

## **Inhaltsverzeichnis**

|          |                    |          |
|----------|--------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Fermi</b>       | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>Magnetwaage</b> | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Schaukel</b>    | <b>6</b> |
| <b>4</b> | <b>Fallrohr</b>    | <b>6</b> |

# 1 Fermi

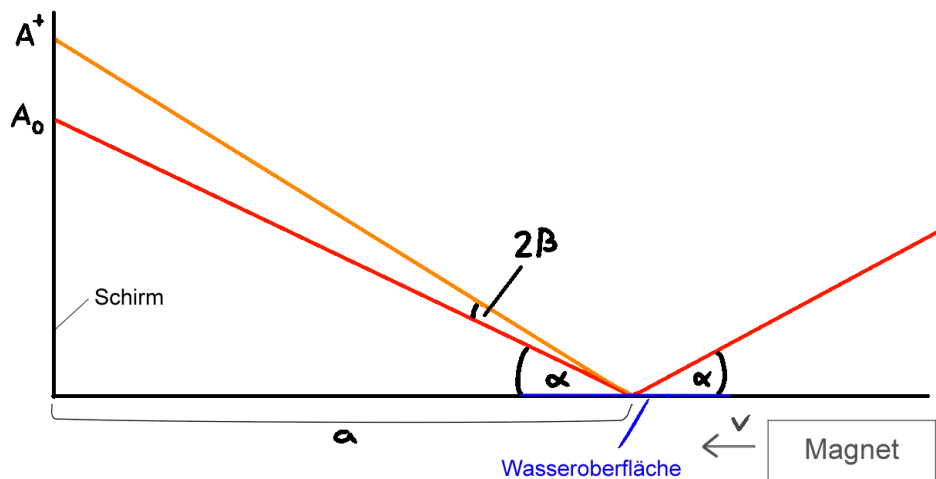


Abbildung 1: Skizze zum Versuch insgesamt

Es folgen die folgenden grundlegenden Gleichungen aus Fig. 1

$$\tan \alpha = \frac{A_0}{a} \quad (1)$$

$$\tan(\alpha + 2\beta) = \frac{A^+}{a}; \quad A^+ = A_0 + \Delta A \quad (2)$$

und aus Fig. 2

$$\tan \beta = \frac{2h}{d}. \quad (3)$$

Wobei in Fig. 2 das Wasser in die andere Richtung gekrümmt ist.

Stellt man Gl. (3) nach der gesuchten Größe  $h$  um und setzt geeignet Gl. (1) und Gl. (2) ein, so folgt:

$$\tan \beta = \frac{2h}{d} \Leftrightarrow h = \frac{d}{2} \tan \beta \quad (4)$$

$$= \frac{d}{2} \tan \left( \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{A^+}{a} \right) - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (5)$$

$$= \frac{d}{2} \tan \left( \frac{\arctan \left( \frac{A^+}{a} \right) - \arctan \left( \frac{A_0}{a} \right)}{2} \right) \quad (6)$$

