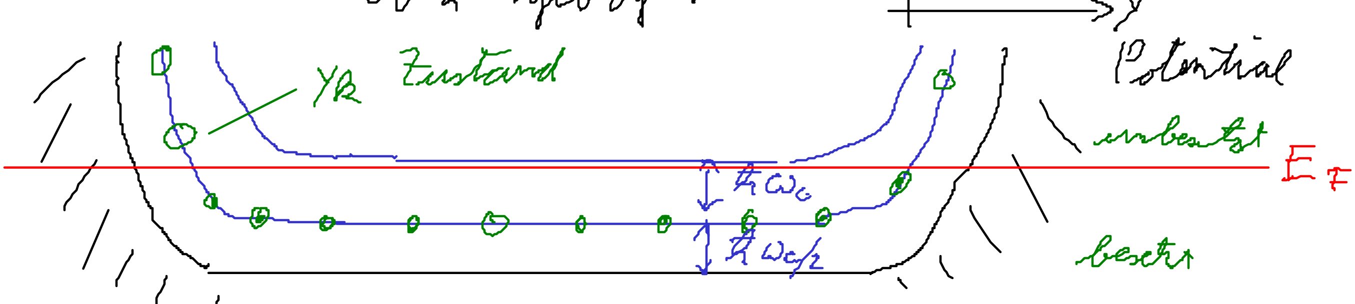


e^- im Kreis, Zyklotron-Bewegung

überall im Bulk kompensieren sich die Ströme

⟹ liefert Strom am Rand

QM. Landau-Niveaus am Rand sind nach oben gebogen



ungefähr gilt $E_{n,k} \approx \hbar\omega_c \left(n+\frac{1}{2}\right) + V(y_k)$

$$n = 0, 1, 2, \dots \qquad y_k = \frac{\hbar c}{|e|B}\, k$$

$$\Psi_{nk}(x,y) = \underbrace{\chi_n}_{\text{HO}}(y-y_k)\, e^{ikx}$$

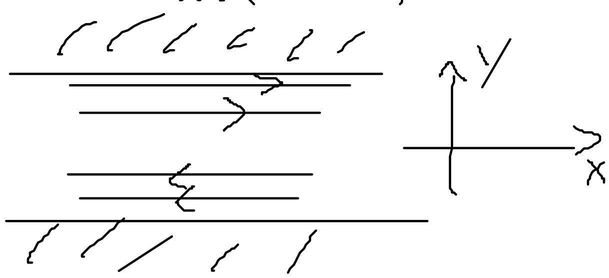
Gruppengeschwindigkeit

$$v_x = \frac{1}{\hbar}\frac{\partial E_{nk}}{\partial k} = \frac{1}{\hbar}\frac{\partial V}{\partial y}\frac{\hbar c}{|e|B} \neq 0$$

am Rand

versch. Vorzeichen an beiden Rändern

Uns interessiert nur, was bei E_F passiert $\Rightarrow$ Randkanäle



Strom $j_x = e\, N(E_F)\, v_x\, eV$

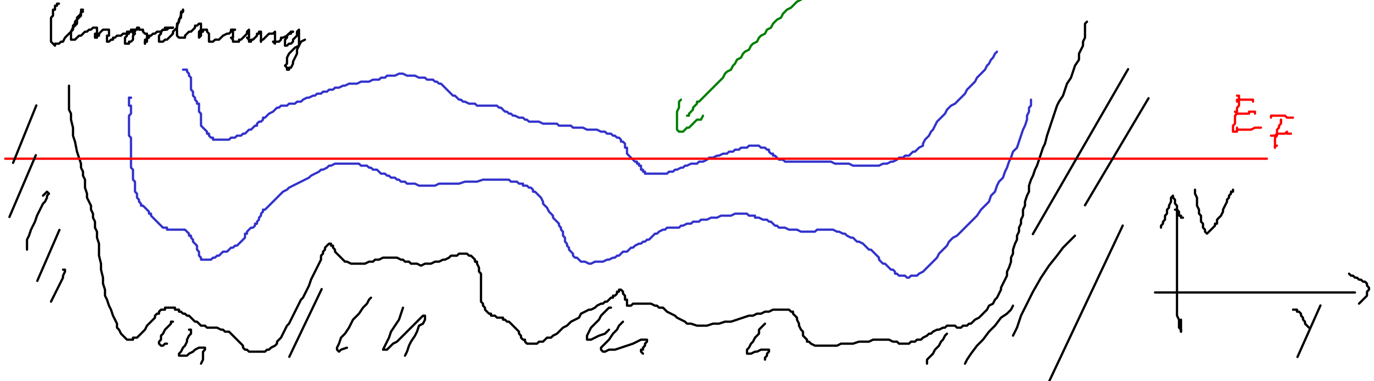
Zustandsdichte $N(E) = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{\partial E}{\partial k}\right)^{-1} = \frac{1}{2\pi\hbar}\,\frac{1}{v_x}$

