

## Versuch 240 : Hysterese

25.10.  
2021

Versuchsziel: In dem Versuch soll die Hysterese ferromagnetischer Materialien näher untersucht werden. Hierzu wird ein Trafoeisenkern durch zwei Spulen einem veränderbaren Magnetfeld ausgesetzt und das Magnetfeld im Eisenkern gemessen. Die Messung geschieht mithilfe einer Hallsonde. Aus der sich ergebenden Hysteresekurve können verschiedene materialspezifische Größen abgeleitet werden.

### Theorie

Durch Anlegung eines äußeren Magnetfelds können Materialien magnetisiert werden. Hierbei gilt zu unterscheiden zu:

#### - Diamagnetisch:

Durch  $\vec{B}_{\text{ext}}$  können magn. Dipole (Wirbelstr.)  $\vec{m}$  induziert werden  
 $\hookrightarrow \vec{B}_{\text{ext}}$  entgegengesetzt

#### - Paramagnetismus:

Permanente  $\vec{m}$  werden ausgerichtet

#### - Ferromagnetismus:

Permanente ausgerichtete  $\vec{m}$  (ohne  $\vec{B}_{\text{ext}}$ ,  $\vec{B}_{\text{ext}}$  richtet aus)

Bei Ferromagnetismus wird der Magnetismus oberhalb d. Curie-Temperatur aufgebrochen. Die Magnetisierung entsteht durch die Ausrichtung von Domänen im Material und ist ein Resultat v. Elektronenspin.

Bei der Betrachtung d. Eisenkerns im Experiment gilt

$$\vec{B}_{\text{Fe}} = \vec{B}_L$$

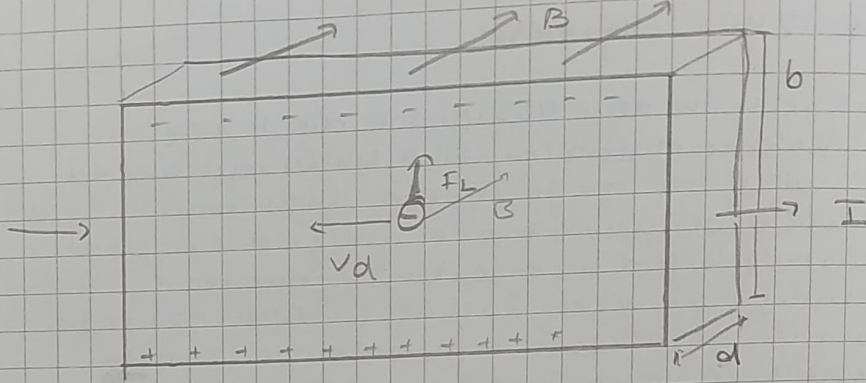
$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = H_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}} + \underbrace{H_L \cdot d}_{\text{im Loch}} = N \cdot I$$

$\hookrightarrow$  entlang einer beliebigen Kurve

$$\hookrightarrow H_{\text{Fe}} = \frac{N \cdot I}{l_{\text{Fe}}} - \frac{d}{\mu_0 \cdot l_{\text{Fe}}} B_{\text{Fe}}$$

$\downarrow$   
wird gemessen  
mit Hallsonde

Eine Hallsonde funktioniert durch die Messung der Hallspannung, die durch ein elektrisches Feld entsteht, wenn bewegte Ladungen in einem Leiter durch ein Magnetfeld auf die Ränder umgelenkt werden.



Mit  $F_L = q v_d \cdot B$

und dann bei Gleichgewicht

$$U_H = E \cdot b = v_d \cdot B \cdot b$$

Mit dem Strom

$$I = n \cdot q \cdot v_d \cdot A \quad , \quad A = b \cdot d$$

$$\hookrightarrow U_H = \frac{I B}{n q d} = A_H \frac{1}{d} \cdot B$$

↓  
Hallkonstante  $A_H = \frac{1}{n q}$

↳ Materialabhängig

### Durchführung

240.6

Mithilfe eines CASSY-Systems wird das Magnetfeld in einem Eisenkern und der angelegte Strom in den beiden Spulen vermessen. Da es sich um zu viele Datenpunkte handelt, sind die Daten hier nicht noch einmal eingetippt.