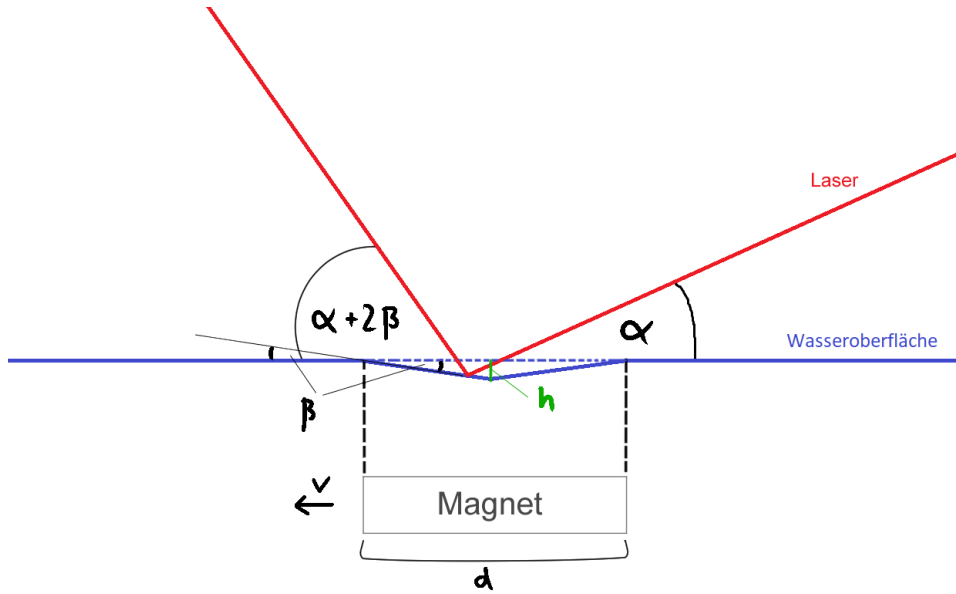


Abbildung 2: Skizze nahe beim Magneten

Mit den abgeschätzten Werten

$$a = 3.5 \text{ m}; \quad A_0 = 1.2 \text{ m}; \quad \Delta A = 3 \text{ cm}; \quad d = 1 \text{ cm} \quad (7)$$

ist  $h \approx 19 \mu\text{m}$ .

Der Magnet wird wie in Fig. 2 mit einer konstanten Geschwindigkeit nach links gezogen. Da wie in Fig. 3 zu erkennen ist der Lichtpunkt erst nach oben ausschlägt, muss auch der Laserstrahl erst auf eine wie in Fig. 2 gezeigte Steigung treffen. Dabei wird in der Fermi-Abschätzung die Steigung als etwa konstant angesehen. Damit ist klar, dass sich eine leichte Vertiefung im Wasser durch den Magneten bilden muss. Daraus folgt wiederum, dass Wasser von einem Magnetfeld abgestoßen und so Diamagnetisch ist.

Bei  $\text{MaCl}_2$  ist der Effekt umgekehrt und deutlich stärker. Dass bedeutet der Stoff bildet einen Hügel und ist damit Paramagnetisch. Die Höhe beläuft sich damit bei  $\Delta A = 0.7 \text{ m}$  auf  $h \approx 420 \mu\text{m}$ . Dadurch zeigt sich, dass paramagnetische Effekte deutlich stärker als diamagnetische sind.

## 2 Magnetwaage

Wie in Fig. 4 dargestellt, wird eine Probe in einem festen Abstand  $d \approx 1 \text{ mm}$  unter einen starken Magneten platziert und die Gewichtsänderung betrachtet. Da auch die Halterung magnetischen Effekten unterliegt, wird jeweils ein Referenzwert ohne Probe gemessen. Die Volumenssuszeptibilität ist gegeben

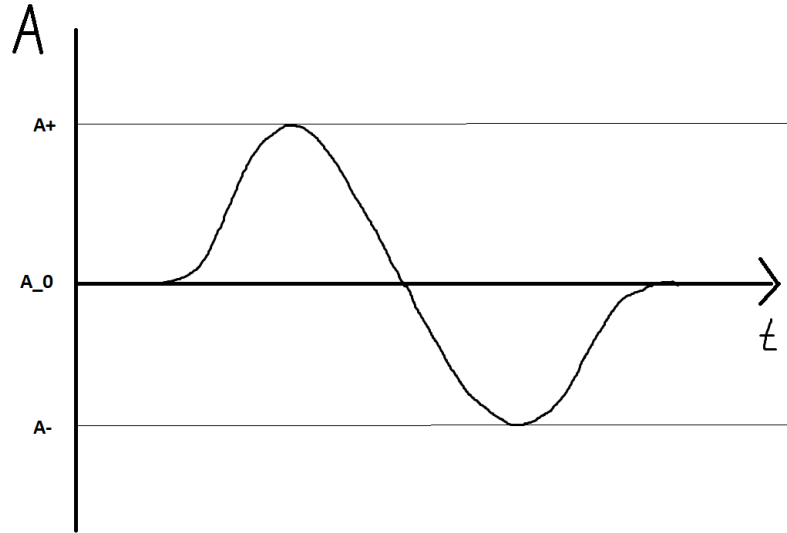


Abbildung 3: Verlauf der Position des Lichtpunktes auf dem Schirm gegen die Zeit.

