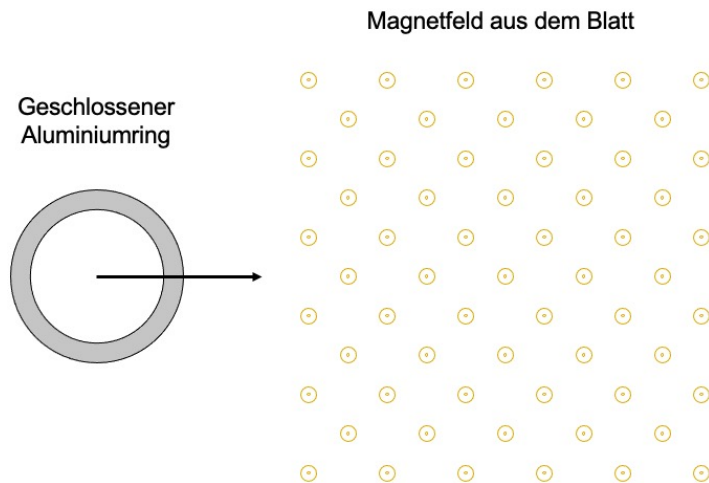


Übungen zum Elektromagnetismus

Serie 11: Induktion durch Lorentzkräfte auf Leitungselektronen

1. Ein Ring taucht ins Magnetfeld – Induktion auch bei der Wirbelstrombremse

Ein Ring aus Aluminium taucht, wie in der Abbildung gezeigt, in ein homogenes Magnetfeld ein.

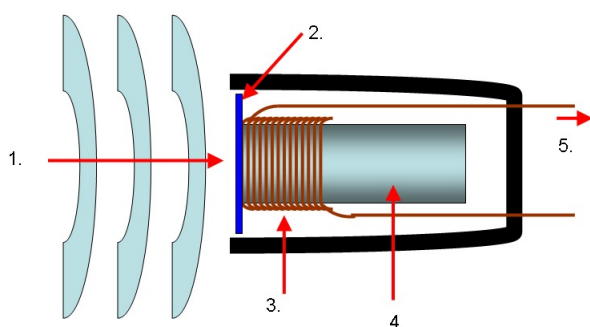


- Wann und weshalb nur dann wird im Ring ein Strom induziert? Beantworte die Frage einmal mit Hilfe von Lorentzkräften auf Leitungselektronen und ein zweites Mal unter Verwendung der Lenz'schen Regel.
- Aufgrund des Induktionsstromes wird der Ring beim Eintauchen ins Magnetfeld abgebremst! Erkläre diesen Bremsmechanismus, der unter dem Namen **Wirbelstrombremse** zahlreiche reale Anwendungen kennt.

2. Das dynamische Mikrophon

Unten siehst du schematisch den Aufbau eines **dynamischen Mikrophons**.

Zur Klärung: Die Schwingspule ist an der Membran befestigt. Spule und Membran sind beide losgelöst vom Permanentmagneten und können sich relativ zu diesem horizontal verschieben.

