

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

V. Havel

Ein elektronisches Fluxmeter und sein Einsatz im Physikunterricht

1 Vorbemerkung

Die Entwicklung neuer Meßmethoden für Demonstrationszwecke ist u. a. eine Aufgabe der Physikdidaktik. Hierzu sollen im Folgenden einige Ideen vorgestellt werden, die ein neues Verfahren zur Messung des magnetischen Flusses betreffen. Sie sollen Anregungen für eigene Entwicklungen auf diesem oder ähnlichem Gebiet geben.

2 Elektronisches Fluxmeter

Das Magnetfeld bzw. der magnetische Fluß Φ wird häufig über den Spannungsstoß Q_U , der proportional zu B bzw. Φ ist, bestimmt:

$$Q_U = \int_0^{\tau} U(t) dt \quad (1)$$

Früher benützte man zu Bildung des Integrals ballistische Galvanometer im Kriechfall oder Fluxmeter. Das Funktionsprinzip des Fluxmeters beruhte auf der sehr großen induktiven Dämpfung eines Galvanometers bei geringem Außenwiderstand. Auch wenn die Fluxmeter bei Magnetfeldmessungen - historisch gesehen - eine bedeutende Rolle gespielt haben, haben sie doch eine ganze Reihe von Nachteilen. Sie wurden daher mit der Entwicklung der Elektronik von moderneren elektronischen Geräten verdrängt. Insbesondere spielen hier Hall-Sonden eine herausragende Rolle. Es gibt jedoch Anwendungsbereiche – vor allem bei ferromagnetischen Stoffen – wo es notwendig ist, die früher verwendeten ballistischen Galvanometer und Fluxmeter durch adäquate elektronische Geräte zu ersetzen, die ebenfalls den Spannungsstoß Q_U , messen und nicht die Nachteile der oben angeführten Geräte besitzen. Das vom Autor dieses Artikels vorgeschlagene Gerät erfüllt die wichtigsten Anforderungen an ein Demonstrationsgerät für den Physikunterricht an Schulen.

Bei der Messung des Spannungsimpulses ist zu beachten, daß die Eingangsspannung beide Polaritäten haben kann. In Abb.1 wird der zeitliche Verlauf eines solchen Stoßes veranschaulicht.

Im Zeitintervall $\langle t_1, t_2 \rangle$ ist die Spannung positiv, im Intervall $\langle t_2, t_3 \rangle$ ist sie negativ. Der Grundgedanke des elektronischen Fluxmeters beruht auf der Verwendung eines Spannungs-Frequenz-Wandlers und eines Vorwärts-Rückwärts-Zählers. Das Funktionsprinzip des Gerätes wird aus dem Blockschema in Abb.2 leicht verständlich. Die Spannung $U(t)$ wird an einen linearen, nichtinvertierenden Verstärker mit einer einstellbaren Verstärkung angelegt. Am Ausgang

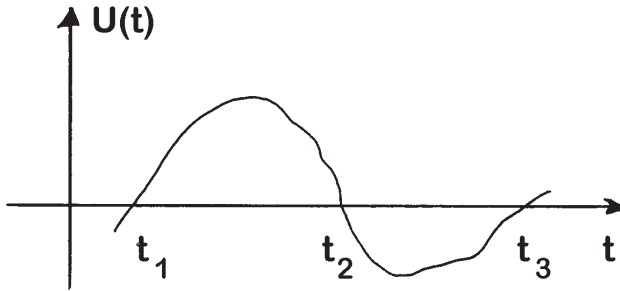


Abb.1: typischer Verlauf eines Spannungsstoßes bei einem Induktionsversuch, wie er bei Fluxmetern zu verarbeiten ist.

des Verstärkers teilt sich das Signal und gelangt einerseits zu einem Absolutwert-Geber, andererseits zu einem Komparator. Am Ausgang des Komparators erscheint die logische Eins (H), wenn $U(t) > 0$, und die logische Null (L), wenn die Eingangsspannung negativ ist.

Durch das Komparatorsignal wird der Zähler bei logisch H auf Vorwärts- und bei logisch 0 auf Rückwärts-Zählen eingestellt. Der Absolutwert-Geber bildet

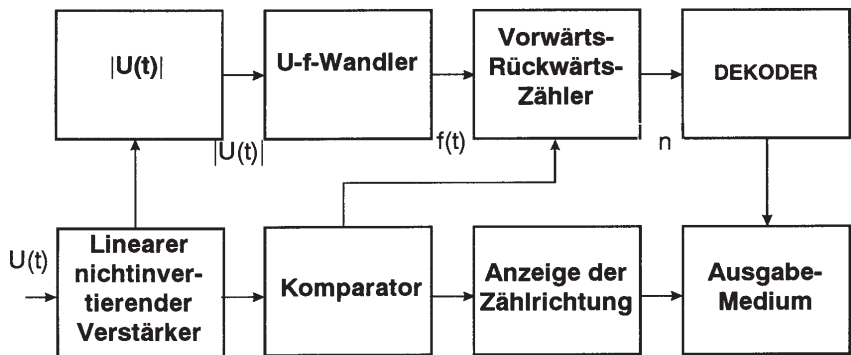


Abb.2: Blockschema des elektronischen Fluxmeters

den Betrag von $U(t)$. Der nachfolgende Spannungs-Frequenz-Wandler wandelt die Spannung in eine Folge von Rechteckimpulsen der Frequenz

$$f(t) = k \cdot |U(t)|, \tag{2}$$

wobei k der sogenannte Wandlungsfaktor ist. Der Wert von k sollte mindestens $1000 /Vs$ betragen.

Vom Wandler gelangt das Signal zum Zähler, der das Ergebnis der Integration in Form einer Zahl anzeigt:

$$n = k \cdot \int_{t_1}^{t_2} |U(t)| dt - k \cdot \int_{t_2}^{t_3} |U(t)| dt \quad (3)$$

Die Ausgabe des Zählers erfolgt im BCD-Code und muß passend zum jeweils benutzten Display dekodiert werden. Neben der Zahl wird auch die Polarität des integrierten Signals angezeigt.

Das als Blockschaltbild in Abb. 2 gezeigte Gerät kann aus Operationsverstärkern und TTL-Logikbausteinen zusammenbaut werden [4].

Das Gerät zeichnet sich durch eine große Empfindlichkeit, eine große zeitliche Stabilität und vernachlässigbarem Offset aus. Der Meßwert bleibt angezeigt bis ein neuer Spannungsstoß auf den Eingang gegeben wird.

Zur Demonstration der Brauchbarkeit des Gerätes wird die Messung der magnetischen Fußdichte B längs der Achse eines Stabmagneten vorgestellt. Dazu verwenden wir einen zylinderförmigen Magnet aus einer Alnico-Legierung mit dem Durchmesser $2a = 2,2$ cm und einer Länge von $2L = 12,3$ cm. Das Verhältnis $p = L/a$ beträgt $5,59$, ξ steht für x/L . Der Magnet steckt in einer Induktionsspule (siehe Abb. 3). Zur Messung von $B(x)$ wird von der Stelle x aus die Spule abgezogen und der entstehende Spannungsstoß zum elektronischen Fluxmeter geleitet, das den Wert für $B(x)$ anzeigt.

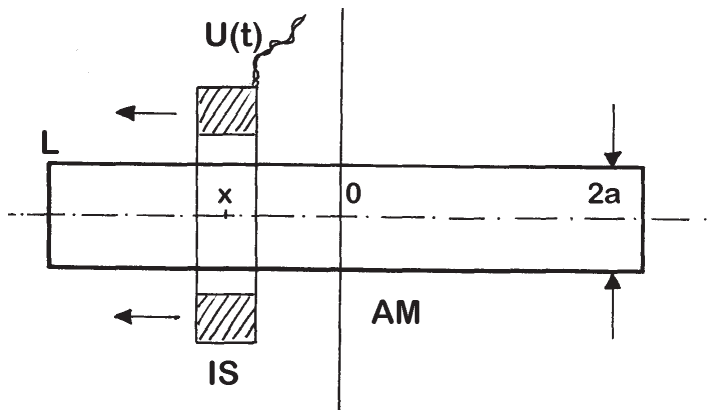


Abb.3: Schematische Darstellung der Messung von $B(x)$ bei einem Alnico-Magneten (AM) mit Hilfe einer Induktionsspule (IS) und anschließender Auswertung des Spannungsstoßes Q_U mit Hilfe des elektronischen Fluxmeters. Der Ort x wird von der Mitte des Magneten aus gezählt ($2a=2\text{cm}$, $2L=12,3\text{cm}$)

x/mm : 0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55

B(x)/B(0): 1 1 0,99 0,97 0,94 0,90 0,87 0,82 0,74 0,67 0,57 0,47

Tabelle 1: Messung von B längs der Achse eines Stabmagneten

Mit Hilfe eines Computerprogrammes wurden die gemessenen Ergebnisse mit den theoretisch erwarteten Werten verglichen (s. Abb. 4). Die theoretischen Berechnungen wurden für zwei Näherungen (Kurve a) und b)) für die Magnetisierung M längs der Achse des Stabmagneten (nach [3], S. 74) durchgeführt, wobei M(0) die Magnetisierung in der Stabmitte bedeutet:

$$M(\xi) = \text{konst.} \quad (\text{Kurve a})$$

$$M(\xi) = M(0) \left[1 - \left(\frac{\xi}{p} \right)^2 \right] \quad (\text{Kurve b})$$

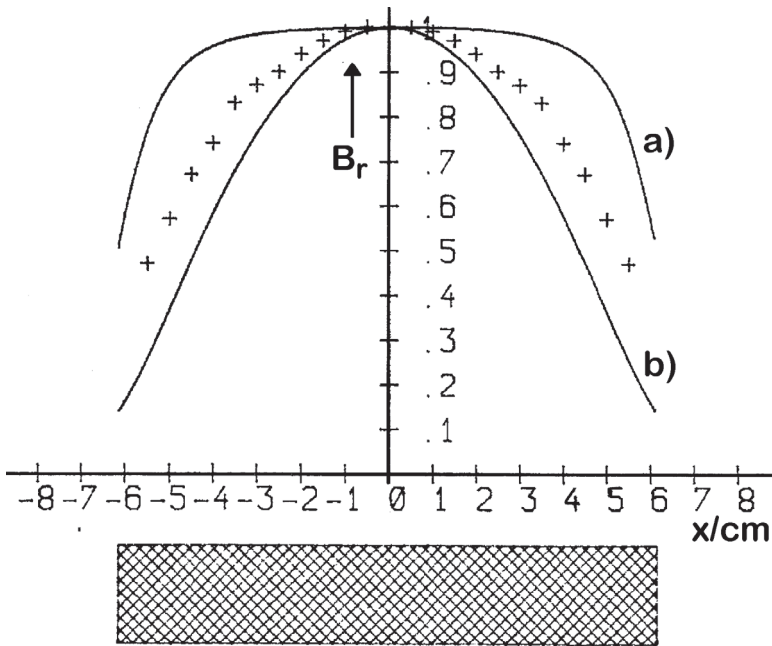


Abb. 4: Vergleich der Meßwerte (+) mit zwei theoretischen Näherungen a) und b), ($B_r = B(x)/B(0)$)

Die gemessenen Werte, die durch Kreuze dargestellt werden, liegen zwischen diesen Kurven. Im unteren Teil des Bildes ist ein Schnitt durch den Magneten in demselben Maßstab wie auf der horizontalen Achse des Graphen dargestellt (Abb.4).

Abschließend kann bemerkt werden, daß nach unserer Erfahrung das vorgeschlagene elektronische Fluxmeter im Unterricht gut geeignet ist, Meßaufgaben im Bereich des Magnetismus durchzuführen. Außerdem kann es eine wertvolle Anregung für den Selbstbau z.B. im Rahmen von Facharbeiten sein [4].

3 Literatur

- [1] Broz, J.: Základy magnetických měření, NĚSAV, Praha 1953
- [2] Dufek, M., Hrabák, J., Trnka, Z.: Magnetická měření, SNTL, Praha 1964
- [3] Sommerfeld, A.: Elektrodynamik, z.B. Harri Deutsch Verlag Frankfurt, Nachdruck 1977
- [4] Hinweis: Die an einem Nachbau Interessierten können weitere Informationen wie Schaltpläne, Typenauswahl und Tips zum Aufbau vom Autor beziehen.