durch

$$\chi_V = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta m \cdot g}{V_S \cdot \frac{\partial B_z^2}{\partial z}}, \quad (8)$$

wobei näherungsweise gilt

$$\frac{\partial B_z^2}{\partial z} \approx \frac{B_z^2(d) - B_z^2(d + h_s)}{h_s} \quad (9)$$

mit  $h_s$  ist die Höhe der Probe und  $d$  ist der Abstand der Probe zum Magneten. Gemessen Für das Magnetfeld gilt

$$B(z) = \frac{B_r}{2} \left( \frac{D + z}{\sqrt{R^2 + (D + z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (10)$$

mit spezifisch  $B_r = 1.87(10)$  T, sowie Radius  $R = 30$  mm und Dicke  $D = 15$  mm.

Rechnet man eine Formel nach der anderen aus, so bekommt man für jedes Material eine Volumenssuszeptibilität. Die Unsicherheit  $u(B_r) = 0.1$  T

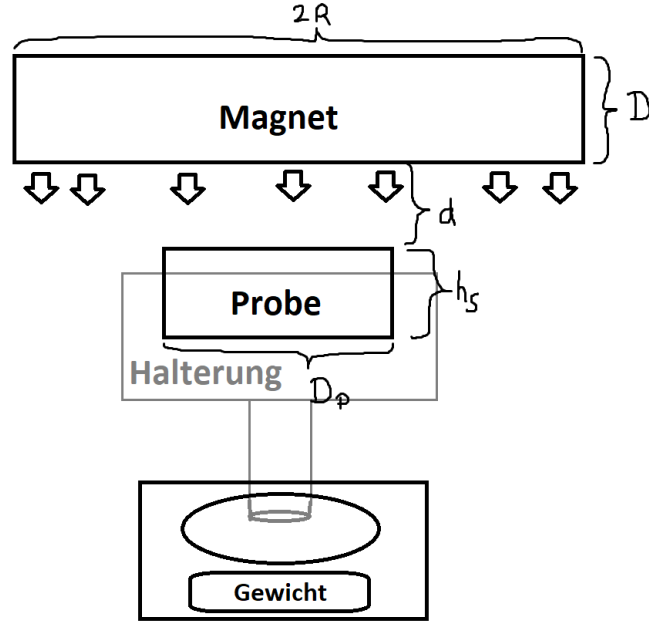


Abbildung 4: Skizze zum Fallrohr.

pflanzt sich in folgender Weise fort:

$$u(B(z)) = \frac{\partial B(z)}{\partial B_r} \cdot u(B_r) = \frac{u(B_r)}{2} \left( \frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \quad (11)$$

$$u \left( \frac{\partial B_z^2}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial B} \left[ \frac{B_z^2(d) - B_z^2(d+h_s)}{h_s} \right] \cdot u(B(z)) \quad (12)$$

$$= \frac{\partial}{\partial B} \left[ \frac{B_z^2(d)}{h_s} \right] \cdot u(B(d)) - \frac{\partial}{\partial B} \left[ \frac{B_z^2(d+h_s)}{h_s} \right] \cdot u(B(d+h_s)) \quad (13)$$

$$= \frac{2B_z(d)}{h_s} \cdot u(B(d)) - \frac{2B_z(d+h_s)}{h_s} \cdot u(B(d+h_s)) \quad (14)$$

$$u(\chi_V) = \frac{\partial}{\partial \frac{\partial B_z^2}{\partial z}} \left[ \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta m \cdot g}{V_S \cdot \frac{\partial B_z^2}{\partial z}} \right] \cdot u \left( \frac{\partial B_z^2}{\partial z} \right) \quad (15)$$

$$= - \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta m \cdot g}{V_S \cdot \left( \frac{\partial B_z^2}{\partial z} \right)^2} \cdot u \left( \frac{\partial B_z^2}{\partial z} \right) \quad (16)$$

