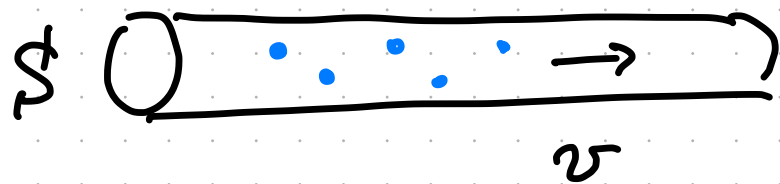


Vorlesung 6

Physik II
A. Ustinov

SS 2020 

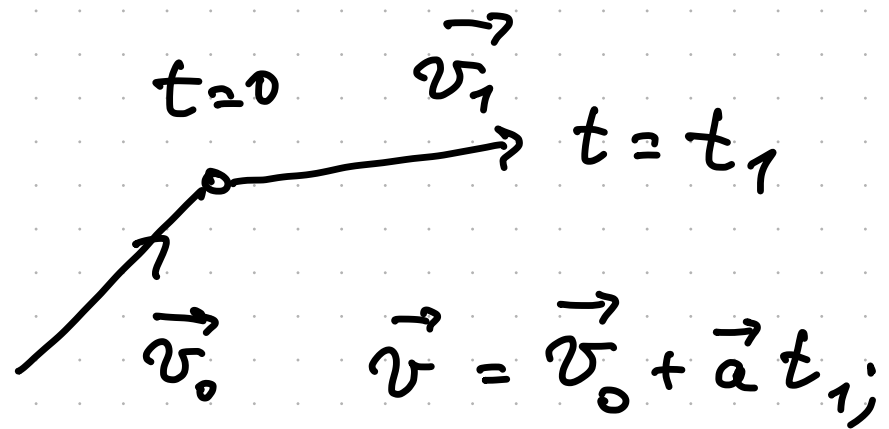
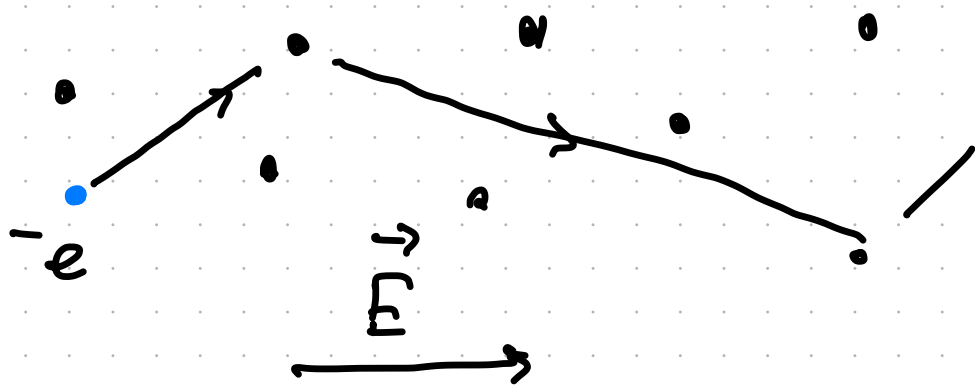
Elektronen in einem Leiter



$S \cdot \Delta t \cdot v$ pro Δt ;

pro Sekunde: $Q = n e$;
Dichte

$$n e = j_{el} ; \quad \vec{j} = j_{el} \cdot \vec{v} ;$$



$$\vec{a} = - \frac{e E}{m} ; \quad \langle \vec{v} \rangle = \langle \vec{v}_0 \rangle - \frac{e E \langle t_1 \rangle}{m} ;$$

$\langle t_1 \rangle \hat{=} \tau$: die mittlere Zeit zwischen zwei Stößen

$$\langle \vec{v}_0 \rangle = 0 \quad ; \quad \text{Drift geschwindigkeit } \langle \vec{v} \rangle = \vec{v}_d = -\frac{e \vec{E} \tau}{m}$$

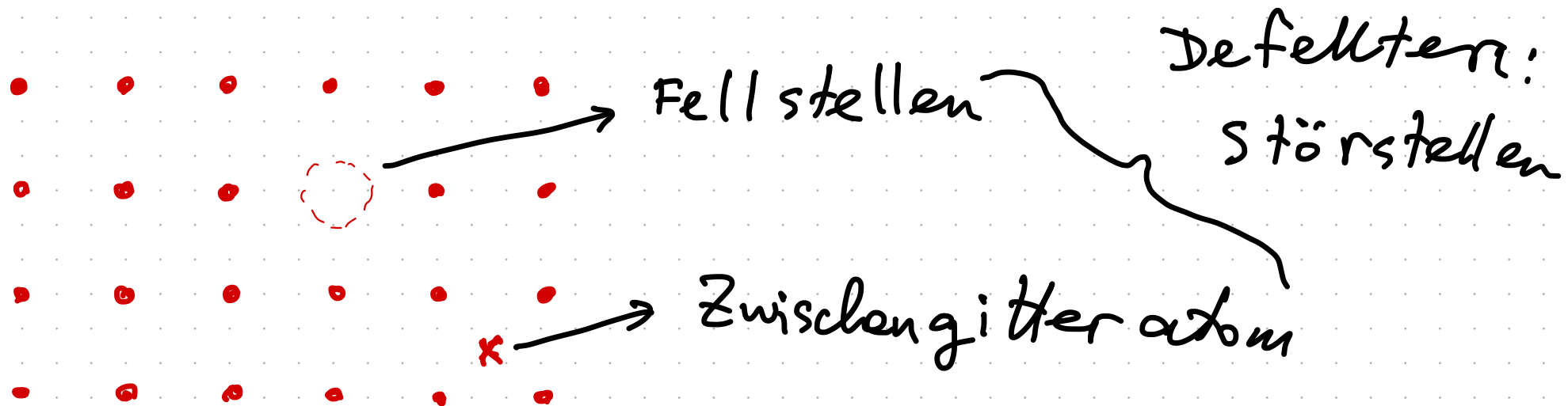
$$\langle |\vec{v}| \rangle \sim v_F \sim 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad ; \quad |v_d| \sim 1 \frac{\text{mm}}{\text{s}} ;$$