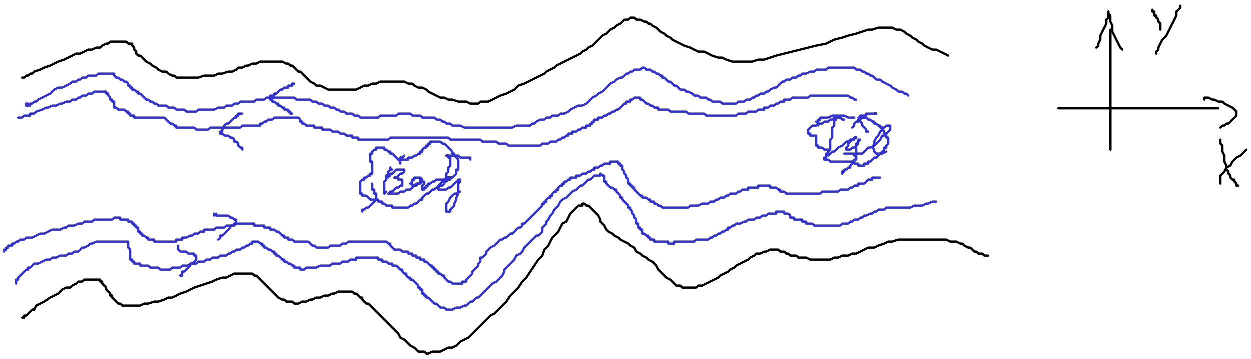
Gruppengeschwind. · Zustandsdichte = const

Strom $j_x = \frac{e^2}{h} V$

$\Rightarrow \quad G = \underbrace{2}_{\text{Spin}}\frac{e^2}{h}$ pro Kanal

Unordnung





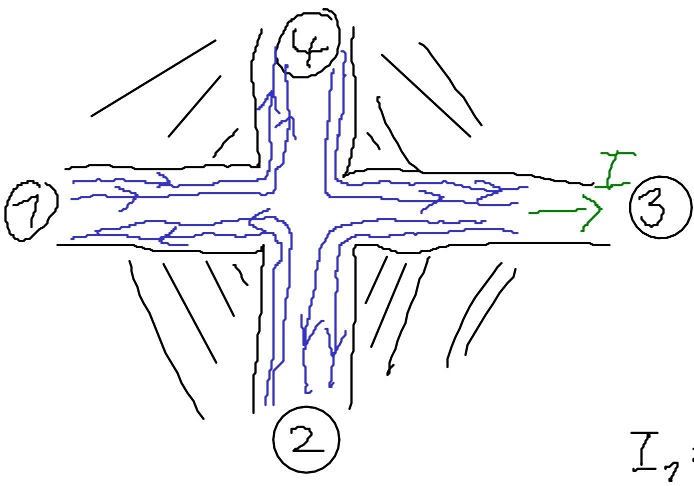
So lange das Potential nicht zu stark ungeordnet ist, sind die Randkanäle auf beiden Seiten entkoppelt.

Beispiel A Hallprobe

Büttiker: multi-Probe-Multi-Kanal-Formel

$$\frac{h}{2e} I_\alpha = (\underbrace{N_\alpha}_{\text{Kanäle}} - \underbrace{R_\alpha}_{\text{Reflexion}})\underbrace{\mu_\alpha}_{\text{chem. Pot.}} - \sum_{\beta \neq \alpha} I_{\beta \to \alpha} \mu_\beta$$

