

Versuch 240 - Hysterese der Magnetisierung von Eisen

05.11.20

Versuch 240 dient zur Untersuchung von ferromagnetischen Stoffen (in unserem Fall Eisen) innerhalb einer ~~Strom~~ Stromdurchflossenen Spule. Es geht dabei explizit um die magnetische Feldstärke \vec{H} , auch als magn. Erregung bezeichnet, sowie die Bestimmung von μ_A (Anfangspermeabilität) und μ_{max} (maximale Permeabilität) anhand der gemessenen Hysteresekurve.

Ergibt:

$$\left. \begin{aligned} \vec{B}_{Fe} &= \vec{B}_L = \mu_0 H_L \\ \oint_C \vec{H} d\vec{s} &= H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_L \cdot d = N \cdot I \end{aligned} \right\} \Rightarrow H_{Fe} = \frac{N \cdot I}{l_{Fe}} - \frac{d}{\mu_0 l_{Fe}} \cdot B_{Fe}$$

mit: \vec{B}_{Fe}, \vec{B}_L = Magnetische Flussdichte im Eisen, bzw. im Luftspalt

\vec{H}_{Fe}, \vec{H}_L = Magnetische Erregung " " " " "

l_F = Weg durch die Mitte des Eisenkerns & des Luftspalters

N = Anzahl Windungen, I = Strom; d = Dicke des Luftspalts

Zur Messung des \vec{B} -Feldes wird eine Hallsonde verwendet.

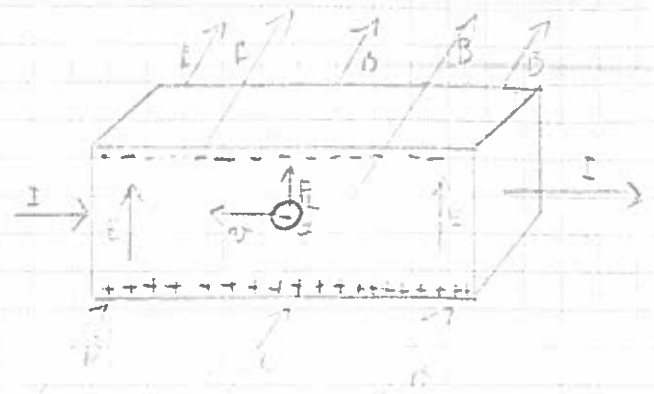
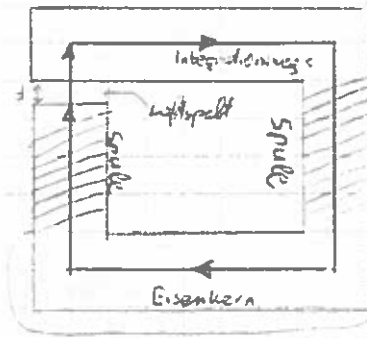
Diese ordnet eine Spannung (Hall-sp.) ein \vec{B} -Feld zu. Die Hallspannung kommt zustande durch die Ablenkung von Ladungsträgern durch die Lorentz-Kraft (Ursache: \vec{B} -Feld) solange, bis ein Gleichgewicht entstanden ist mit der Coulomb-Kraft. ($F_L = q \cdot v \cdot B$; $F_C = E \cdot b$)

Diese Spannung steht in Verhältnis zum äußeren \vec{B} -Feld.

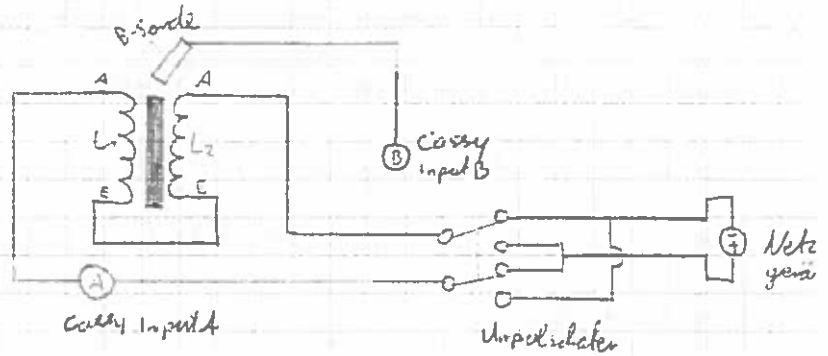
Bei der Versuchsdurchführung wird B im Luftspalt (siehe Skizze) als Funktion von I gemessen und daraus folgt ein Wert für