Damit ergeben sich die Endformeln:

$$\chi_V = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta m \cdot g}{\pi r^2 \cdot \left[ \frac{B_r^2}{4} \left( \frac{D+d}{\sqrt{R^2+(D+d)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}} \right)^2 - \frac{B_r^2}{4} \left( \frac{D+d+h_s}{\sqrt{R^2+(D+d+h_s)^2}} - \frac{d+h_s}{\sqrt{R^2+(d+h_s)^2}} \right)^2 \right]}, \quad (17)$$

$$u(\chi_V) = - \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot \Delta m \cdot g}{\pi r^2 \cdot \left[ \frac{B_r^2}{4} \left( \frac{D+d}{\sqrt{R^2+(D+d)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}} \right)^2 - \frac{B_r^2}{4} \left( \frac{D+d+h_s}{\sqrt{R^2+(D+d+h_s)^2}} - \frac{d+h_s}{\sqrt{R^2+(d+h_s)^2}} \right)^2 \right]^2} \quad (18)$$

$$\cdot \left[ B_r \left( \frac{D+d}{\sqrt{R^2+(D+d)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}} \right) \cdot \frac{u(B_r)}{2} \left( \frac{D+d}{\sqrt{R^2+(D+d)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}} \right) \right] \quad (19)$$

$$- B_r \left( \frac{D+d+h_s}{\sqrt{R^2+(D+d+h_s)^2}} - \frac{d+h_s}{\sqrt{R^2+(d+h_s)^2}} \right) \cdot \frac{u(B_r)}{2} \left( \frac{D+d+h_s}{\sqrt{R^2+(D+d+h_s)^2}} - \frac{d+h_s}{\sqrt{R^2+(d+h_s)^2}} \right) \quad (20)$$

Mit den angegebenen Werten von

$$D = 15 \text{ mm}; \quad R = 30 \text{ mm}; \quad B_r = 1.87 \text{ T}; \quad u(B_r) = 0.1 \text{ T} \quad (21)$$

$$d = 1 \text{ mm}; \quad r = ?? (\text{Wert fehlt!!! Radius der Probe}) \quad (22)$$