einfaches Bild



Angenommen

alle $N_\alpha = N$

$R_\alpha = 0$

$$T_{14} = T_{43} = T_{32} = T_{21} = N$$

Rest $= 0$

$$I_1 = -I_3 = I \quad ; \quad I_2 = I_4 = 0$$

1 $\quad \frac{h}{2e} I = N\mu_1 - N\mu_2$

2 $\quad 0 = N\mu_2 - N\mu_3$

3 $\quad -\frac{h}{2e} I = N\mu_3 - N\mu_4$

4 $\quad 0 = N\mu_4 - N\mu_1$

$\Rightarrow \mu_4 = \mu_1 \quad ; \quad \mu_3 = \mu_2$

1) $\frac{h}{2e} I = N(\mu_1 - \mu_3)$

2) $\frac{h}{2e} I = N(\mu_4 - \mu_2)$

$\Rightarrow$ Hall-Widerstand $\quad R_H = R_{13,42} = \frac{\mu_4 - \mu_2}{eI}$

Stromkontakte

Spannungs-kontakte

also quantisierter Hall-Widerstand

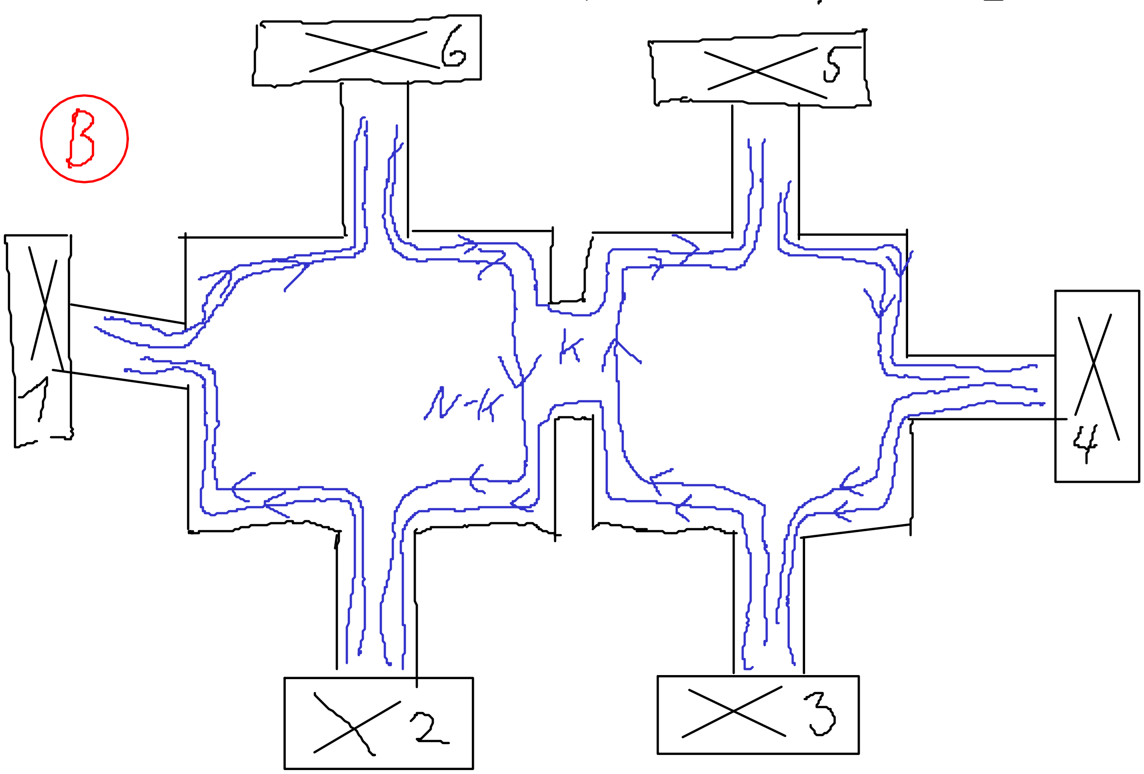
$$R_H^{-1} = N \frac{2e^2}{h}$$

Transportwiderstand

$$R_{13,13} = \frac{\mu_1 - \mu_3}{eI} = \frac{1}{N} \frac{h}{2e^2}$$

quantisiert weil Quanten-transport

B



Hall-Widerstand

$$R_H = R_{14,62} = ?$$

2 - Punkt Transport - Wid.

$$R^{2P} = R_{14,14} = ?$$

4 - Punkt - Messung

$$R^{4P} = R_{14,56} = ?$$

Einschnürung liefert partielle Rückstreuung

Rückstreuung

$$T_{16} = N = T_{54} = T_{43} = T_{21}$$

$$T_{65} = K \qquad T_{62} = N - K$$

$$T_{32} = K \qquad T_{35} = N - K$$

Einsetzen in Büttiker-Formel ...