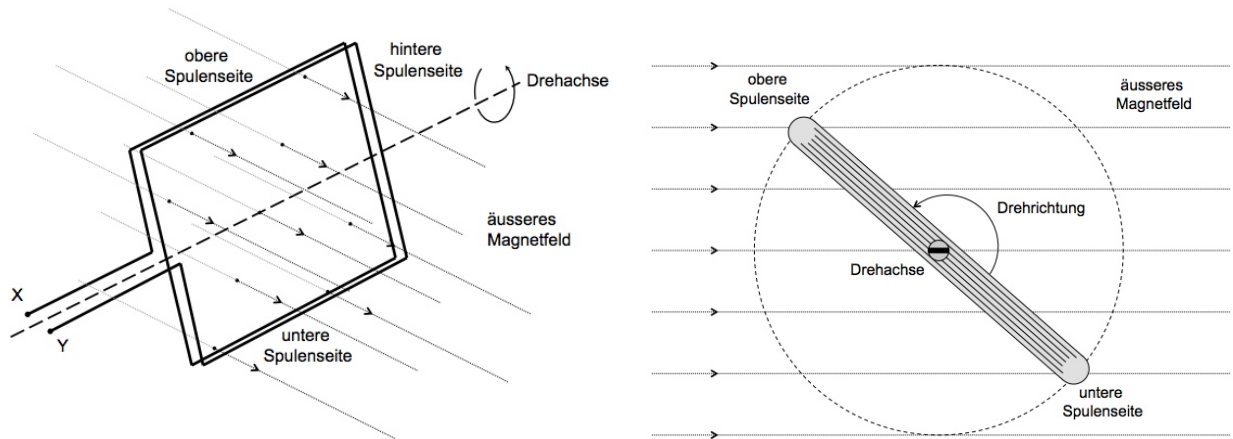


- Ankommende Schallwellen
- Membran
- Schwingspule
- Permanentmagnet
- Elektrisches Signal

Der Nordpol des Magneten befindet sich links, wobei die Feldlinien dort v.a. seitlich austreten. Sie werden durch das magnetisierbare Metallgehäuse aufgenommen und zum Südpol geführt.

Erkläre die Funktionsweise des Mikrophons mit Hilfe der Lorentzkraft auf Leitungselektronen. Was passiert, wenn Schallwellen bei der Membran ankommen (Magnetfeldlinien einzeichnen!)? Wann ist im elektrischen Ausgang die Spannung besonders gross? Wann ist sie Null? Etc.?

3. Der Drehspulgenerator



Dreht man eine Spule innerhalb eines Magnetfeldes, so wird zwischen ihren Enden (X und Y) eine elektrische Wechselspannung **induziert**. Eine Drehspule im Magnetfeld ist also ein **Spannungsgenerator**: Kinetische Energie (Bewegung) wird in elektrische Energie (Spannung) umgewandelt.

(a) Erklärung der aktuellen Polung mit der Lorentzkraft auf Leitungselektronen

Betrachte ein Leitungselektron in der unteren Spulenseite.

- In welche Richtung bewegt es sich aufgrund der Rotation der Drehspule?
- Wohin zeigt demzufolge die Lorentzkraft, welche das Leitungselektron im äusseren Magnetfeld aufgrund der Rotation der Drehspule erfährt?
- An welchem Spulenende (X oder Y) ist demzufolge in der gezeigten Situation ein negativer Pol vorhanden?

(b) Bestimmung der Richtung des Induktionsstromes mit der Lenz'schen Regel

Schliessen wir den Stromkreis, d.h., verbinden wir die Enden X und Y der Drehspule leitend miteinander, so kann der Induktionsstrom I_{ind} fließen. Seine Richtung lässt sich unter Verwendung der Lenz'schen Regel gut bestimmen. Mache dies für den betrachteten Moment und bestätige damit die unter (a) ermittelten Polungen bei X und Y.

Tipp: Lenz'sche Regel: I_{ind} muss innerhalb der Drehspule Kräfte gegen die Drehbewegung hervorrufen. . .

(c) Weshalb entsteht eine Wechselspannung zwischen X und Y?

Genauer: Weshalb werden die Leitungselektronen in einen Moment zur Stelle X und im nächsten zur Stelle Y gedrückt?

(d) In welchem Moment der Drehbewegung ist die induzierte Spannung gleich Null?

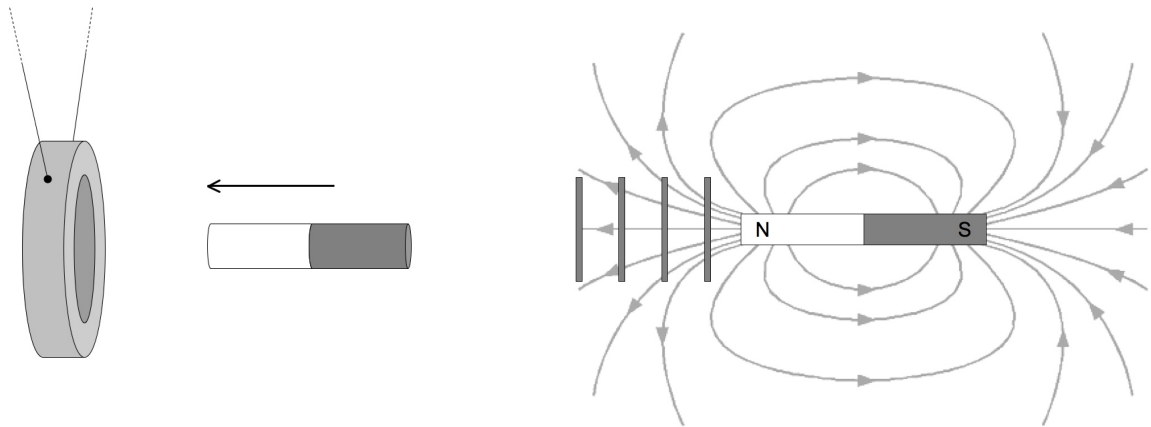
Tipp: Die Frage könnte ebenso gut lauten: In welchem Moment der Drehbewegung erfahren die Elektronen in der Drehspule keine Lorentzkräfte?

