

8. Die Hysteresis-Kurve

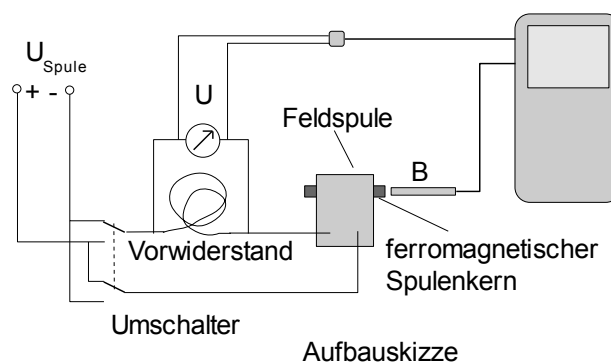
Ferromagnetisches Material verstärkt das Magnetfeld H einer Spule, allerdings nur bis zu einem gewissen Grade. Verstärkt man H immer weiter, indem man die Stromstärke erhöht, so wächst die Flussdichte $B = \mu_0 \mu_r H$ in immer geringerem Maße, bis sie sich asymptotisch an eine Gerade anschmiegt. Diese verläuft parallel zu einer Geraden, die sich ohne ferromagnetisches Material ergeben hätte. Schaltet man den Strom ab, so verbleibt ein gewisser Restmagnetismus im Material, die Remanenz. Polt man nun den Strom um, so muss erst diese Remanenz neutralisiert werden, bevor sich die Magnetisierung in der umgekehrten Richtung aufbaut. Beim Abschalten erhält man wieder eine Remanenz, nur diesmal mit vertauschten Magnetpolen.

Trägt man den Spulenstrom I stellvertretend für die Magnetfeldstärke H gegen die Flussdichte B auf, so erhält man die typische Hysteresis-Kurve. Bei der Durchführung des Versuches sollte man darauf achten, dass man eine Spule verwendet, die eine große Stromstärke bei gleichzeitig hoher Windungszahl zulässt, da sich die Feldstärke einer (langen) Spule berechnet als $H = \frac{n \cdot I}{l}$. Da sich Stromstärken jenseits von 10 A mit einem

Vernier-Sensor nicht mehr messen lassen, benötigt man einen Vorwiderstand, z. B. ein 4 m langes Experimentierkabel. Der Spannungsabfall an dieser Zuleitung wird mit einem ganz normalen Spannungssensor gemessen und als Ersatzgröße für H verwendet.

Ferromagnetische Stoffe können recht hohe Flussdichten erzeugen, die vom Magnetfeldsensor ($B < 6,4 \text{ mT}$) nicht mehr gemessen werden können, ohne ihn zu zerstören. Der Sensor muss deshalb in einem gewissen Abstand vor dem Spulenkern befestigt werden, den man experimentell vor dem eigentlichen Versuch ermitteln muss. Vor der eigentlichen Messung muss ferner der Nullpunkt des Magnetfeldsensors eingestellt werden. Die Messzeit sollte großzügig gewählt werden, damit man genügend Zeit für einen kompletten Durchlauf hat.

Aufbau:



Stromquelle (geregeltes Gleichstrom-Netzgerät, mindestens 10 A)

Voltmeter zur Kontrolle (Messbereich 3 V)

optional: 2-poliger Umpol-Schalter

Spule z. B. aus Aufbau-Material (etwa $n = 750$ $R_l = 3 \Omega$)

dazu passender Vorwiderstand (s.o.)

verschiedene ferromagnetische Stoffe als Spulenkern

Spannungssensor (Eingang 1)

Magnetfeldsensor (Eingang 2)

Durchführung:*Einstellungen:*

Messrate: 15 Messungen pro Sekunde
Messdauer: 30 s

Durchführung:

Spule leicht kippen, sodass die ferromagnetischen Stoffe in einer Ecke liegen und dadurch nicht verrutschen können.

Magnetfeldsensor in einigem Abstand zum Spulenkern anordnen, damit während des Versuches die maximale Flussdichte von 6,4 mT nicht überschritten wird.

Netzgerät einschalten.

Strom langsam bis zum Maximalwert hochregeln und wieder herunterregeln.

Die Anschlusskabel vertauschen bzw. mit dem Schalter umpolen.

Strom wieder bis zum Maximalwert hochregeln und wieder herunterregeln.

Die Messung stoppen.

Auswertung:

Abhängig vom ferromagnetischen Stoff erhält man verschiedene Kurven:

1. Bei den Bildern 8.1 bis 8.3 wurde als ferromagnetisches Material ein mit Eisenfeilspänen gefülltes Reagenzglas verwendet. Die Sättigung wird hier nur ansatzweise erreicht.
2. Die breite Form der Hysterese erlaubt die Darstellung der sogenannten „jungfräulichen“ Kurve. Dazu muss die Magnetisierung zunächst gelöscht werden. Man baut vorsichtig ein Gegenfeld auf und kontrolliert den Magnetfeldsensor, bis $B \approx 0$ mT ist. Beginnt man nun mit der Messung wie oben beschrieben, indem man den Strom von 0 A aus hochregelt, so fängt auch die Kurve am Nullpunkt an, bevor sich im weiteren Verlauf des Versuches wieder die übliche Darstellung ergibt (Bilder 8.2 und 8.3).
3. Bei den Bildern 8.4 und 8.5 wurde ein Bündel kurzer Fahrradspeichen als Spulenfüllung verwendet. Die an der Hochachse abgetragenen Werte für B können untereinander nicht verglichen werden, da der Abstand des Magnetfeldsensors zum Spulenkern nicht gleich war. In Bild 8.4 ist der Übergang in die Sättigung gut zu erkennen und die Ausschnittsvergrößerung Bild 8.5 zeigt deutlich die Remanenzpunkte und ihre symmetrische Lage zum Nullpunkt. Ihre Markierungen entstanden während der Messung durch das Umpolen an der Stromquelle.

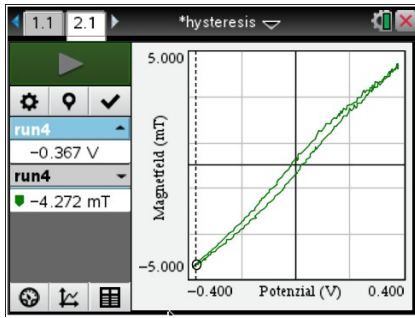


Bild 8.1

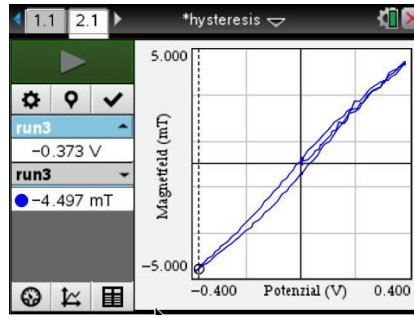


Bild 8.2

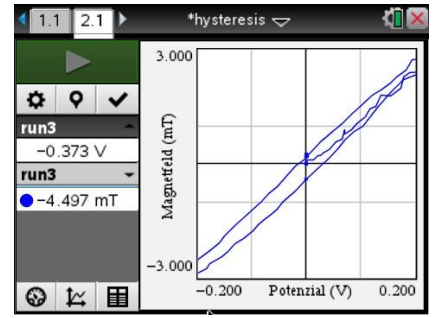


Bild 8.3

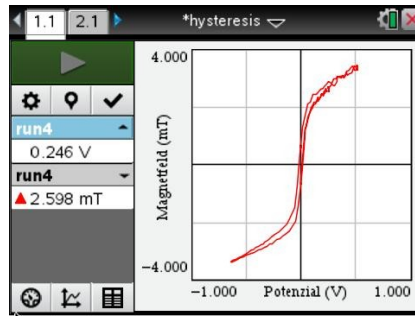


Bild 8.4

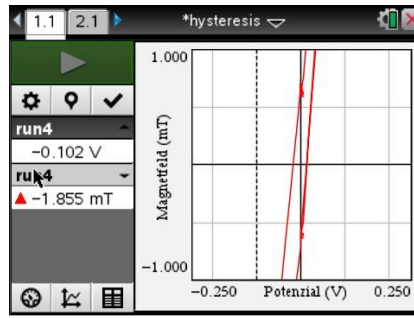


Bild 8.5