Fermi-Geschwindigkeit

$$\langle \vec{j} \rangle = \underbrace{-ne}_{\sigma_{el}} = +ne \frac{e \vec{E} \tau}{m} = \underbrace{\frac{ne^2 \tau}{m}}_{\text{elektrische Leitfähigkeit}} \vec{E} ;$$

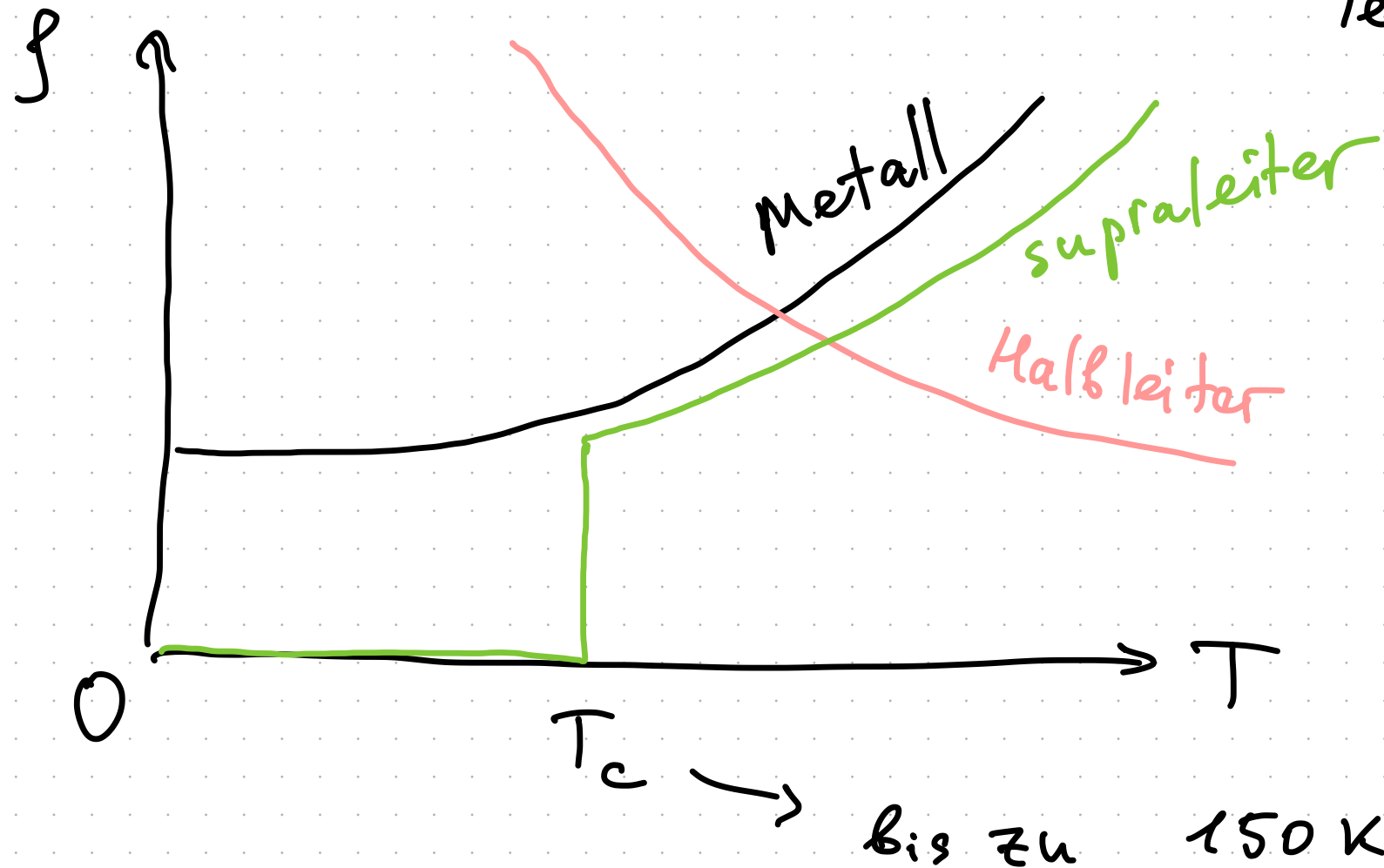
elektrische Leitfähigkeit

Widerstand feste Körper σ_{el}

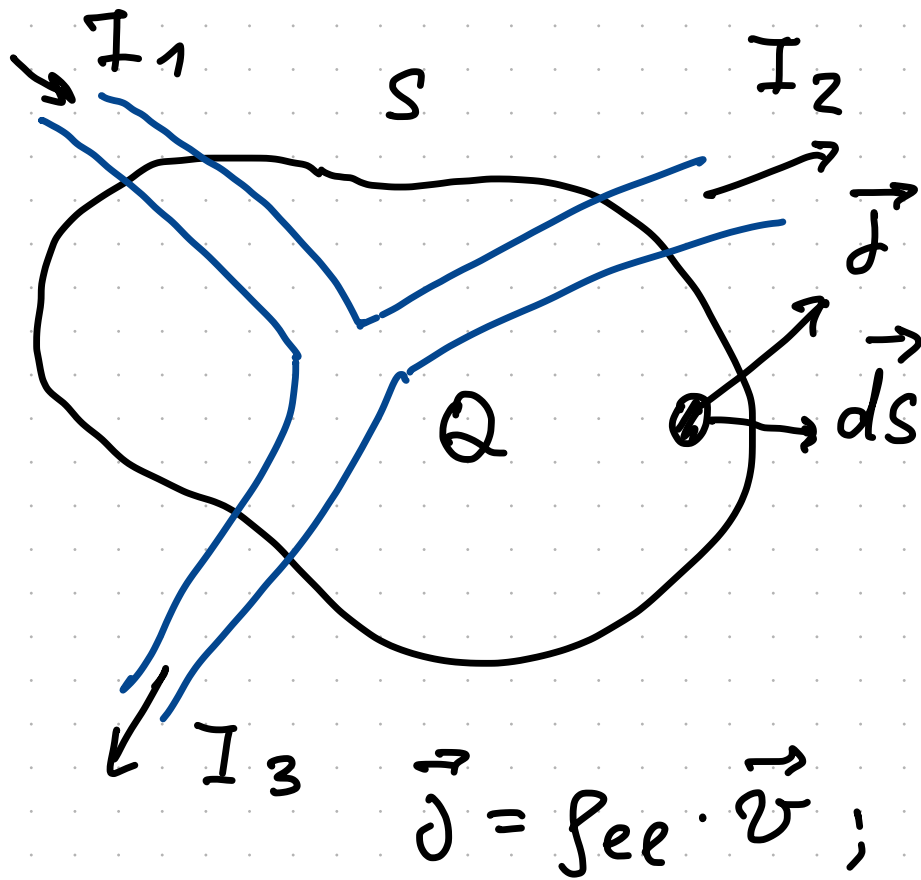


auch Kristallgitterschwingungen $\hat{=}$ Phononen

$$\rho = \rho_{st} + \rho_{ph} \approx \rho_0 \left(1 + \alpha \underset{\substack{\uparrow \\ \text{Temperatur}}}{T} + \dots \right)$$



2.3. Integralsatz von Stokes



Der Strom durch
eine geschlossene
Oberfläche S'