Als Fehler wählen wir

$$I \pm 1\%$$

$$B \pm 1\%$$

Es ergibt sich eine Hysteresekurve mit Nullkurve, da Strom wird zwischen durch umgepolt.



## Auswertung

240.c

Es ist  $H$  aus  $B$  und  $I$  zu berechnen.

Dafür gilt

$$H_{fe} = \frac{N \cdot I}{l_{fe}} - \frac{\alpha}{\mu_0 \cdot l_{fe}} \cdot B_{fe}$$

$$N = 500$$

$$l_{fe} = 477 \pm 4 \text{ mm} \approx 0.477 \text{ m} \pm 0.004 \text{ m}$$

$$\alpha = 0.2 \text{ mm} \approx 0.0002 \text{ m}$$

Der Fehler ist hierbei

$$\begin{aligned} \Delta H &= \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial l_{fe}} \cdot \Delta l_{fe}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial I} \cdot \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial B} \cdot \Delta B\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{N}{l_{fe}} \cdot \Delta I\right)^2 + \left(\left(-\frac{N \cdot I}{l_{fe}^2} + \frac{\alpha}{\mu_0 \cdot l_{fe}^2} \cdot B_{fe}\right) \cdot \Delta l_{fe}\right)^2} \\ &\quad + \left(\frac{\alpha}{\mu_0 \cdot l_{fe}} \cdot \Delta B\right)^2 \end{aligned}$$

Nun soll das berechnete  $H$  gegen  $B$  aufgetragen werden.

Es ergeben sich die folgenden Hysteresekurven (s. nächste Seite).

Hieraus soll jeweils  $\mu_A$  und  $\mu_{max}$  grafisch bestimmt werden.

Es ergeben sich

- für  $\mu_A$  eine Gerade m. Steigung

$$1 \text{ mT}^{-1} = \frac{0.375 \text{ H}}{3000 \text{ A/m}} = 0.000125 \frac{\text{H}}{\text{A/m}} = \mu_A$$

mit Ablesefehler

$$0.375 \pm 0.01 \text{ T}, \quad 3000 \pm 1 \text{ A/m}$$

$$\begin{aligned} \Delta \mu_A &= \sqrt{\left(\frac{0.01 \text{ T}}{3000 \text{ A/m}}\right)^2 + \left(\frac{0.375 \text{ T}}{(3000 \text{ A/m})^2} \cdot 1 \text{ A/m}\right)^2} \\ &= 0.0000033 \text{ T/m} \end{aligned}$$

und für  $\mu_{\max}$

$$|\mu_2|^{-1} = \frac{0.35}{1000} \text{ T} = 0.00035 \text{ T/m} = \mu_{\max}$$

