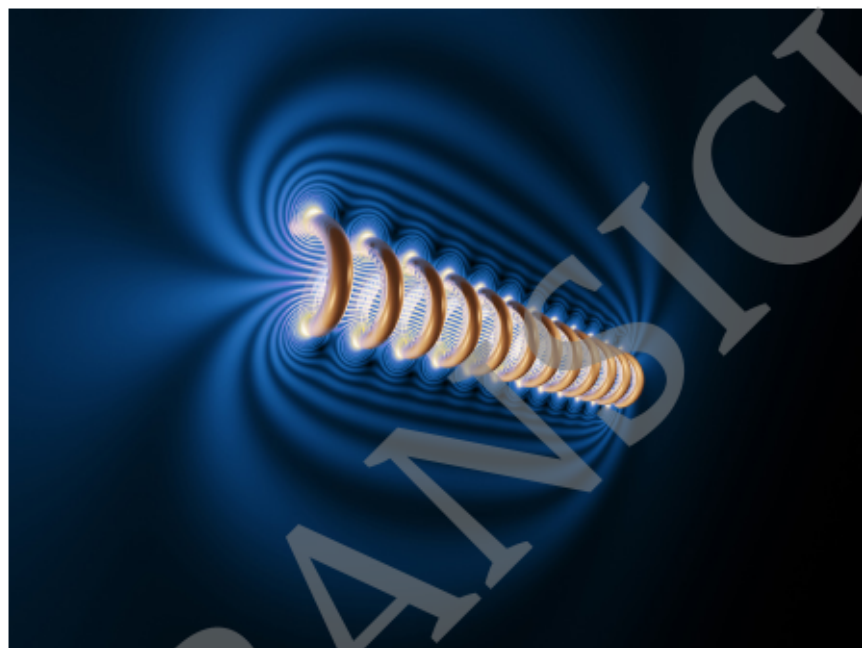


D.1.65

Elektrodynamik – Elektrisches Feld

Elektromagnetische Induktion – Experimente

Nach einer Idee von Dr. Günter Scheu



Vielen Lernenden ist nicht bewusst, wie stark ihr Alltag von physikalischen Erkenntnissen zur elektromagnetischen Induktion beeinflusst wird. Über Generatoren, Motoren oder Induktionskochfelder hin zur Nutzung von Wirbelströmen in Wirbelstrombremsen und bei der Kontrolle technischer Bauteile. Mit diesen Materialien können Sie das Thema realitätsnah mit zahlreichen Experimenten im Unterricht behandeln, und Ihrer Klasse so die Relevanz der Ergebnisse aus jahrzehntelanger Forschung nahelegen.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe/Lernjahr:	11/12/13
Dauer:	4–6 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	Erkenntnisgewinnung
Methoden:	Lehrerexperiment, Übung
Inhalt:	Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld, Leiterschaukel, Induktion, Spule, Lorentzkraft, Wirbelstrom

Fachliche Hinweise

Elektromagnetische Induktion

1820 entdeckte Hans Christian Ørsted (1777 bis 1851), dass jeder stromdurchflossene Leiter von einem senkrechten kreisförmigen Magnetfeld umschlossen ist.

Daraufhin untersuchte Michael Faraday (1791 bis 1867) das Umkehrproblem, ob mithilfe von einem sich ändernden Magnetismus elektrischer Strom erzeugt werden kann. Das führte ihn 1831 zur Entdeckung der elektromagnetischen Induktion und des Induktionsgesetzes.

Ihre Entdeckungen bilden die Grundlage der Elektrodynamik. So beruht z. B. die Wirkungsweise von Generatoren, Elektromotoren und Transformatoren auf diesen Grundlagen.

Die Spannung, die zwischen den Enden eines Leiters gemessen wird, heißt Induktionsspannung. Der dadurch bei geschlossenem Stromkreis fließende Strom heißt Induktionsstrom.

Die Ursache für die Entstehung dieser Induktionsspannung ist die Lorentzkraft, die bei der Bewegung eines Leiters im Magnetfeld auf die Leitungselektronen im Leiter wirkt, wenn die Bewegung nicht parallel zu den Magnetfeldlinien verläuft.