$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = - \frac{dQ}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_{\text{Vol}} \rho_{ee} dV;$$

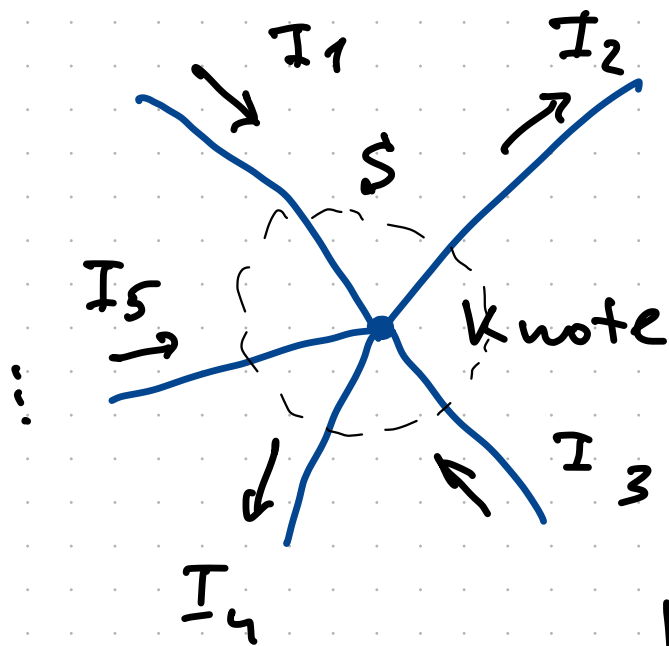
$$I = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \int_V \text{div } \vec{j} dV ; \quad \left. \begin{array}{l} \text{Gausch.} \\ \text{Satz} \end{array} \right\}$$

$$\boxed{\text{div } \vec{j}(\vec{r}, t) = - \frac{\partial}{\partial t} \rho_{ee}(\vec{r}, t)}$$

kontinuitäts-
gleichung.

2.4. Kirchhoffsche Regeln

1. Kirchhoffsche Regel:



$$\sum_S I_n = 0 ;$$

$$\Leftrightarrow I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4 ;$$

z.B.

