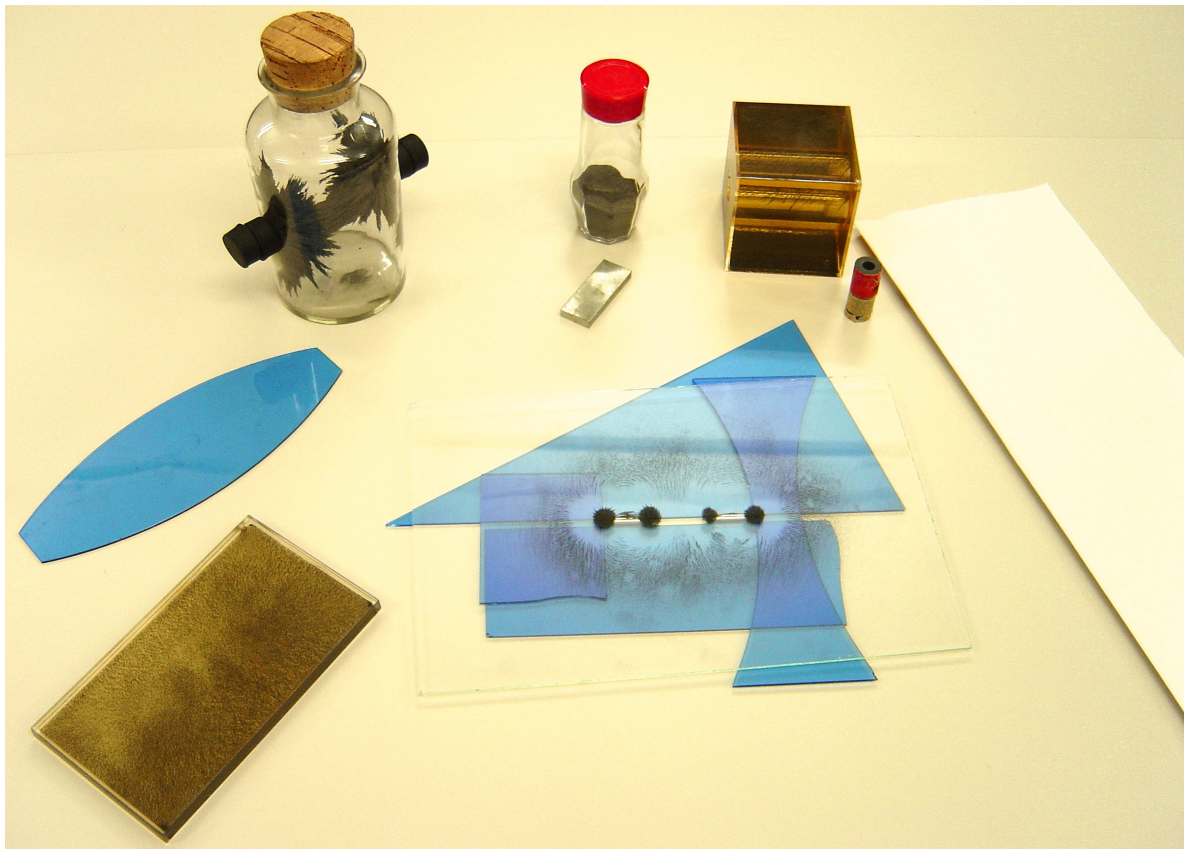


Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch A: Streuen von Eisenfeilspanbildern