$$V_s = h_s \cdot \pi r^2 \quad (23)$$

### 3 Schaukel

### 4 Fallrohr

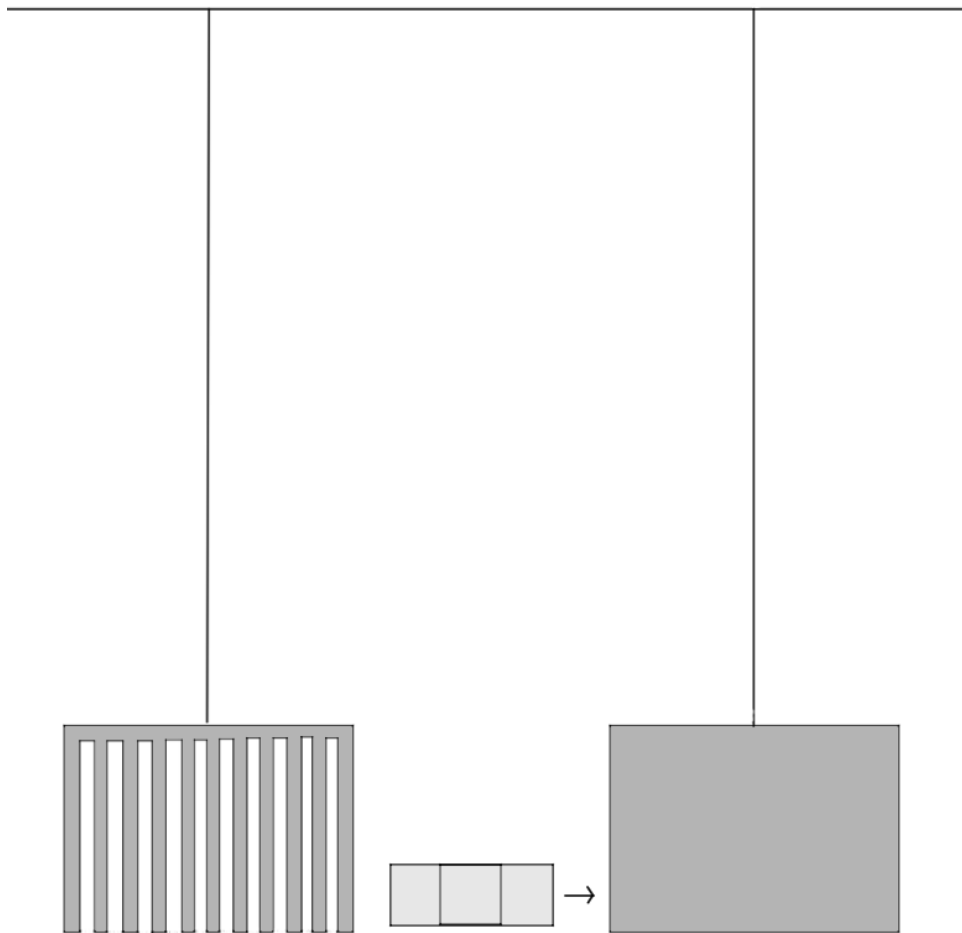


Abbildung 5: Skizze zum Fallrohr.

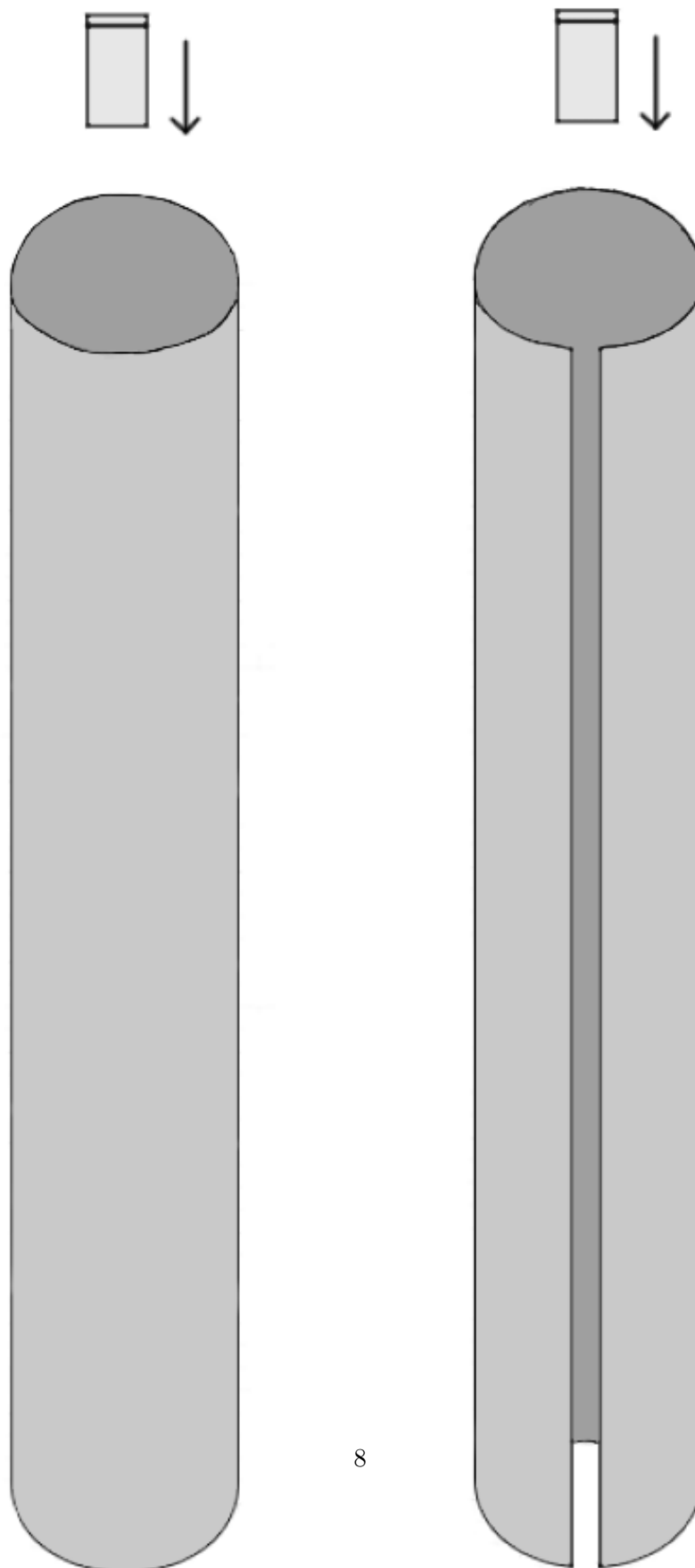


Abbildung 6: Skizze zum Fallrohr.