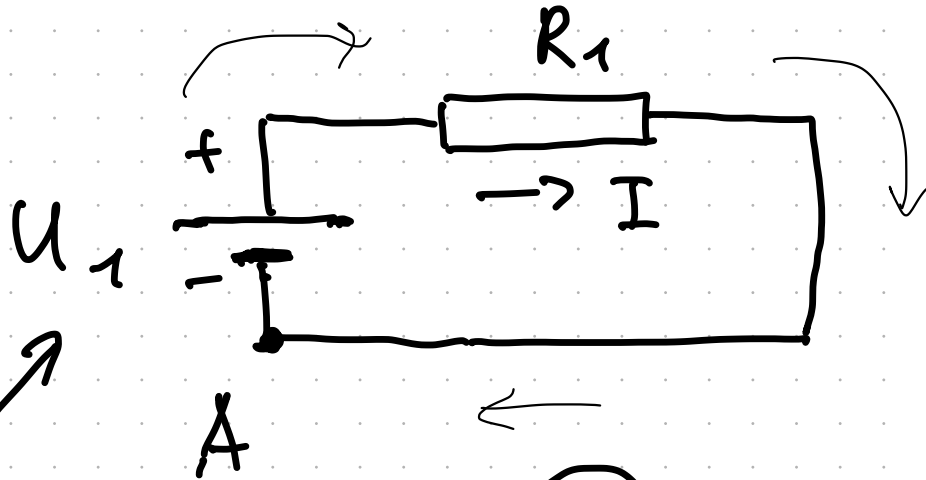
kont. Gl. $-\frac{dQ}{dt} = \oint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \sum_n I_n ;$

2. Kirchhoffsche Regel:

in jedem geschlossenen Stromkreis (mit N Elemente)

$$\sum_{n=1}^N U_n = 0$$

z. B.



von Punkt X
zu Punkt A :

$$-U_1 + R_1 I = 0 ;$$

$$\Rightarrow U_1 = R_1 I ;$$

"externe"
Kräfte

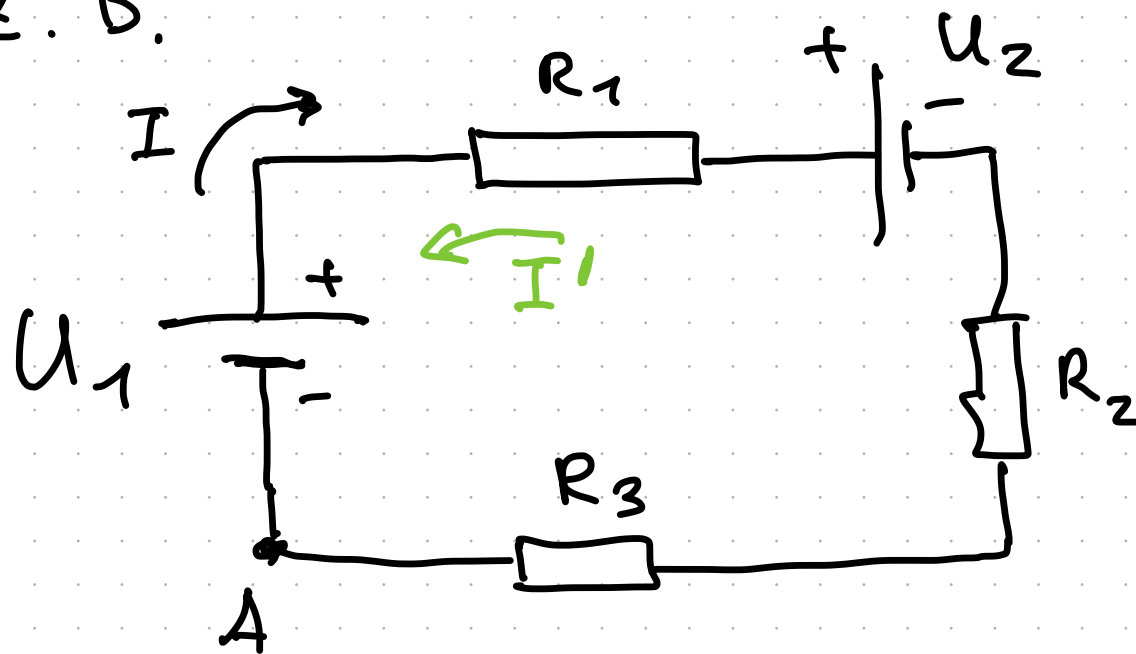
(z. B., chemische, etc.)



Elektrostatik:

$$\Delta \varphi = 0$$

z. B.



$$-U_1 + R_1 I + U_2 + R_2 I + R_3 I = 0$$

falls negative Stromrichtung ausgew.

$$+U_1 - R_1 I - U_2 - R_2 I - R_3 I = 0$$

Serielle Schaltung
von Widerständen

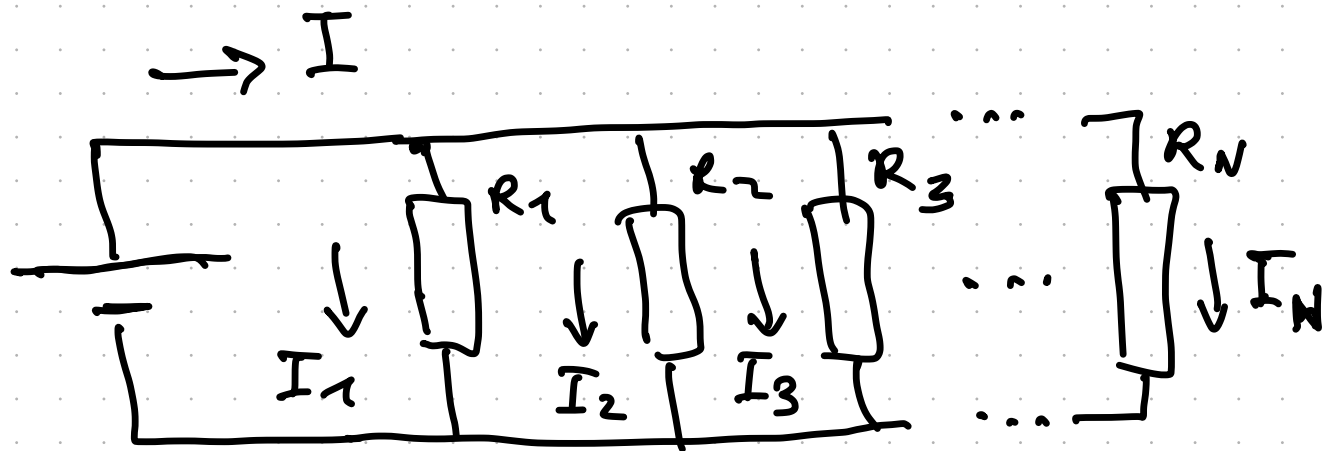
(Hintereinander
oder Reihenschaltung)