Mit Ablesfehlern

$$0.35 \pm 0.05 \text{ T}$$

$$1000 \text{ A/m} \pm 1 \text{ A/m}$$

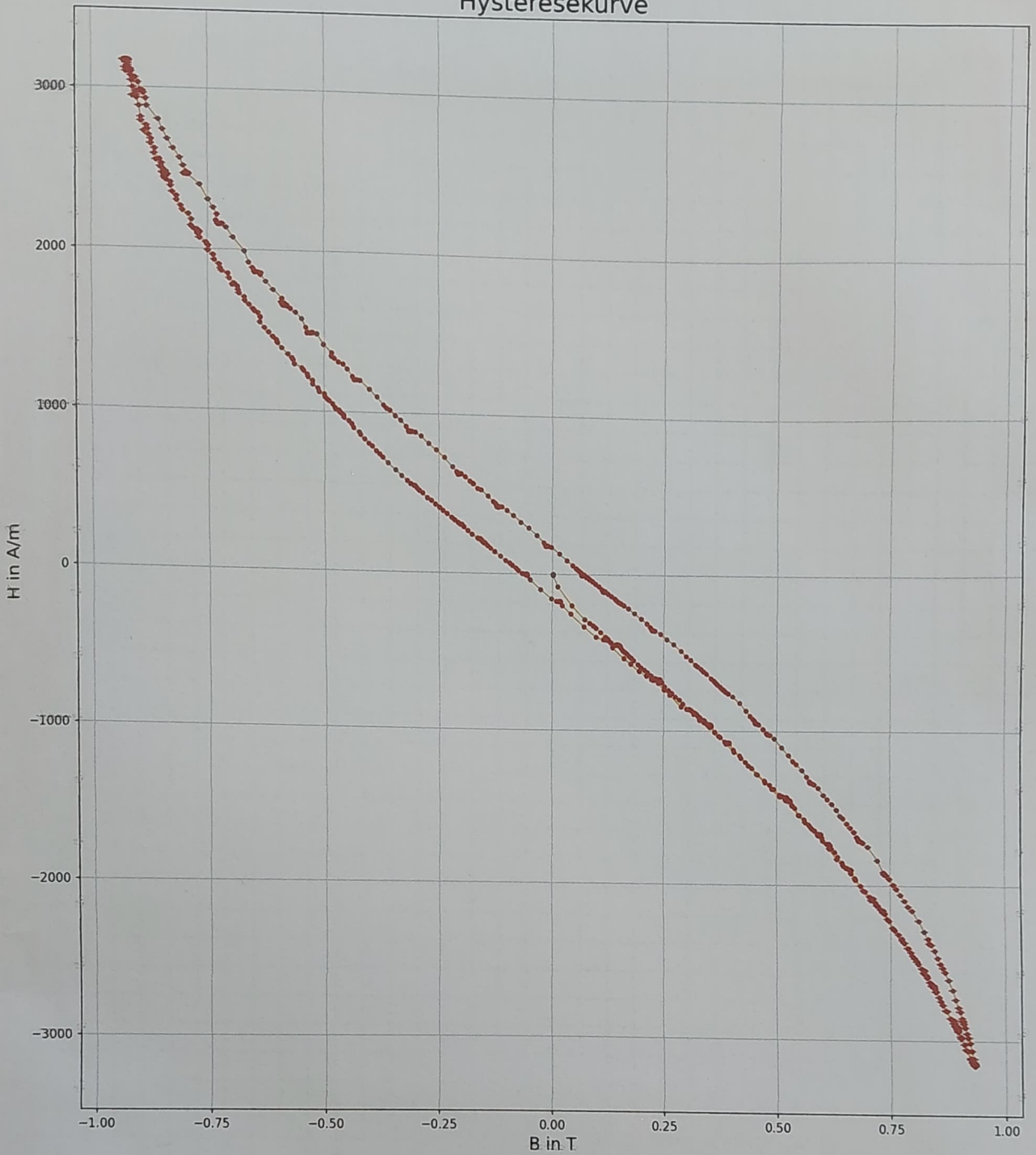
$$\Delta \mu_{\max} = \sqrt{\left(\frac{0.05 \text{ T}}{1000 \text{ A/m}}\right)^2 + \left(\frac{0.35 \text{ T}}{(1000 \text{ A/m})^2} \cdot 1 \text{ A/m}\right)^2}$$
$$= 0.00005 \text{ T/m}$$

Wie auf den Graphen zu erkennen, ist die Nullkurve nicht ganz so gut zu erkennen, deshalb ist davon auszugehen, dass diese Werte recht ungenau sind.

Generell ist die Form der Hysteresekurve jedoch klar zu erkennen und weist eine große Symmetrie auf. Insgesamt würde ich die Messung als erfolgreich bewerten.