Die Lorentzkraft, genannt nach Hendrik Antoon Lorentz (1853 bis 1928) bewirkt, dass sich die Elektronen an einem Ende des Leiters sammeln. Dort entsteht ein Elektronenüberschuss, während am anderen Ende ein Elektronenmangel entsteht. Damit entsteht zwischen den beiden Enden ein Ladungsunterschied, d. h. die Induktionsspannung. Die Richtung der Lorentzkraft kann mit der Drei-Finger-Regel bestimmt werden.

Die Lorentzkraft verrichtet keine Arbeit, d. h. sie bewirkt keine Energieänderung, da sie senkrecht zur Bewegungsrichtung ist.

Wirbelströme

Induktionsspannungen und Induktionsströme treten nicht nur bei Leiterschleifen und Spulen auf. Ändert sich das Magnetfeld, das einen massiven Metallkörper durchsetzt, so tritt ebenfalls elektromagnetische Induktion auf.

Aufgrund der räumlichen Ausdehnung der Leiter entstehen in deren Innern Ringströme, die als Wirbelströme bezeichnet werden. Es gibt zwei Möglichkeiten Wirbelströme zu erklären, und zwar mit dem Induktionsgesetz oder mit der Lorentzkraft.

Wirbelströme sind eine physikalische Erscheinung, bei der die Lenzsche Regel, nach Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 bis 1865) direkt sichtbar und spürbar wird.

Wirbelströme sind teilweise erwünscht und teilweise auch unerwünscht. Erwünscht sind Wirbelströme bei technischen Anwendungen wie z. B. beim Induktionsherd oder bei Wirbelstrombremsen. Unerwünscht sind sie z. B. beim Transformator.

Wirbelströme wandeln elektrische Energie in Wärmeenergie um, die zu einem Energieverlust führt.

Geschichte und Meilensteine

Die Entdeckung und das Verständnis der Wirbelströme dauerten fast 40 Jahre, an der viele Physiker beteiligt waren.

- Ende des 19. Jahrhunderts bei der Entwicklung des Transformators. Hier wurden Wirbelströme zum Problem, da sie zu Energieverlusten durch Wärmeenergie führten. Die Energieverluste werden vermindert, indem der Eisenkern aus dünnen isolierten Blechen gebaut wird.
- In den 1900er Jahren wurden erste Wirbelstrombremsen in Schienenfahrzeugen eingebaut.
- Heute Anwendung in Induktionsherden, in Wirbelstrombremsen z. B. Zug, LKW, Fitnessgeräten, Achterbahn, in der Materialprüfung z. B. bei der Suche nach Haarrissen in Flugzeugtragflächen und in Müllsortieranlagen zur Abscheidung von Aluminium.

Experimente

Die Leiterschaukel

Experiment 1

Ein Leiterstück der Leiterschaukel befindet sich senkrecht zu den Feldlinien des Hufeisenmagneten und ist an ein Netzgerät angeschlossen.

- Fließt ein elektrischer Strom, so wird die Leiterschaukel ausgelenkt.
- Wird der Strom abgeschaltet, so bewegt sich die Leiterschaukel zurück in die Ruhelage.
- Wird die Stromrichtung geeignet umgekehrt, so wird die Leiterschaukel in die andere Richtung ausgelenkt.
- Durch Wiederholung der Umkehrung der Stromrichtung kann die Leiterschaukel zum Schwingen angeregt werden.

Experiment 2

Ein Leiterstück der Leiterschaukel befindet sich senkrecht zu den Feldlinien des Hufeisenmagneten und ist an ein Messgerät angeschlossen.

- Wird die Leiterschaukel ausgelenkt, so fließt ein elektrischer Strom.
- Bewegt sich die Leiterschaukel zurück in die Ruhelage, so ändert der Strom seine Richtung.

Experiment 3

Spulen mit verschiedenen Windungszahlen, d. h. verschiedener Anzahl von Leitern, werden an ein Messgerät angeschlossen. Ein Stabmagnet wird in die Spule eingeführt.

- Wird der Stabmagnet in die Spule bewegt, so schlägt der Zeiger des Messgeräts aus.
- Wird der Stabmagnet in der Spule nicht bewegt, so erfolgt kein Ausschlag.
- Wird der Stabmagnet aus der Spule herausgezogen, so schlägt der Zeiger des Messgeräts in die entgegengesetzte Richtung aus.
- Je schneller die Bewegung erfolgt, desto größer ist der maximale Ausschlag.
- Je größer die Windungszahl, desto größer ist der maximale Ausschlag.