$$U_{\Sigma} = I \sum_i R_i ;$$

$$\boxed{R_{\Sigma} = \sum_i R_i}$$

Parallelschaltung

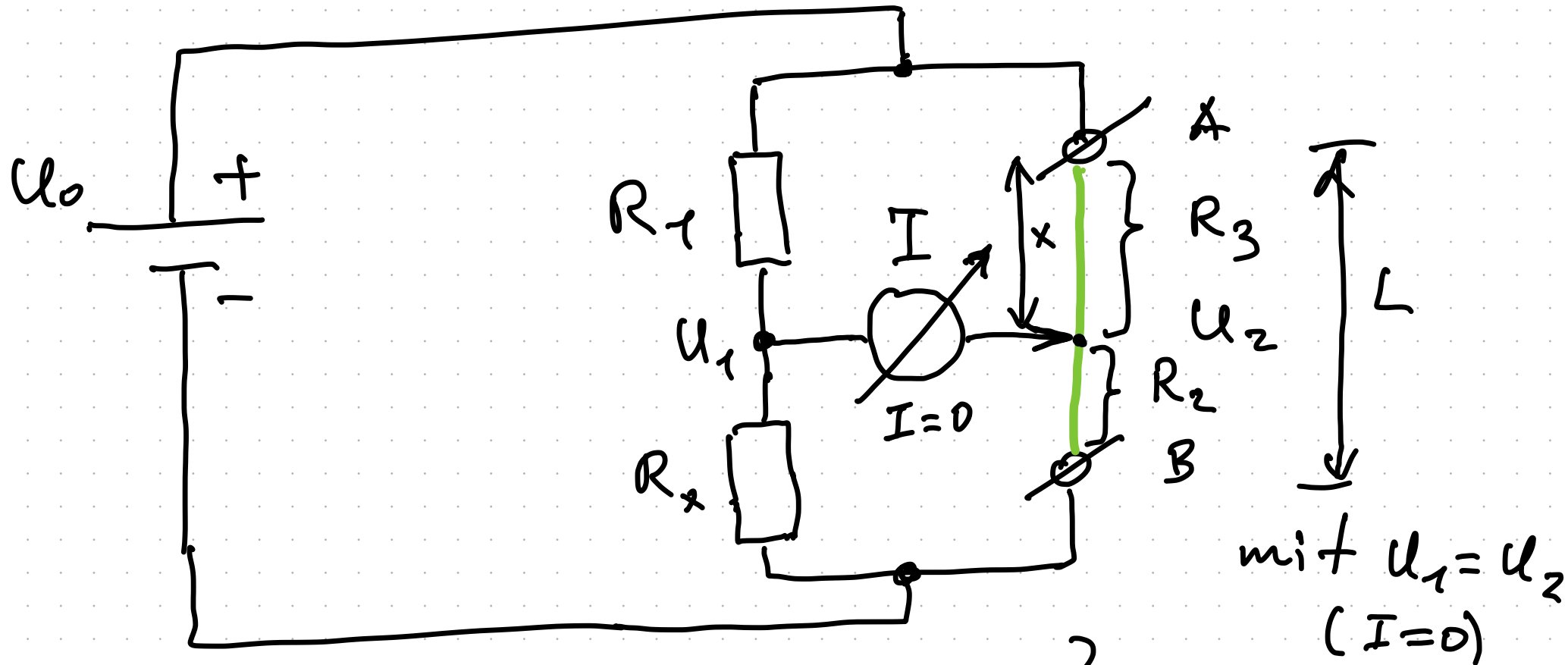


$$\frac{U}{R_{\Sigma}} = I = I_1 + I_2 + I_3 \dots = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots ;$$

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \sum_i \frac{1}{R_i} ; \quad \text{Leitwert} \quad G = \frac{1}{R} ;$$