H_{Fe} . Aus dem Diagramm \vec{B} gegen \vec{H}_{Fe} lässt sich dann μ_A , sowie μ_{max} bestimmen.

Skizze



Schaltbild:

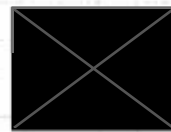


Versuch:

Nr.	Anfangswert (mT)	Nr.	Anfangswert (mT)
1	1	5	1
2	1		
3	0		
4	0		

gewählte Kurve

Aufgrund der großen Menge an Messdaten, die per Computer aufgenommen wurden, wird hier auf eine handgezeichnete Miniaturabbildung verzichtet.



Die Magnetische Erregung im Eisen lässt sich daraufhin berechnen zu:

$$H_{Fe} = \frac{NI}{l_{Fe}} - \frac{d}{\mu_0 l_{Fe}} \cdot B_{Fe}$$

Der Fehler auf H_{Fe} lässt sich mithilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ausrechnen:

$$\Delta H_{Fe} = \sqrt{\left(-\frac{NI}{l_{Fe}^2} + \frac{d}{\mu_0 l_{Fe}^2} \cdot B_{Fe}\right)^2 \Delta l_{Fe}^2 + \left(\frac{B_{Fe}}{\mu_0 l_{Fe}}\right)^2 \Delta d^2 + \left(\frac{d}{\mu_0 l_{Fe}}\right)^2 \Delta B_{Fe}^2}$$

mit: $N = 1000$

$$l_{Fe} = (0,477 \pm 0,004) \text{ m}$$

$$d = (0,0020 \pm 0,0005) \text{ m}$$

$$\Delta B = 0,03 \text{ B (3\% Abweichung)}$$

Im Folgenden berechnen sich μ_A (Steigung der Nullkurve im Nullpunkt) und μ_{max} (Steigung der Tangente vom Nullpunkt an die Nullkurve) zu:

$$\mu_A = \frac{m_{\mu_A}}{\mu_0} \quad \text{und} \quad \mu_{max} = \frac{m_{\mu_{max}}}{\mu_0}$$

Zur Berechnung von m benötigen wir neben dem Nullpunkt den Punkt, wo die Tangente anliegt. Abgelesen aus dem Graphen ergibt sich:

$$P_{\mu_A} = (107,214; 0,015) \quad P_{\mu_{max}} = (1075,32; 0,493275)$$

Der Fehler auf m kommt zustande über die Fehler auf B , sowie die Fehler auf H (ΔB & ΔH). In unserem Fall abgelesen auf $\Delta m = ~~10^{-3}~~ = 10^{-3} \text{ T}$

Daraus folgt:

$$\mu_A = 111,33 \pm 79,6$$

$$\mu_{\max} = 386,41 \pm 79,6$$

Fazit:

Ein Vergleich mit Literaturwerten stellte sich als schwierig heraus. Man findet lediglich Richtwerte. So z.B. unter www.puronmetals.com Anfangspermeabilität 300-500, sowie maximale Permeabilität 2.000-20.000. (Zugriff: 11.11.2020), allerdings handelt es sich auf dieser Seite um reines Eisen. Auf www.lernhelfer.de findet man eine Permeabilitätszahl für Eisen von 250 bis 680 (Zugriff: 11.11.2020). Sollten wir diesen Wert nehmen, so passt unser μ_{\max} sehr gut hinein, allerdings ist der Wert extrem von der Reinheit und/oder der Legierung abhängig.