Dauer: 15 Minuten

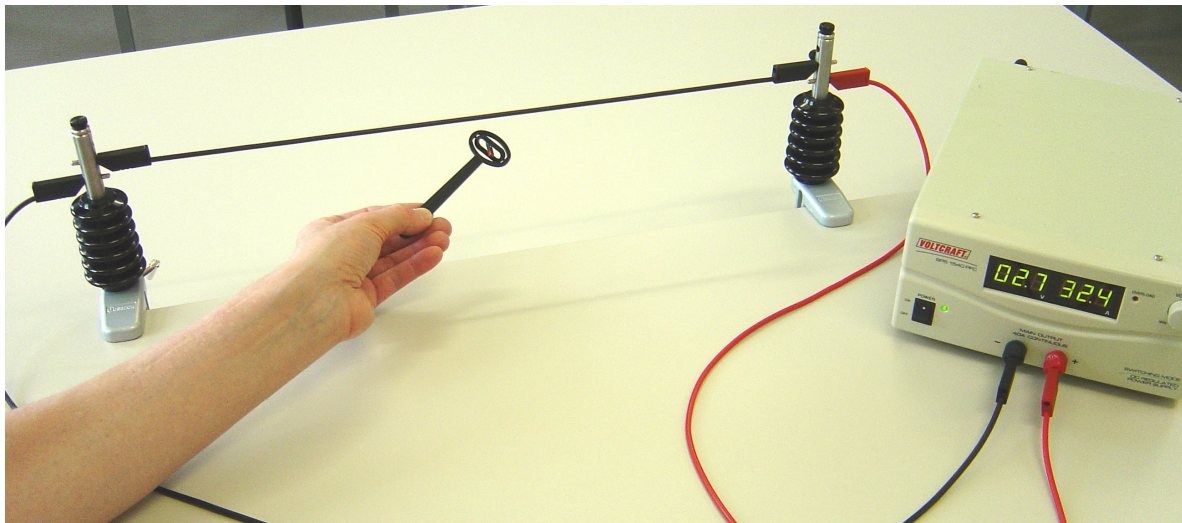


1. **VORBEMERKUNG: Die Magnete sollen möglichst gar nicht in Kontakt mit den Eisenfeilspänen kommen!**
Letztere bleiben sonst an den Magneten kleben und können nur ganz mühsam entfernt werden.
2. Um ein Eisenfeilspanbild zu streuen, arrangiert ihr irgendeine Anordnung von Magneten und magnetisierbaren Gegenständen auf dem Tisch und legt die Glasplatte drauf. Danach könnt ihr von oben her Eisenfeilspäne draufstreuen.
3. Wenn ihr ein neues Bild streuen wollt, so hebt ihr die Glasplatte mit dem alten Bild ab, entfernt allfällig daran haftende Magnete von deren Unterseite und klopft anschliessend die Platte in den Spalt des A3-Papiers ab.
4. Vielleicht findet ihr es bald einfacher, mit der etwas kleineren, aber dafür sehr handlichen Eisenfeilspanplatte zu arbeiten. Darin sind Eisenfeilspäne in einer Flüssigkeit eingelagert und die Platte braucht zwischen einzelnen Bildern nur kurz geschüttelt zu werden.
5. Schaut euch auch das restliche Material an, das bei diesem Versuch dazugegeben wurde.
6. Stellt zum Schluss den Arbeitsplatz wieder so her, wie ihr ihn angetroffen habt.

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch B: Die Rechte-Hand-Regel (RHR) unverhüllt