$$G_{||} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots ;$$

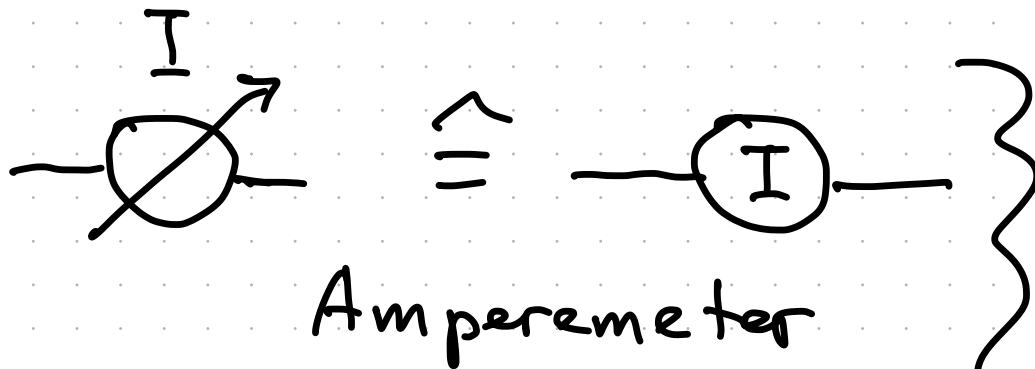
Wheatstone - Brücke



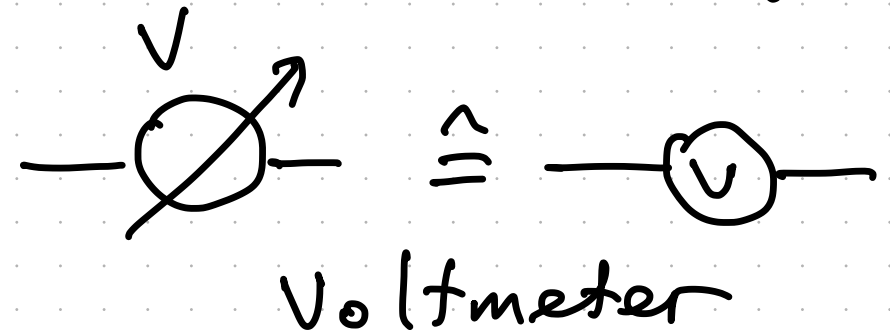
$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_0 \frac{R_x}{R_1 + R_x} ; & U_2 &= U_0 \frac{R_2}{R_2 + R_3} ; \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \frac{R_1}{R_x} &= \frac{R_3}{R_2} = \frac{x}{L-x} ; \\ R_x &= R_1 \frac{L-x}{x} ; \end{aligned}$$

2.5 Ströme und Schaltkreise

Messverfahren für elektrische Ströme und Spannungen.



Gesamtwiderstand soll
möglichst klein sein.

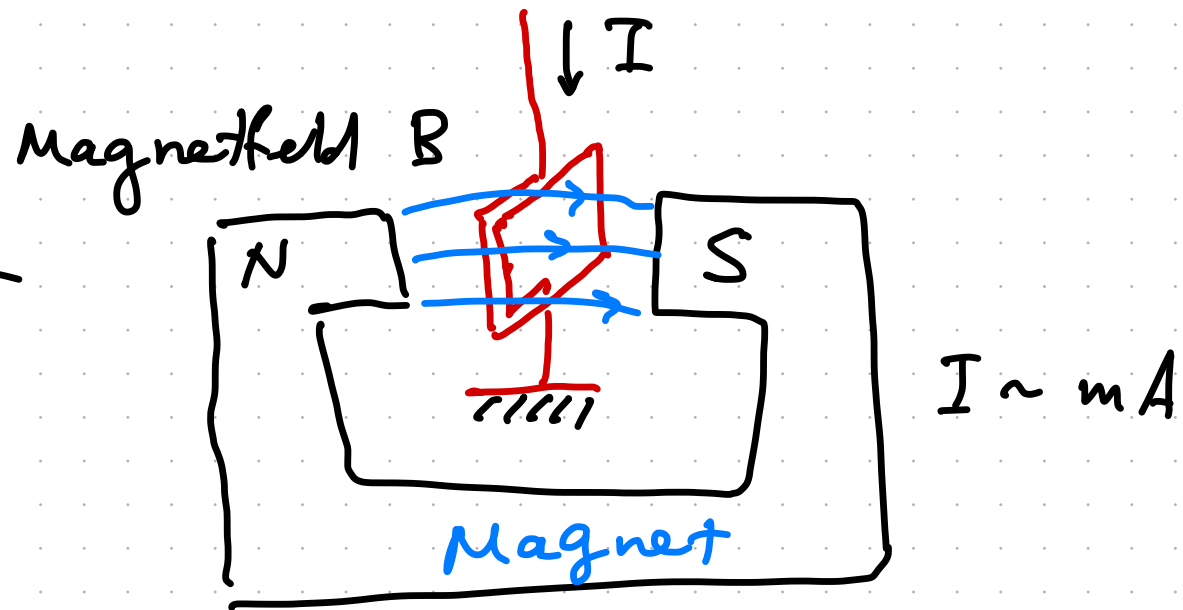


Gesamtwiderstand
soll möglichst
groß sein.