$$\Rightarrow \quad R_H = \frac{1}{N} \frac{h}{2e^2}$$ immer noch quantisiert

$$R^{2P} = \frac{1}{K} \frac{h}{2e^2}$$ K ist Transmission

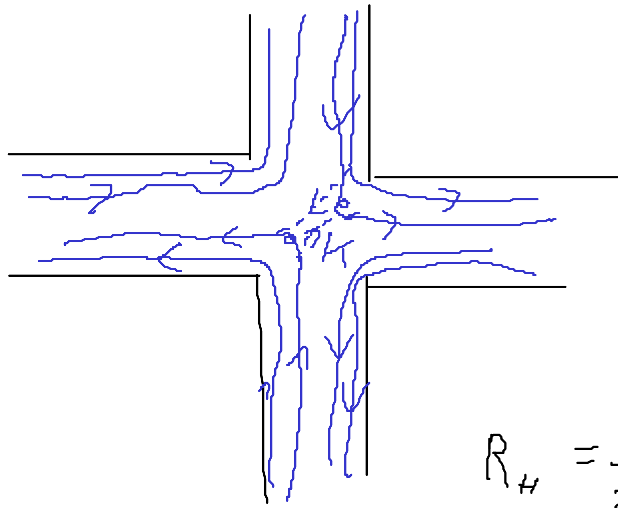
$$R^{4P} = \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{N} \right) \frac{h}{2e^2}$$

Es gilt wieder $R^{2P} = R^{4P} + \underbrace{\frac{1}{N} \frac{h}{2e^2}}_{\text{"Kontaktwiderstand"}}$

für $K = N$ ist $R^{4P} = 0$

für $K = 0$ ist $R^{4P} = \infty$ gut.

(C) Störstelle



$$T_{14} = N = T_{32}$$

$$T_{43} = K = T_{21}$$

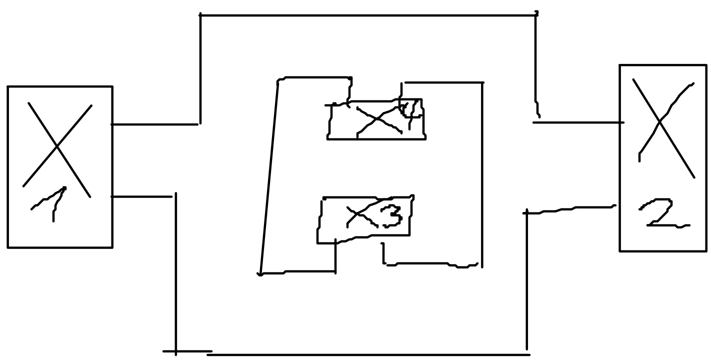
$$T_{41} = N - K = T_{23}$$

$$\text{Rest} = 0$$

$$R_H = \frac{h}{2e}\,\frac{1}{K}$$ <u>keine</u> Quantisierung

K ist keine ganze Zahl sondern $\propto$ Streuwahrscheinlichkeit

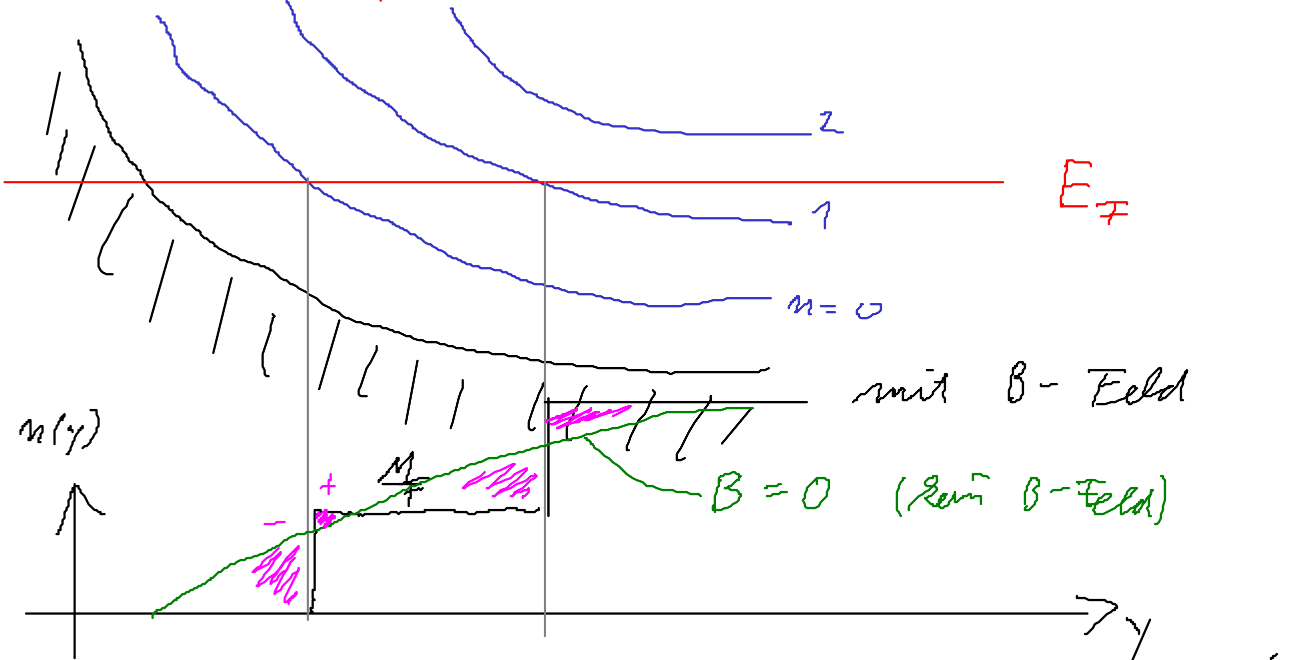
(D)