Dauer: 15 Minuten

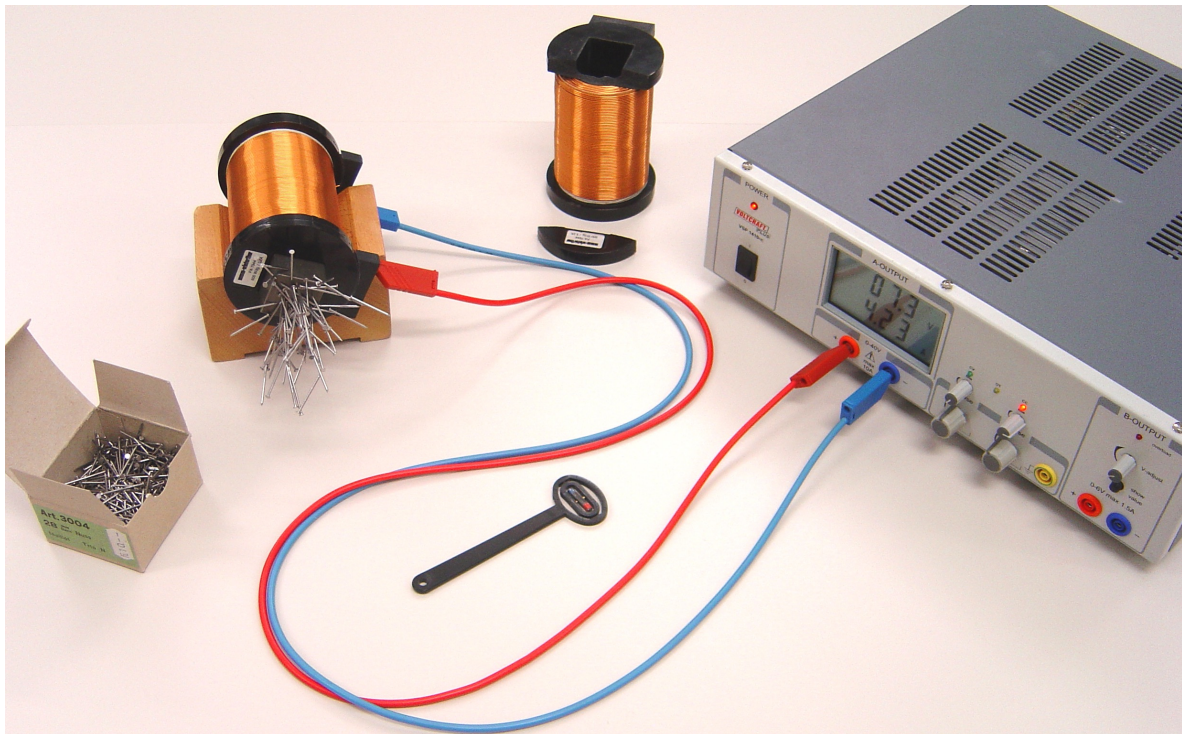


1. **Begleitlektüre:** Nehmt den **Abschnitt 8.3 im Skript** zur **Rechten-Hand-Regel (RHR)** hervor. Vielleicht lest ihr ihn gerade nochmal durch.
Ebenso die **Aufgabe 1** in der **Übungsserie 8**. Löst sie doch gerade während diesem Versuch!
2. **Bevor ihr das Netzgerät einschaltet: Dreht den Spannungsregler rechts ganz runter.**
Das Netzgerät wird so nicht 0 V, sondern immer noch 2.7 V liefern, aber das reicht, dass bei diesem Kurzschluss aus einem gut leitenden Kabel eine stattliche Stromstärke von ca. 30 A fließt.
N.B.: Es ist die Stärke dieses Netzgerätes solche grossen Stromstärken zur Verfügung stellen zu können.
3. **WICHTIG! Lasst den Strom jeweils nur für vielleicht 15 Sekunden eingeschaltet!**
Bei so grossen Stromstärken wird das Kabel rasch warm bis heiss, wie ihr gut fühlen könnt. Lasst es deshalb zwischendurch immer wieder ein bisschen auskühlen.
4. Ist der Strom an, so **untersucht mit der Magnaprobe das Magnetfeld**, das er erzeugt. Folgt mit der Probe einer Feldlinie. Schaut euch auch an, was beim Ein- und Ausschalten mit der Probe in der Nähe des Kabels passiert, sodass ihr euch davon überzeugen könnt, dass wirklich der Strom die Ursache des Magnetfeldes ist.
5. Nehmt aus diesem Versuch auch die Erfahrung mit, dass die magnetische Wirkung eines einzelnen Drahtes oder Kabels ziemlich gering ist. Es braucht schon sehr grosse Stromstärken, um davon etwas zu bemerken.

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch C: Ein Elektromagnet zum Anfassen

Dauer: 15 Minuten



1. **Begleitlektüre: Abschnitte 8.3 und 8.4 im Skript.**

Es geht darum sich bewusst zu machen, dass eine stromdurchflossene Spule direkt mit einem Stabmagnet vergleichbar ist. Wie der Stabmagnet, so erzeugt auch die Spule ein **Dipolfeld** und an ihr kann so eben auch eine Nord- und eine Südpolseite ausgemacht werden.

2. **Bemerke:** Beide Spulen weisen je **600 Windungen** auf. Es gibt daran kein Geheimnis. Eine Spule ist wirklich nur ein Draht, der N -fach aufgewickelt wurde.