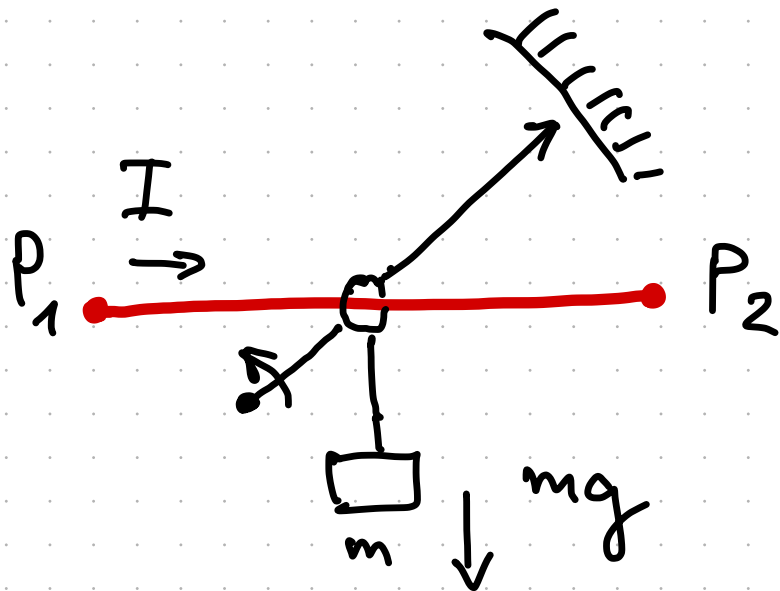
1) Galvanometer

! das Drehmoment
auf die Spule

$$\sim B \cdot I$$



2) Hitzendraht — Amperemeter

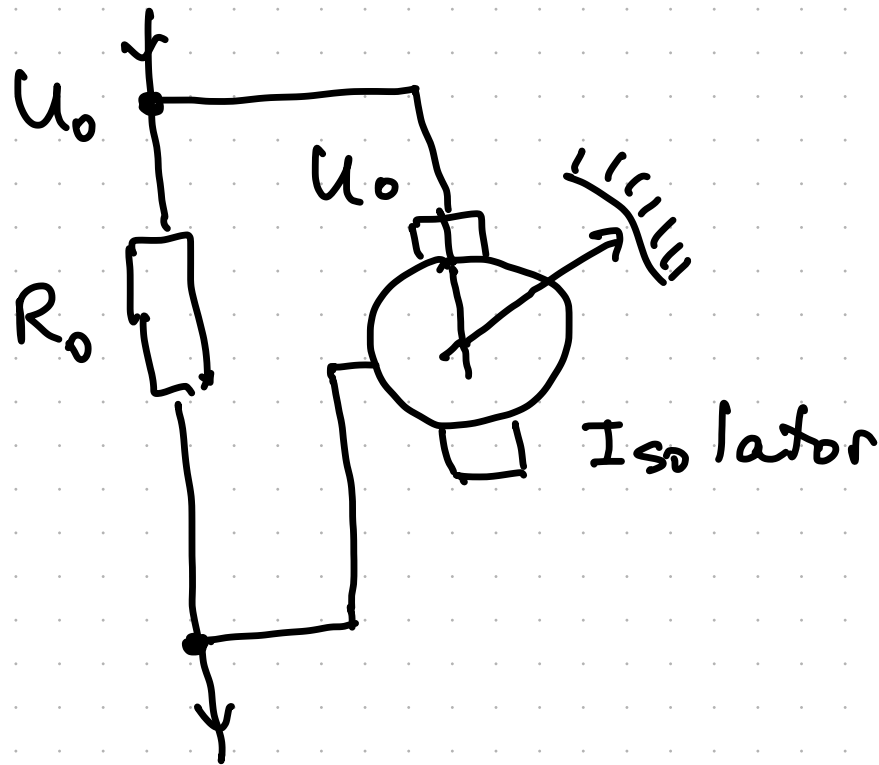


Temperaturerhöhung

↓
Längenausdehnung des
Drahtes.

$$I \gtrsim 0,1 \text{ A}$$

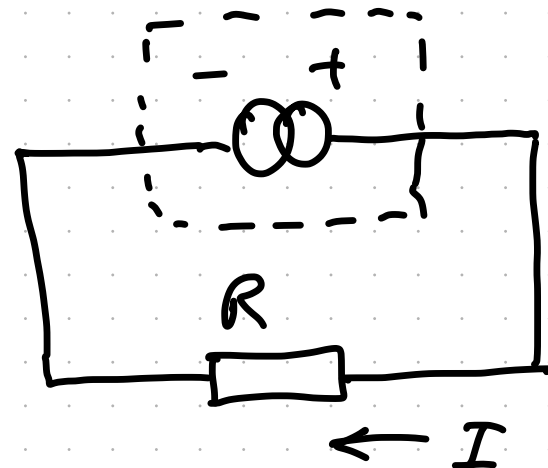
3) Voltmeter als Strommesser



$$U = I \cdot R_0 ;$$

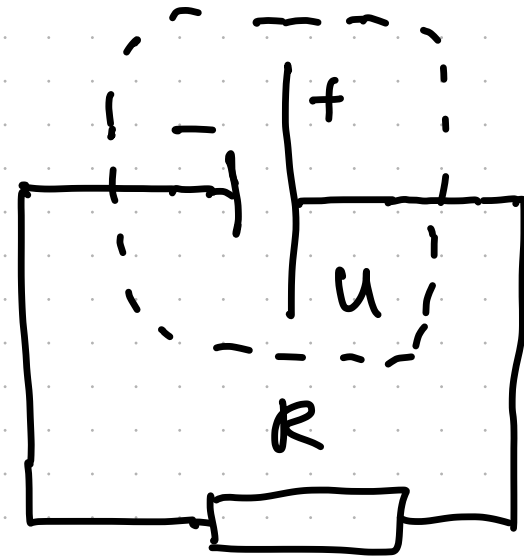
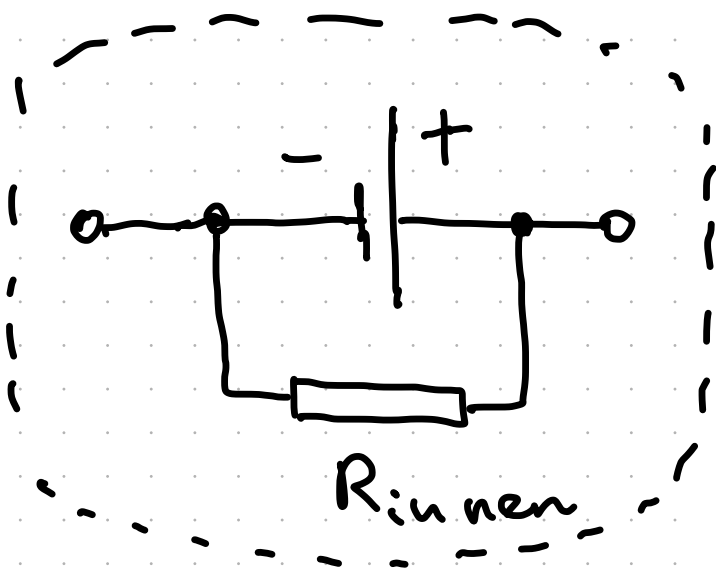
Stromquelle :