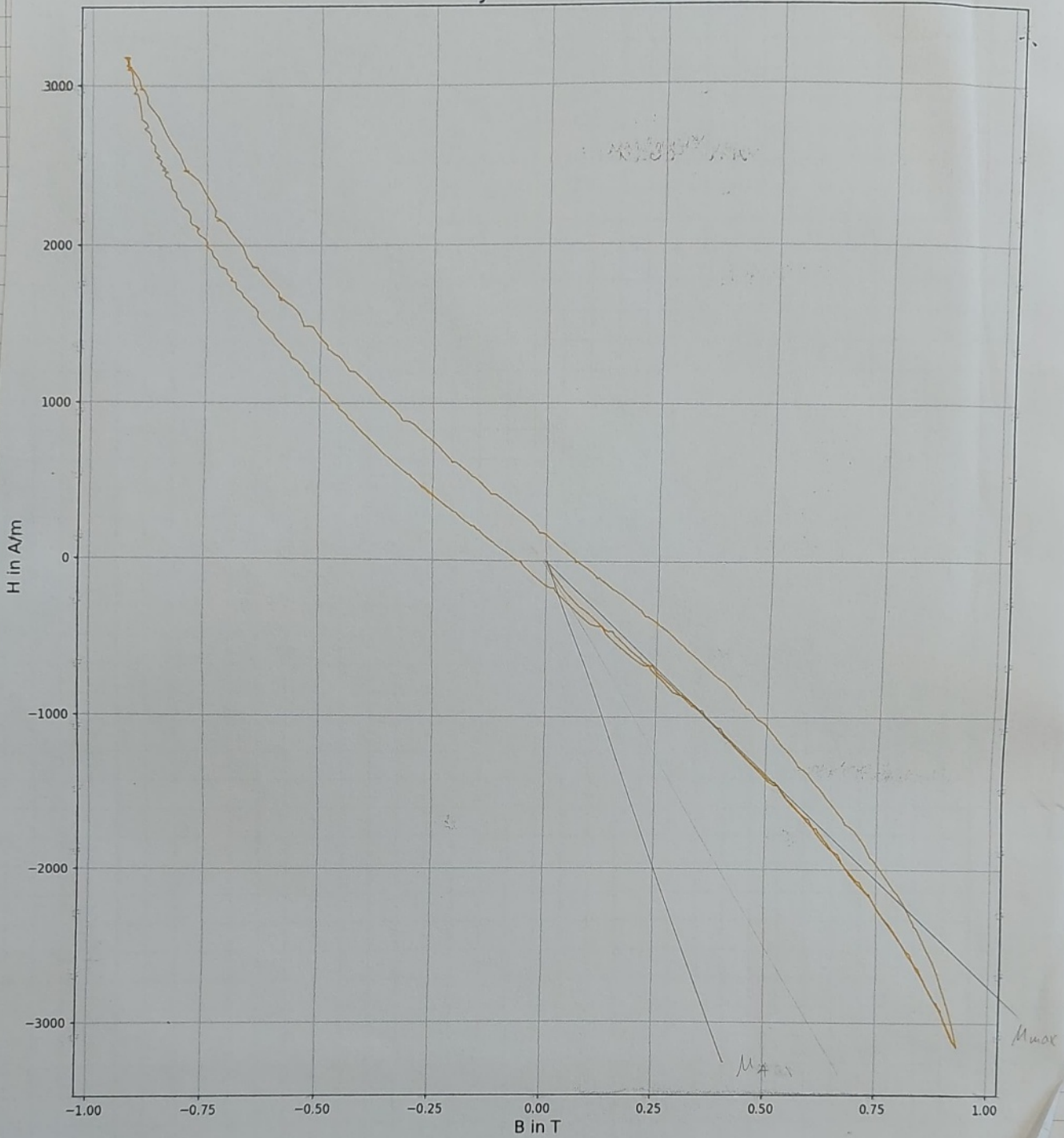
Hysteresekurve



mit Pfeilen

( ) nächste Seite nun ansehen

# Hysteresekurve



ohne Fluss nur ablesen

OK