(e) Je schneller man die Spule dreht, desto grösser ist die Amplitude, also die Stärke der induzierten Wechselspannung.

Begründe diesen Befund mit Hilfe der Formel für die Lorentzkraft auf geladene Teilchen.

4. Der hängende Ring – Lorentzkräfte & Lenz'sche Regel im Einklang

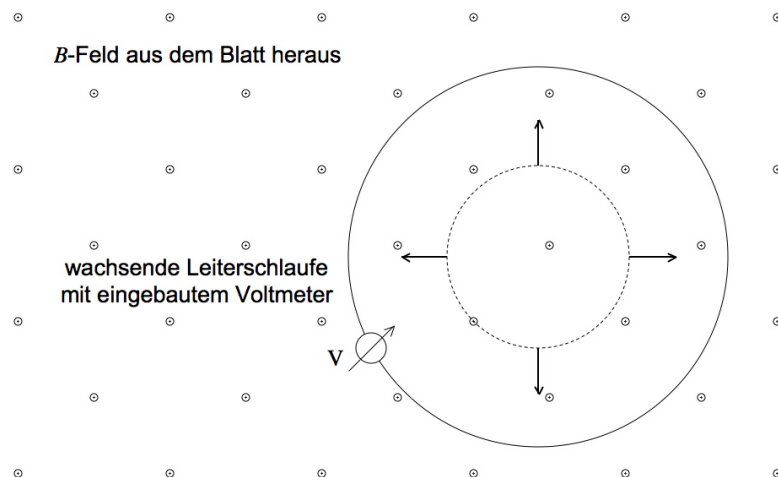
Ein Aluminiumring ist an zwei Fäden aufgehängt. Nun wird ein Stabmagnet mit dem Nordpol voraus auf ihn zu bewegt. Dabei stellt man fest: Während der Bewegung auf den Ring zu herrscht eine abstossende Kraft zwischen Magnet und Ring. Ursache: Im Ring existiert in diesem Moment ein Induktionsstrom!



- (a) Bestimme die Richtung des Induktionsstroms im Ring, indem du ...
 - i. mit der **Lorentzkraft auf Leitungselektronen** argumentierst (Wechsel des Bezugssystems!).
 - ii. mit der **Lenz'schen Regel** argumentierst.
- (b) Wie entsteht die Abstossung zwischen Magnet und Ring?
- (c) Analysiere gleichermassen die Situation, wenn der Stabmagnet vom Ring weggezogen wird. Welche Kraftwirkung kann dann weshalb beobachtet werden?

5. Eine wachsende Schleife

Gegeben sei ein homogenes Magnetfeld. Darin soll eine kreisrunde Leiterschleife von einem Punkt aus zu wachsen beginnen:



Während dem Anwachsen der Schleife wird in ihr eine Spannung U_{ind} induziert, welche am eingezeichneten Voltmeter abgelesen werden kann.