Es ergeben sich die gleichen Beobachtungen, wenn die Spule, statt des Stabmagneten bewegt wird.

Lenz'sche Regel

An einem Stativ ist ein Aluminiumring aufgehängt und ein Hufeisenmagnet wird in Richtung Ring hin und her bewegt.

Wird der Hufeisenmagnet in Richtung Ring hinbewegt, so weicht der Ring dem Magneten aus, d. h., er wird abgestoßen.

Wird der Hufeisenmagnet in Richtung Ring wegbewegt, so folgt der Ring dem Magneten, d. h., er wird angezogen.

Wirbelströme

Ein starker Neodym-Magnet wird in ein senkrecht stehendes Rohr fallen gelassen.

- Beim Kupferrohr gleitet der Magnet sehr langsam nach unten.
- Beim Kupferrohr mit Längsschlitz, fällt der Magnet fast ungebremsst wie im freien Fall.
- Beim Aluminiumrohr fällt der Magnet zwar immer noch deutlich langsamer als im freien Fall, aber er ist deutlich schneller als im Kupferrohr.
- Beim Plastikrohr tritt im Gegensatz zu den Kupfer- oder Aluminiumrohren keine Bremswirkung auf, d. h., der Magnet fällt fast wie im freien Fall.

Didaktisch-methodische Hinweise

Die Materialien **M 2**, **M 4**, **M 5**, **M 7** und **M 8** dienen zur Dokumentation der Experimente. Für schwächere Lernende sind Wortspeicher angegeben. Stärkere Lernende können die Dokumentation auch ohne Vorlage führen.

In Material **M 3** finden Sie eine Skizze zum Versuch "Leiterschaukel" die von Ihrer Klasse vervollständigt werden soll.

In Material **M 6** und **M 9** finden Sie Aufgaben, die das Thema abrunden und Transfer leisten. Zur differenzierten Bearbeitung können Sie die Formelsammlung **M 1** zur Verfügung stellen.

Interaktive Simulation

Unter <https://raabe.click/spule-im-magnetfeld> können Sie Ihre Klasse die Auswirkungen der Bewegung eines Magnets durch eine Spule qualitativ untersuchen lassen.



M 1 Formelsammlung und Erläuterungen

Magnetische Flussdichte: Formelzeichen: B , Einheit: Tesla (T)

Beschreibt anschaulich, wie dicht die Magnetfeldlinien eines Magnetfeldes beieinander liegen.

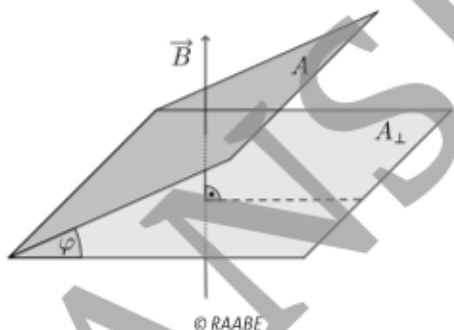
Magnetischer Fluss: Formelzeichen: Φ , Einheit: Voltsekunde (Vs) oder Weber (Wb)

Beschreibt anschaulich, wie viele magnetische Feldlinien eine bestimmte Fläche A durchdringen. Hängt von der Größe der Fläche A , der magnetischen Flussdichte B und dem Winkel φ zwischen Normalenvektor von A und Richtung des Magnetfeldes ab.

Es gilt: $\Phi = B \cdot A_{\perp} = B \cdot A \cdot \cos \varphi$.

Dabei beschreibt $A_{\perp}$ den wirksamen Flächeninhalt.

Wenn A senkrecht zu den magnetischen Feldlinien liegt, gilt vereinfacht: $\Phi = B \cdot A$.



Induktionsgesetz

In einer Leiterschleife oder Spule wird eine Spannung U_{ind} induziert, solange sich der magnetische Fluss durch die Leiterschleife oder Spule zeitlich ändert.

Es gilt $U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$.

Dabei ist N die Windungszahl der Spule und $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ die zeitliche Änderungsrate des magnetischen Flusses.

Hinweis

Das Minuszeichen folgt aus der Lenz'schen Regel. Der Induktionsstrom muss seiner Ursache (der Flussänderung) entgegenwirken.