N.B.: Die Kupferdrähte sind mit einer **hauchdünnen Lackschicht** überzogen. Sie sind also isoliert! Sonst würde der Strom auf geradem Weg vom einen Spulenende zum anderen fließen.

3. **Lasst nun Strom durch die angeschlossene Spule fließen.**

WICHTIG! Ihr dürft mit dem Strom bis zum Maximum des Netzgerätes hochgehen. Bei Stromstärken über 3 A solltet ihr aber immer mal wieder abschalten, denn sonst wird die Spule heiss, was im Extremfall zum Schmelzen der Isolationsschicht führt.

N.B.: Auch bei grossen Stromstärken ist die angeschlossene Spannung gering (Kupfer = guter Leiter), sodass man die Spulen gefahrlos anfassen kann.

4. **Untersucht bei einer Stromstärke von ca. 3 A das Magnetfeld der Spule mit der Magnaprobe. Auf welcher Seite treten die Feldlinien aus der Spule aus (Nordpolseite) und wo gehen sie in die Spule hinein (Südpolseite)?**

5. Auf den Spulenendkappen gibt es **Markierungen**. Auf der einen Seite ein “+” mit einem Pfeil, auf der anderen ein “-” mit einem Pfeil. Diese Markierungen geben Auskunft darüber, wie der Spulendraht mit den Steckanschlüssen an den Enden verbunden ist, was man nämlich nicht direkt sehen kann. Sie sind folgendermassen zu lesen: “Wenn du den positiven Pol der Spannungsquelle bei + anschliesst und den negativen Pol bei -, so fliesst der Strom in der Spule in Pfeilrichtung.

Hauptaufgabe bei diesem Versuch: Bestätigt unter Verwendung der **Rechten-Hand-Regel** und vielleicht nach nochmaliger Betrachtung von Abbildung 8.3 im Skript, dass sich die Magnetpolung der Spule so ergeben muss, wie ihr es unter 4. beobachtet habt!

Betrachtet also die Stromrichtung in der Spule – ihr seht ja, wie sie angeschlossen ist und kennt die Markierungen an ihr – und beantwortet dann mit der RHR, wie die Richtung des Magnetfeldes im Spuleninneren aussehen muss. Fahrt dazu mit dem Daumen der rechten Hand der Stromrichtung um die Spule nach und schaut, wohin die gekrümmten restlichen Finger zeigen würden, wenn ihr sie ins Innere der Spule halten könntet.

6. Überzeugt euch davon, dass das Einschieben eines **Eisenkerns** in die Spule die magnetische Wirkung der Spule wesentlich verstärkt. Damit könnt ihr problemlos alle Nägel aus der Schachtel an den Eisenkern haften.

Weshalb verstärkt der Eisenkern die magnetische Wirkung der Spule?

N.B.: Die Spule mit Eisenkern ist der Prototyp eines typischen **Elektromagneten**.