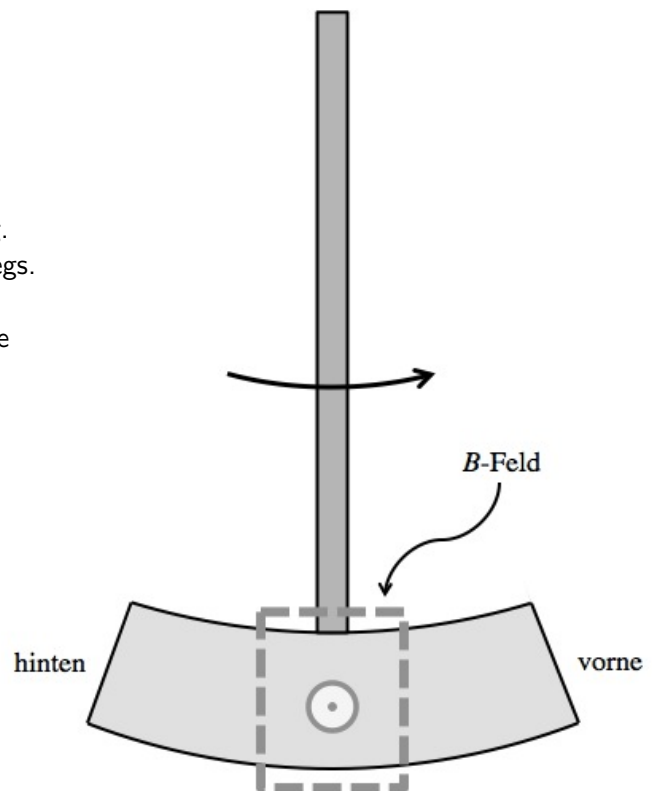
- (a) Weshalb entsteht diese induzierte Spannung? Begründe!
- (b) Würde man das Voltmeter entfernen und die Leiterschleife schliessen, so hätte das zur Folge, dass in der Schleife während dem Anwachsen ein Strom fließen würde – in welche Richtung?
- (c) Aufgrund des induzierten Stromes würde die Schleife nochmals eine Lorentzkraft erfahren. In welche Richtung würde diese Kraft wirken?

6. Das Waltenhofen'sche Pendel – die klassische Wirbelstrombremse

An einem Stiel aufgehängt schwingt ein Metallplättchen hin und her. Die Skizze zeigt den untersten Moment der Schwingbewegung. Das Plättchen sei gerade nach rechts unterwegs. Es schwingt durch ein örtlich begrenztes Magnetfeld (umstrichelte Zone), das in unsere Richtung zeigt.

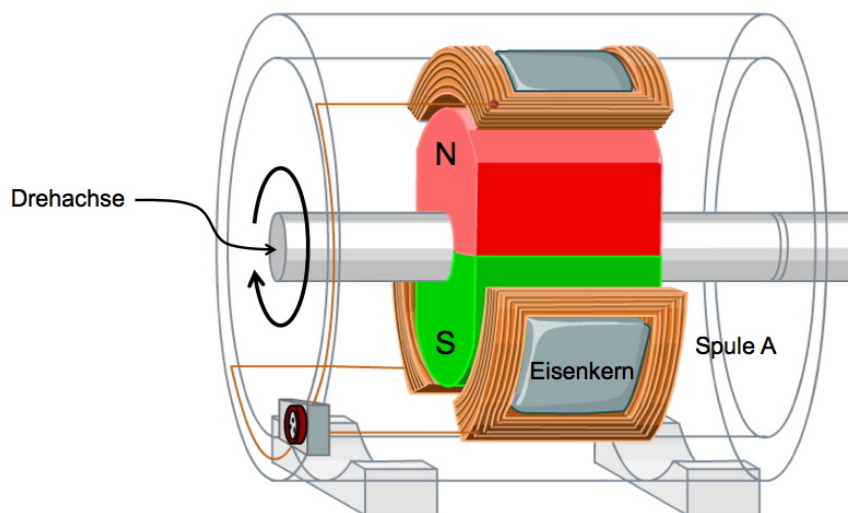
Erläutere Schritt für Schritt, wie die elektromagnetische Bremswirkung zustande kommt, welche das Plättchen momentan erfährt.

Tipp: Vgl. Aufgabe 1. Im Plättchen gibt es zwei Kreisströme, einen im vorderen und einen im hinteren Teil des Plättchens. Beide tragen zur Bremswirkung bei.