$$R_{\text{innen}} \gg R ;$$

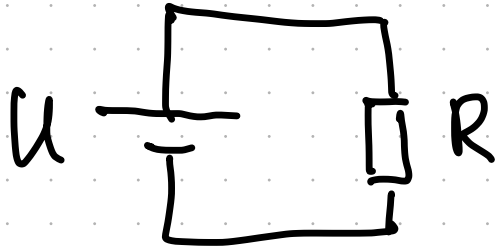


Spannungsquelle

$R_{\text{innen}} \ll R$



Stromleistung und Joulesche Wärme.



$$\text{Arbeit} = W = q(\varphi_2 - \varphi_1) = qU;$$

zeitlich konstante Spannung

U liefert eine Ladungsmenge $\frac{dQ}{dt}$ pro Sekunde;

$$\Rightarrow \text{elektrische Leistung: } P = \frac{dW}{dt} = U \frac{dQ}{dt} = UI;$$

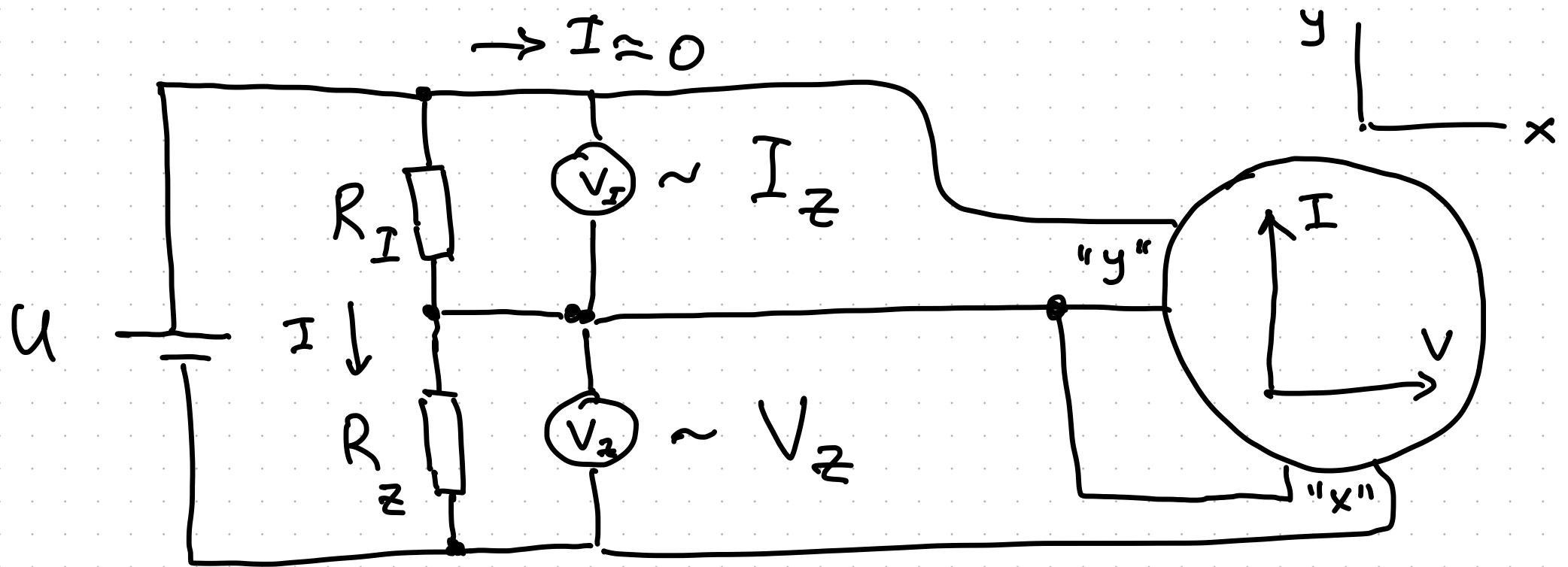
$$[SI] \rightarrow [P] = 1V \cdot 1A \hat{=} 1W; \text{ Watt}$$

$$\text{Wärme: } W = \int_{t_1}^{t_2} U \cdot I \cdot dt = U \cdot I \cdot (t_2 - t_1);$$

(Reibungsenergie)

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R};$$

Strom - Spannung - Kennlinie



Oscilloskopes

R_I - Referenz - Widerstand

R_Z - unbekannte Widerstand