Korrektur

Zur Bestimmung der Tangenten wurde diesmal neben dem gewählten Punkt noch weitere Punkte, die auf die Tangente passen, mit eingezeichnet. Es ergibt sich nun für die Steigung der Tangente für die maximale Permeabilität $m_{\max} = 0,0005206 \pm 0,0000708$ und für die Anfangspermeabilität $m_A = 0,0001469 \pm 0,0000017$, (Beide in der Einheit $\frac{B}{H} =$

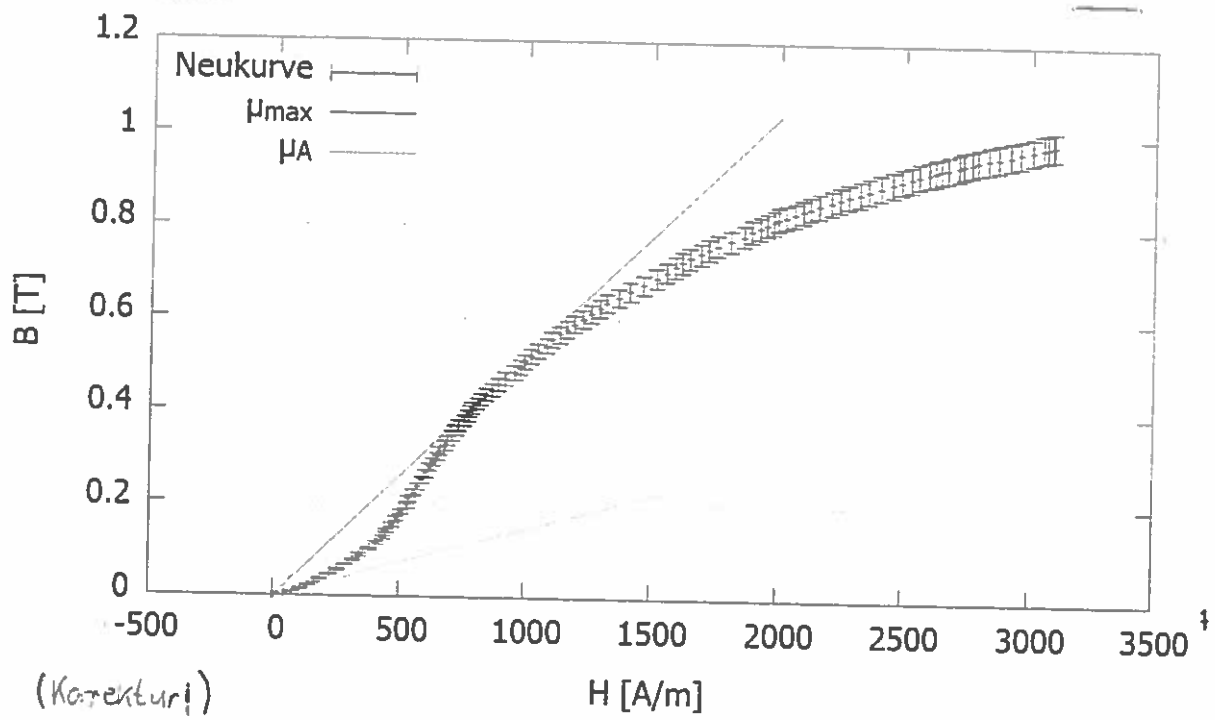
$$\Rightarrow m_{\max} = (0,0005206 \pm 0,0000708) \frac{Vs}{Am} \hat{=} (414,28 \pm 56,34) \cdot \mu_0$$

$$m_A = (0,0001469 \pm 0,0000017) \frac{Vs}{Am} \hat{=} (116,9 \pm 1,35) \cdot \mu_0$$

Fazit:

Diese Werte sind den zuvor (siehe oben) ermittelten Werten sehr ähnlich. Mein Fazit ist dementsprechend ^{stark}. Die Permeabilitätszahl ist stark abhängig von der Reinheit/Legierung und somit findet man als Vergleichswert nur sehr grobe Spannen in die unsere Werte zumindest von der Größenordnung her passen.

Neukurve



nystureskurve