7. Ein Kraftwerksdynamo

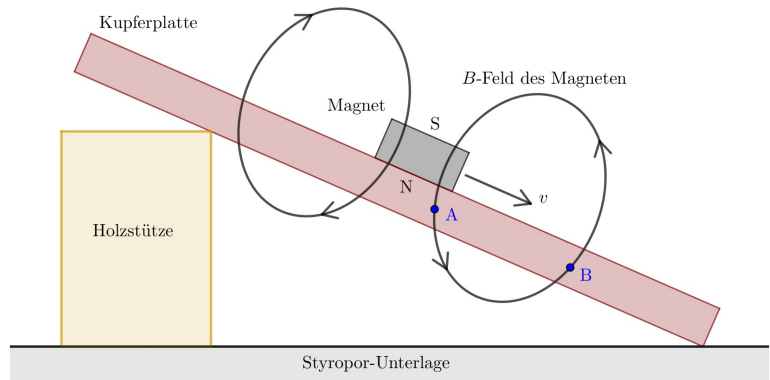
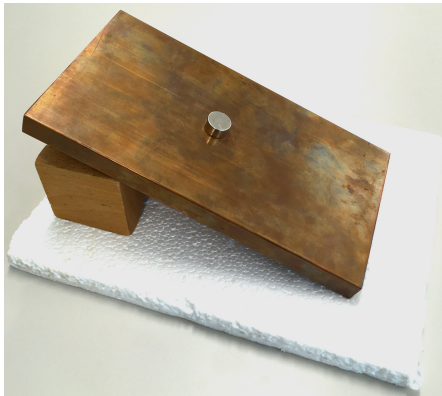
Im Bild unten siehst du ein (immer noch vereinfachtes) Schema eines grosstechnischen Dynamos, wie er z.B. in einem Kraftwerk zum Einsatz kommt. Dabei sitzt der Magnet auf einer Drehachse, welche z.B. von einer Wasserturbine angetrieben wird. Man bezeichnet den Magneten deshalb als **Rotor**. Anders die fest montierten Spulen (hier drei Stück), die zusammen mit ihren Eisenkernen **Stator** heissen.



- Die Achse, also der Rotor, drehe im eingezeichneten Umlaufsinn. Wir haben einen guten Blick auf die Spule A. In ihr fließt ein Induktionsstrom.
Fließt dieser Strom in der Spule A von uns aus gesehen im gezeigten Moment im Uhrzeiger- oder im Gegenuhrzeigersinn?
- Ist dieser Induktionsstrom gerade am stärker oder am schwächer werden?

8. Der rutschende Magnet

Auf einer schief liegenden Aluminiumplatte rutscht ein starker Magnet mit der Geschwindigkeit v abwärts. Sein Nordpol liegt auf der Platte:



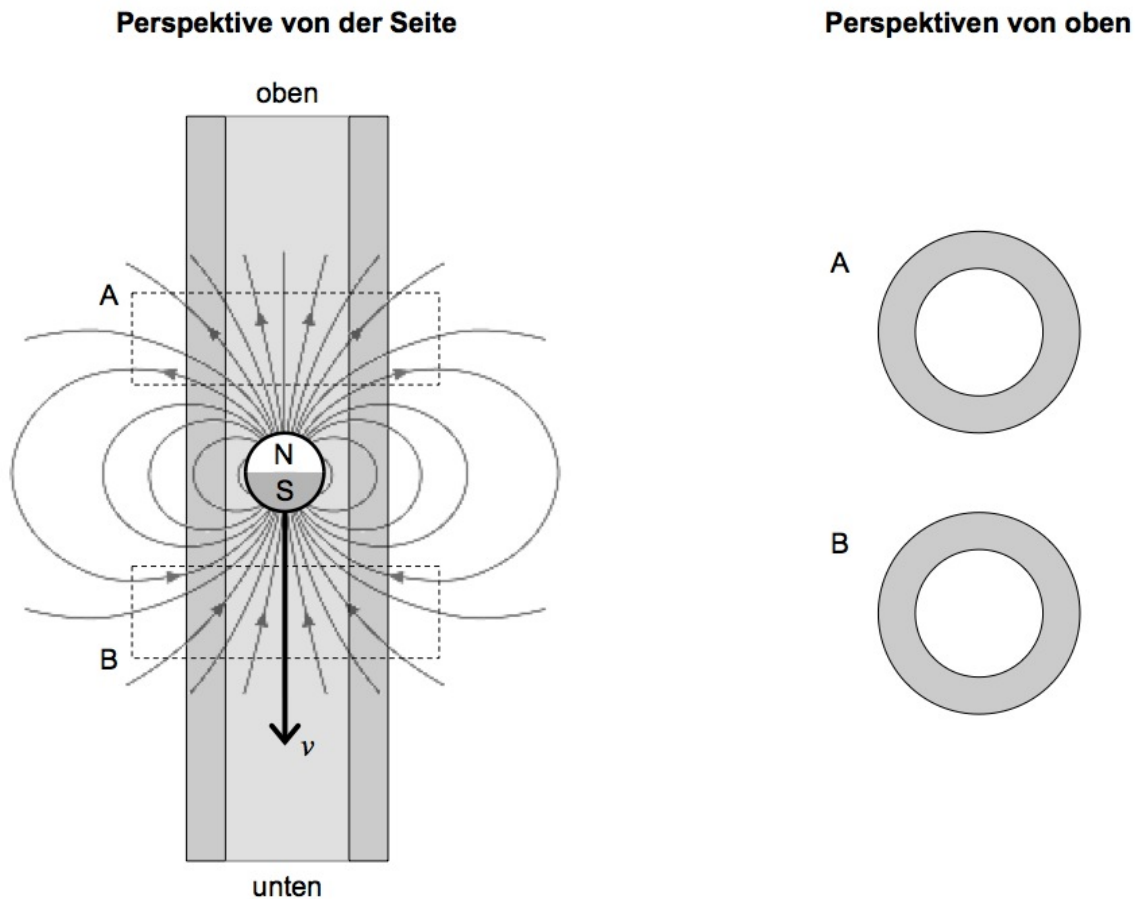
Der Magnet rutscht langsamer als erwartet. Er erfährt einen Bremsseffekt aufgrund der in der Platte induzierten Wirbelströme. Um die Erklärung dieser Wirbelströme geht es hier.

- (a) Betrachte je ein Leitungselektron an der Stelle A und an der Stelle B.
Wohin werden diese beiden Leitungselektronen gedrückt, wenn sich der Magnet bewegt?
Tipp: Wechsel des Bezugssystems!
- (b) Trage aufgrund den in der Platte vorhandenen (technischen) Wirbelstrom direkt vor dem Magneten ins Bild oben links ein.
- (c) Auch direkt hinter dem rutschenden Magneten gibt es in der Aluminiumplatte einen Wirbelstrom. Trage diesen Wirbelstrom in der Abbildung oben links ein und begründe seine Umlaufsrichtung unter Verwendung der Lenz'schen Regel.

9. Die Wirbelstrombremse im Rohr

Fällt eine Magnetkugel durch ein Kupferrohr hindurch, so wird sie darin ganz erheblich gebremst. Es handelt sich auch hier um eine **Wirbelstrombremse**.

Wir nehmen an, dass der Kugelmagnet mit seinem Südpol voran durch das Kupferrohr fällt. Unten links siehst du einen dieser Situation entsprechenden Schnitt durch Rohr und Kugelmagnet. Der wesentliche Teil des Kugelmagnetfeldes ist ebenfalls eingezeichnet.



- (a) Mit der **Lorentzkraft auf Leitungselektronen** lassen sich die Wirbelströme in den Rohrabschnitten A und B begründen. Mache dies.

Hinweis: Damit diese Begründung funktioniert, musst du einen **Wechsel des Bezugssystems** vornehmen. Weshalb ist dieser Wechsel notwendig?

Hinweis: Unterscheide genau zwischen dem **Elektronen-Kreisstrom** und dem **technischen Wirbelstrom**.

- (b) Die beiden Kreisströme in den Rohrabschnitten A und B bremsen die Kugel im gezeigten Moment. Weshalb ist das so?

- (c) Schiebe nun noch die zweite Erklärung für die Richtung der Kreisströme in den Rohrabschnitten A und B nach, indem du die **Lenz'sche Regel** anwendest: *"Induzierte Ströme wirken stets ihrer Ursache entgegen."*

Verdeutlichung: In dieser Situation bedeutet dies konkret, dass die Kreisströme in den Rohrabschnitten A und B selber wieder Magnetfelder hervorrufen, die ihrer Ursache, also der Bewegung der Kugel, entgegenwirken müssen.