

9. Induktion und magnetischer Fluss

Die Induktion ist ein zentrales Thema im Physikunterricht der Oberstufe, da sie Grundlage vieler technischer Anwendungen im Alltag ist. Sie bietet zudem einen schönen Anknüpfungspunkt an die Mathematik, da die Induktionsspannung U_i und der magnetische Fluss Φ nicht direkt miteinander verknüpft sind, sondern gemäß Faradays Induktionsgesetz U_i proportional zur Änderungsrate des magnetischen Flusses ist:

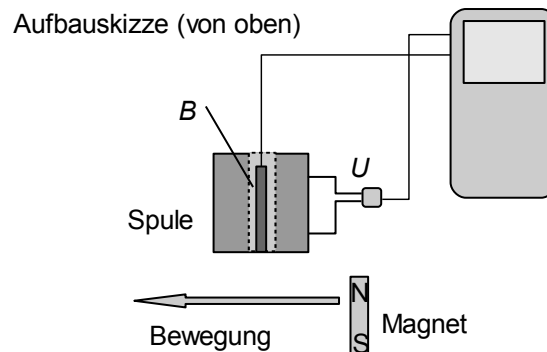
$$U_i = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Der magnetische Fluss $\Phi = A \cdot B$ kann in der Schule nicht direkt gemessen werden, aber man kann ihn gut aus der Induktionsspannung berechnen – mathematisch wird er als Bestand aus seiner Änderungsrate durch Integration rekonstruiert.

Im Experiment wird dazu der Verlauf der Induktionsspannung über einen kurzen Zeitraum aufgezeichnet, indem man z. B. einen möglichst kräftigen Magneten (gut geeignet sind Neodym-Magnete) im Abstand von wenigen Millimetern gleichmäßig an der Induktionsspule vorbeiführt. Aus der Messtabelle lässt sich durch numerische Integration eine Größe gewinnen, die zum magnetischen Fluss proportional ist und seinen zeitlichen Verlauf darstellt.

Dem so *berechneten* magnetischen Fluss kann man dann die mit einer Hallsonde *gemessene* Flussdichte gegenüberstellen und die grundsätzliche Übereinstimmung zeigen.

Aufbau:



kleine Spule (z. B. aus Schülerübungen) mit großer Windungszahl

Stabmagnet oder kleiner Neodym-Magnet auf einem Halter (z. B. ein kurzer Holzstab, auf den der Magnet mit doppelseitigem Klebeband geklebt wird)

Spannungssensor (Eingang 1)

Magnetfeldsensor 6,4 mT (Eingang 2)

Magnetfeldsensor so in die Spule einbringen, dass er bündig mit der Stirnfläche der Spule abschließt. Sensor so lagern, dass er waagrecht in der Spule liegt.

Durchführung:*Einstellungen:*

Messrate: 200 Messungen pro s

Messdauer: anfänglich 2 s

Triggerung: Magnetfeld (Eingang 2)
Zunahme über den Schwellenwert
Schwellenwert: 1 mT
Vorspeicherung: 20 %

Durchführung:

Magnetfeldsensor auf Null stellen und nicht mehr bewegen.

Messung starten und Magnet *gleichmäßig* vor der Spule vorbeiführen.

Abstand zur Spule so verändern, dass die Triggerung sicher ausgelöst wird, aber die maximale Flussdichte (6,4 mT) nicht überschritten wird.

Messdauer schrittweise anpassen (im Beispiel auf 0,2 s).

Man erhält eine Darstellung wie in Bild 9.1.

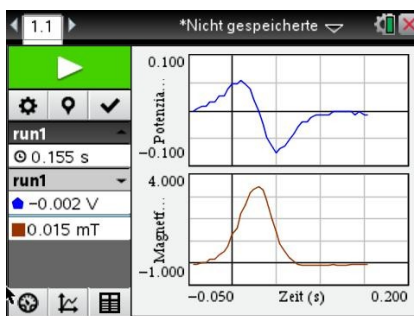


Bild 9.1

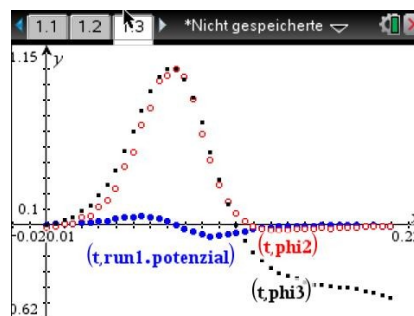


Bild 9.2

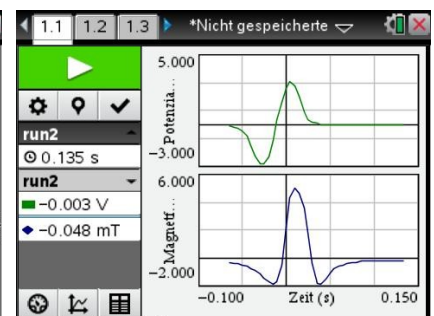


Bild 9.3

Auswertung:

1. Die Flussdichte nimmt zu und wieder ab, damit auch der Fluss (Bild 9.1 unten). Passend dazu erhält man eine positive und eine negative Induktionsspannung (Bild 9.1 oben).

2. Daten übertragen an die Tabellenkalkulation:

neue Spalten anlegen:

Variable t :

Nullpunktverschiebung der Zeitdaten, sodass die Messungen bei $t = 0$ anfangen

magnetischer Fluss: $\Phi \sim \sum u_i \cdot \Delta t$

Normierungen der berechneten und der gemessenen Flussdichte (*phi2* und *phi3*) zum Vergleich, indem man beide Listen durch das größte Listenelement teilt (Bilder 9.4 bis 9.6).

D t	E phi1	F phi2	G phi3
1	2.E-17	-0.00001	-0.0155...
2	0.005	0.000008	-0.0117...
3	0.01	0.000055	0.008461
4	0.015	0.000101	0.009725
5	0.02	0.000175	0.050144

Bild 9.4

D t	E phi1	F phi2	G phi3
1	2.E-17	-0.00001	-0.0155...
2	0.005	0.000008	-0.0117...
3	0.01	0.000055	0.008461
4	0.015	0.000101	0.009725
5	0.02	0.000175	0.050144

Bild 9.5

D t	E phi1	F phi2	G phi3
1	2.E-17	-0.00001	-0.0155...
2	0.005	0.000008	-0.0117...
3	0.01	0.000055	0.008461
4	0.015	0.000101	0.009725
5	0.02	0.000175	0.050144

Bild 9.6

3. Gemeinsame Darstellung von *phi2*, *phi3* und *U_i* (Bild 9.2). Man sieht eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den errechneten Werten.
4. Die Abweichungen gegen Ende liegen an den zunehmenden Messungenauigkeiten bei sehr kleinen Messwerten am Ende der Messung.

Alternative Versuchsdurchführung:

Man kann den Magneten auch durch die Spule fallen lassen (Polsterung unterlegen), indem man ihn z. B. in einem Stück nichtmetallischem Rohr führt. Da man die Flussdichte jetzt aber außerhalb der Spule messen muss, erhält man ein komplexeres Bild des Flussdichteverlaufes (Bild 9.3), das sich nicht mehr so leicht mit der Theorie in Einklang bringen lässt.