$$R_{12,34} = ?$$

ABER: Randkanalbild liefert richtige Ergebnisse für Gesamtströme
aber falsche Ergebnisse über Stromverteilung
(Strom fließt <u>nicht</u> nur am Rand)

4.5 kompressible und inkompressible Bereiche



$\frac{M}{F}$ $\frac{\text{Entartung des Landau-Niveaus}}{\text{Fläche}}$

Überschuss / Defizit - Ladung verändert das Potential $\Rightarrow$ $V(y)$ selbstkonsistent Berechnen:

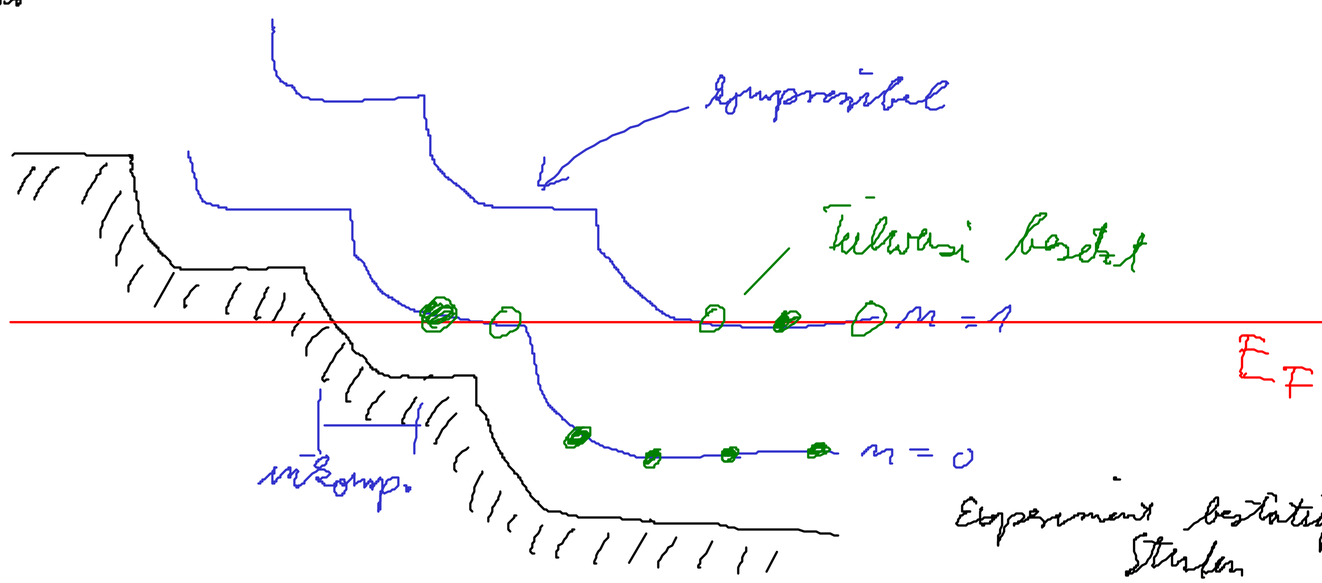
$$\nabla^2 V = -\frac{4\pi|e|}{\varepsilon}\left(n_B(y)-n_0(y)\right)$$

Von Chklovskii, Shklovskii, Glazman

Vater & Sohn verschieden in USA übersetzt

Phys Rev B 46, 4026 (92)

Potential:



Experiment bestätigt Stufen

"Kompressibel"

$$\kappa_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = \frac{V}{N^2}\left(\frac{\partial N}{\partial \mu}\right)_{T,V} = \frac{1}{N^2}\left(\frac{\partial n}{\partial \mu}\right)_{T,V}$$

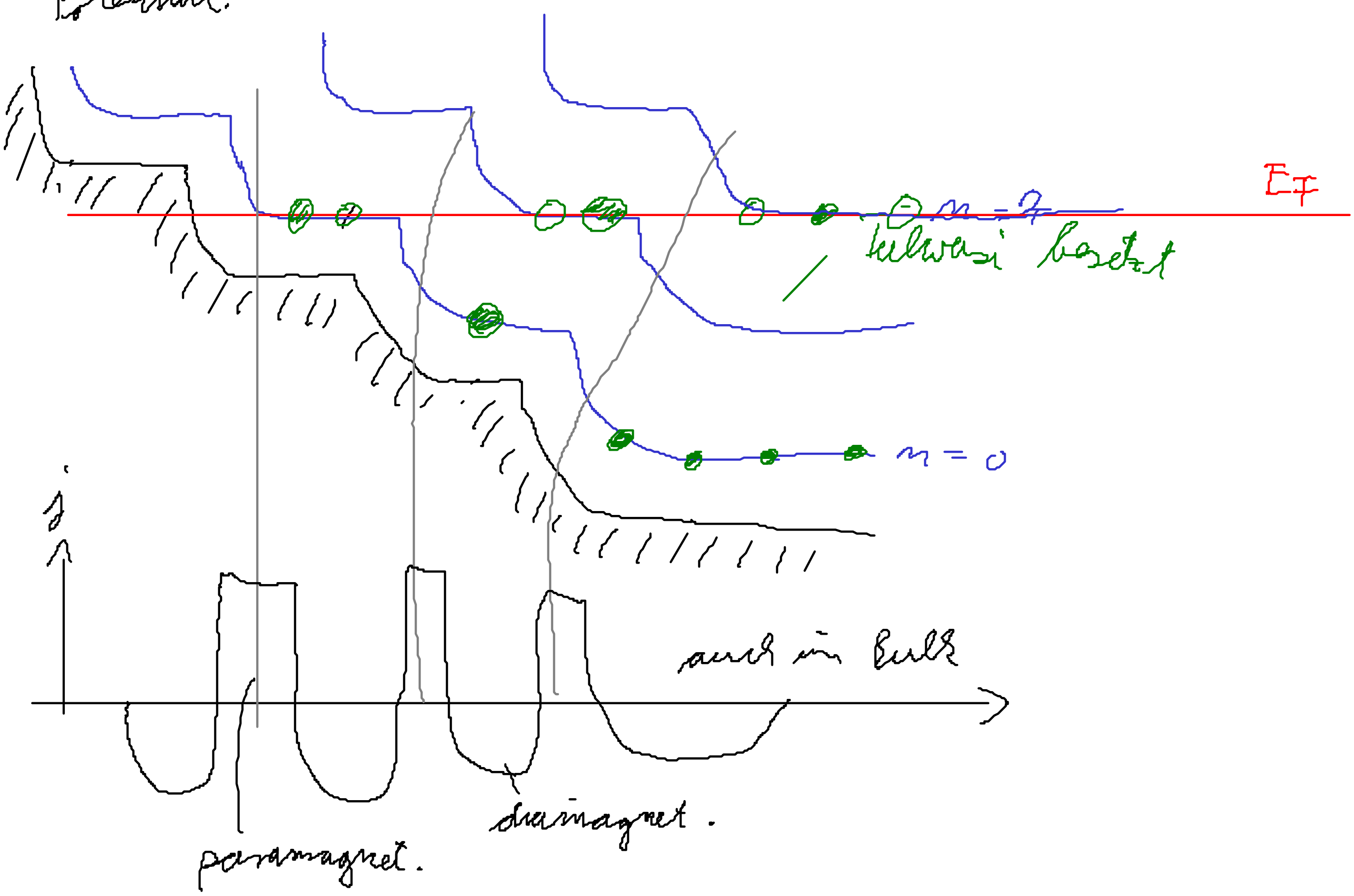
Kompressibilität

Maxwell-Rel.

Wie ändert sich Teilchenzahl bei Änderung des chem. Pot.

$$= \begin{cases} \to \infty & \text{im Bereich der Stufen} \\ \approx 0 & \text{im Bereich der Plateaus} \end{cases}$$

Potential:



Strom fließt überall