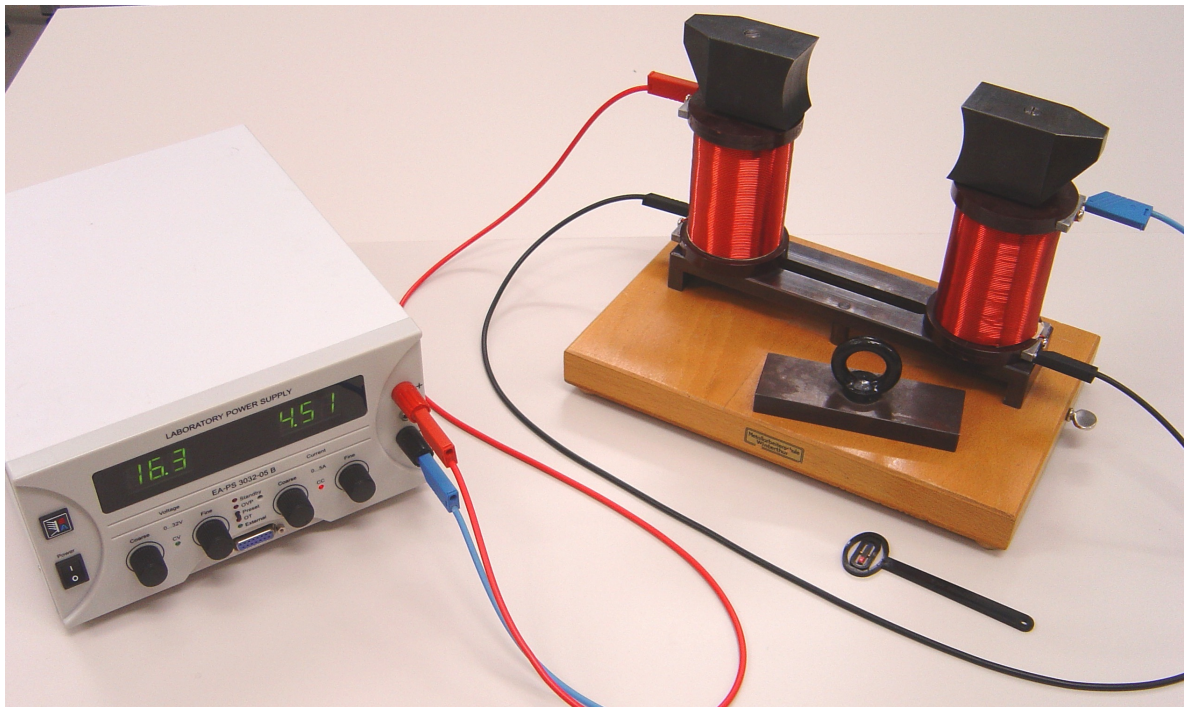
7. Stellt die Stromstärke kurzzeitig auf 10 A. Hebt die stromdurchflossene Spule inkl. Kern an und zieht dann den Eisenkern aus der Spule heraus. Da spürt ihr mal wirklich die elektromagnetische Wirkung des Stromes!

Achtet darauf den Eisenkern nicht fallen zu lassen (Dellen auf dem Tisch resp. im Fussboden) und seid auch vorsichtig, dass ihr euch selbst nicht wehtut. Der Eisenkern ist schwer und hart.

8. Stellt zum Schluss den Arbeitsplatz wieder so her, wie ihr ihn angetroffen habt.

Versuch D: Der Elektro-Hufeisenmagnet

Dauer: 15 Minuten



1. Begleitlektüre: Abschnitte 8.3 und 8.4 im Skript.
2. Vor euch habt ihr einen **Elektro-Hufeisenmagneten**. Fließt Strom, so wird einer der beiden **Polschuhe** (= Metallklötze oben auf den beiden Spulen) zum Nord- und der andere zum Südpol. Ziel eines derartigen Elektromagneten ist es zwischen den beiden Polschuhen ein einigermaßen **starkes, homogenes Magnetfeld** zu erzeugen.
Dafür müssen allerdings die Spulen richtig verkabelt sein, was im Bild oben der Fall ist. Schliesst die drei Kabel genau so an.
3. Stellt das Netzgerät an und lasst ca. 3 A Strom fließen.
Überprüft nun mit der **Magnaprobe** die Polungen der beiden Polschuhe. Wo ist der **Nordpol**, wo der **Südpol**?
Testet gerade das ganze Feld des Elektrohufeisenmagneten ein bisschen aus. Könnt ihr euch ein paar Feldlinien vorstellen?
4. Zwischenbemerkung: Der Hufeisenmagnet hat einen Eisenkern, der über den Eisenfuss unten vom einen zum anderen Polschuh führt. Dieser Eisenkern verstärkt die magnetische Wirkung des Spulenstroms und führt die Magnetfeldlinien in sich.

BITTE WENDEN!

5. Auf den Spulenendkappen gibt es **Markierungen**. Auf der einen Seite ein “+” mit einem Pfeil, auf der anderen ein “-” mit einem Pfeil. Diese Markierungen geben Auskunft darüber, wie der Spulendraht mit den Steckanschlüssen an den Enden verbunden ist, was man nämlich nicht direkt sehen kann. