

Ein Magnetfeldmeßgerät für den Schulversuch

Wolfgang Grabmer und Heinz Krenn

Mancher Physiklehrer, der über eine eher mangelhaft ausgestattete Sammlung im Physik-Kustodiat der Schule verfügt, würde seinen Unterricht gerne mit einer größeren Anzahl an anschaulichen Experimenten bereichern. In der Regel fehlen jedoch die nötigen finanziellen Mittel für die experimentellen Ausstattungen, wie sie von Lehrmittelfirmen bezogen werden können. So ist der Lehrer auf eigene Ideen – Stichworte "Freihandversuche", "Physik auf dem Küchentisch" – angewiesen, wenn es ihm ein Anliegen ist, Physik nicht nur mit Kreide und Overhead-Folien zu unterrichten. Eine am Institut für Halbleiterphysik der Universität Linz angefertigte Lehramtsdiplomarbeit hatte den Aufbau eines einfach herzustellenden, jedoch hochempfindlichen Magnetometers zur Aufgabe. Die Arbeit sollte jenem Lehrer eine Hilfestellung sein, der mit einem geringen Budget ansprechende und interessante physikalische Versuche durchführen will.

Das Herzstück des Magnetometers besteht einerseits aus einem Kernmaterial mit magnetischer Hystereseeigenschaft und verwendet andererseits eine geeignete Elektronik zur Bestimmung des den Kern magnetisierenden Magnetfeldes. Das Prinzip der Magnetfeldsonde wurde vom deutschen Physiker Friedrich Förster erfunden, dem zu Ehren sie auch *Förstersonde* genannt wurde. Er hatte entdeckt, daß die Magnetisierungsschleife bestimmter weichmagnetischer Materialien nicht streng symmetrisch am Oszillogramm ausgebildet waren. Zunächst führte er diesen Effekt auf eine unsymmetrische Verstärkung zurück, erkannte aber schließlich, daß der wahre Grund im Einfluß des Erdmagnetfeldes lag. Diese Erkenntnis führte zur Entwicklung hochempfindlicher *Flux-Gate-Magnetometer*.

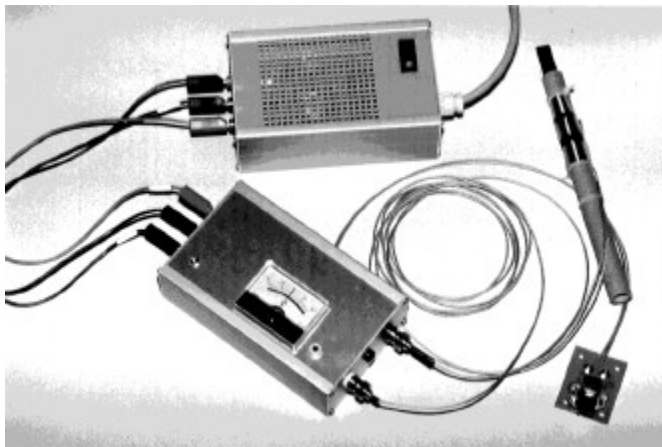


Abb. 1: Der gesamte Versuchsaufbau des Magnetometers.
Oben: Netzgerät, unten links: Magnetometerelektronik mit Anzeige,
unten rechts: Stab- und Ringkernsonde.

Eine einfache Variante dieses Meßprinzips, wie es auch für den Physikunterricht aufbereitet werden kann, wird hier vorgestellt.

Mag. Wolfgang Grabmer, Doz. Dr. Heinz Krenn,
Institut für Halbleiterphysik, Universität Linz, 4040 Linz-Auhof

Experimente mit dem Magnetometer

Mit dem im Rahmen der Diplomarbeit konstruierten Magnetometer kann eine Meßgenauigkeit von 30 nT erreicht werden. Das entspricht ca. 1/1000 des Erdmagnetfeldes, das zugleich auch den maximalen Meßbereich darstellt. Damit ergeben sich auch weitere Möglichkeiten für die experimentelle Verwendung des Magnetometers.

Am interessantesten ist es vorerst, genaue statische Messungen des Erdmagnetfeldes durchzuführen, insbesondere die Bestimmung der magnetischen Inklination, die in unseren Breiten einen – für Schüler, doch wohl auch für manchen Lehrer – erstaunlich hohen Wert in der Größenordnung von 65° besitzt (siehe Abb. 2).

Die Bestimmung des Erdmagnetfeldes wie auch das Ausmessen von in Schulen oft vorhandenen Helmholtzspulen werden mit einer stabförmigen Sonde durchgeführt. Die Stabsonde (siehe Abb. 1) wirkt dabei als "Vektorsensor", da nur ein in Längsrichtung anliegendes Magnetfeld zu einem Signal beiträgt. Durch Drehung der Stabsonde auf maximales Signal kann dann neben dem Betrag auch die Richtung des Magnetfeldes bestimmt werden.

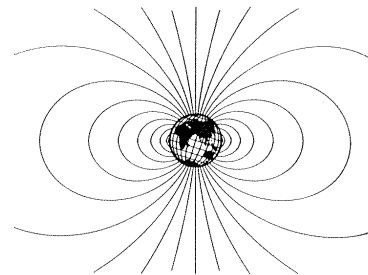


Abb. 2 Der Feldlinienverlauf des Erdmagnetfeldes

Eine zweite, ringförmige Sonde erlaubt auch das modellhafte Lesen von Magnetkarten. Wird die Stabsonde zu einer Ringsonde gebogen, so kann sie bei geeigneter Wahl eines Luftspalts im Sondenkern (typisch 0,2 mm) als Modell eines statischen Lesekopfs für Magnetkarten-Codes verwendet werden.

Das Funktionsprinzip der Sonde

Das "Herz" der Magnetfeldsonde besteht aus einer dünnen Folie einer amorphen Metallegierung $[(\text{Co,Fe})_{70}(\text{Mo,Si,B})_{30}]$ mit einer sehr steilen "weichmagnetischen" Hystereseschleife (Abb. 3). Am Markt erhältliche Ringbandkerne bestehen aus einer derartigen magnetisierbaren Folie und können zu diesem Zweck leicht abgewickelt werden.

Ein durch eine Vormagnetisierungsspule fließender zeitlich periodischer (z. B. dreiecksförmiger) Strom würde ohne eingeschobenen Folienkern nach dem Induktionsgesetz in einer darübergewickelten Induktionsspule eine zeitlich rechteckförmige Spannung induzieren. Durch die Sättigung des Kernmaterials hat dieses Rechteckssignal jedoch Ausbuchtungen, die

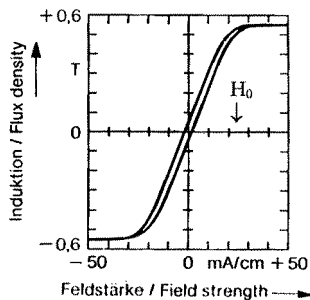


Abb. 3 Die Hysteresekurve des verwendeten Kernmaterials

sich je nach Stärke eines äußeren überlagerten Magnetfeldes verschieben (Abb. 4).

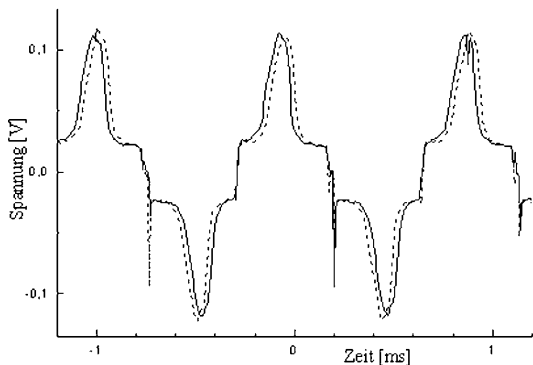


Abb. 4 Verschiebung der Induktionsspannung bei versch. äußeren Magnetfeldern (- - - und —)

Diese Verschiebung kann durch eine geeignete Elektronik gemessen und damit auf die Stärke des Magnetfeldes geschlossen werden.

Die Elektronik

Es wurde in dieser Arbeit zur Aufgabe gestellt, daß der Aufbau der Elektronik für jeden (Lehrer) verständlich und nachvollziehbar dargestellt werden soll: Ein Oszilloskop gehört zum Inventar jeder Physiksammlung, und die zu beschaffenden Bauteile sind billig und ohne Schwierigkeiten zu erwerben. Es soll auch die Möglichkeit gegeben werden, daß alle Physiklehrer, die durch mangelnde Ausbildung beim Experimentieren mit Elektronik eher Zurückhaltung üben, durch diese Arbeit einen gewissen Zugang finden und praktische Erfahrungen sammeln können, ohne aufwendige Literatur studieren zu müssen, die weit vom Schulniveau wegführt.

Die Elektronik wurde mit diskreten Bauelementen realisiert, damit sich nicht die angewandte Methode der Signalverarbeitung in einem Chip verbirgt, was den didaktischen Wert vermindern würde: Außer drei Operationsverstärkern werden nur Transistoren, Dioden, Widerstände, Kondensatoren etc. verwendet (siehe Schaltplan Abb. 5).

Ein astabiler Multivibrator (MV) erzeugt ein 2-kHz-Rechtecksignal. Dieses wird in der Frequenz durch ein T-Flip-Flop auf 1 kHz herabgeteilt. Ein nachgeschalteter Integrator erzeugt ein in Verstärkung (R_7) und Pegel (R_8) verstellbares Dreieckssignal, welches über die Vormagnetisierungsspule L_1 der Stabsonde die eingeschobene Folie ("Sensor") magnetisiert. Die Induktionsspule L_2 detektiert ein Signal gemäß Abb. 4. Dabei wurde die Methode des Zerhackerverstärkers (auch Lock-in-

oder Chopperverstärkers genannt) gewählt. Sie ist neben dem Sensorprinzip für die hohe Empfindlichkeit des Meßgerätes verantwortlich.

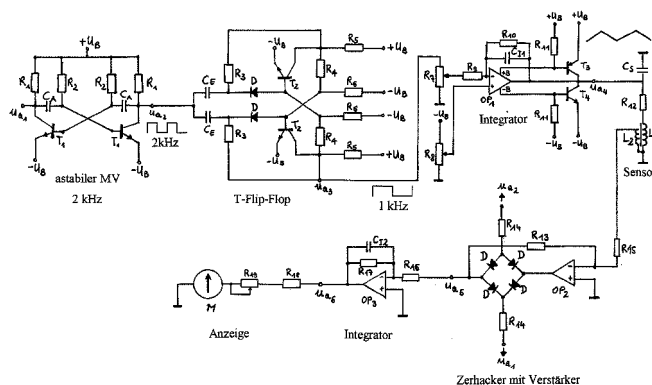


Abb. 5 Schaltplan der Elektronik

Zerhackerverstärker werden nicht nur in diesem speziellen Fall eines Magnetometers verwendet, sondern haben eine breite Anwendung in alltäglichen Geräten wie im Rundfunkempfänger oder in der Fernsehfernsteuerung. Dabei wird das Meßsignal phasenempfindlich mit der Referenzspannung U_{a2} (2-kHz-Rechteckspannung) gleichgerichtet. Der Diodenzehacker ist in Längsrichtung nur durchlässig, wenn in Querrichtung eine positive Spannung U_{a2} anliegt. Da die Öffnung des Zerhackers doppelt so rasch (2 kHz) erfolgt wie das Signal (1 kHz) selbst, wird nur die Phase $0^\circ - 90^\circ$ und die Phase $180^\circ - 270^\circ$ der Signalspannung durchgeschaltet. Bei symmetrischem Spannungsverlauf (Abb. 4 gestrichelt) heben sich die über eine Periode integrierten Spannungsanteile im nachgeschalteten Integrator auf. Bei Verstimmung der Symmetrie des Signals im äußeren Magnetfeld (Abb. 4 ausgezogene Kurve) bleibt ein Restsignal übrig, welches dann statisch angezeigt wird. Dieses ist ein Maß für das unbekannte Magnetfeld.

Abb. 6 zeigt den Aussteuer- und Linearitätsbereich der Magnetfeldsonde. Bei einer Spannungsempfindlichkeit eines Anzeigeinstrumentes von ca. 1 mV können 30 nT (= 1/1000 des Erdmagnetfeldes) aufgelöst werden.

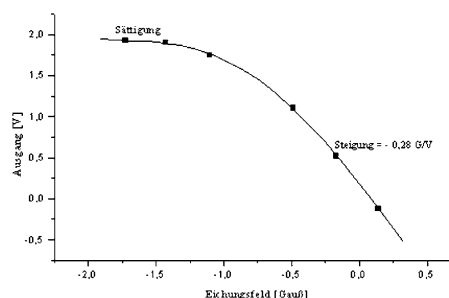


Abb. 6 Aussteuer- und Linearitätsbereich der Magnetfeldsonde

Anmerkung – Internet: Zum Nachbau des Magnetometers kann die Diplomarbeit mit dem vollen Titel *Methoden der schmalbandigen Verstärkung für den Aufbau eines empfindlichen Magnetometers im Schulversuch* im Internet unter der Adresse

<http://doppler.thp.univie.ac.at/~vfpc> in einer ungekürzten Version aufgerufen werden.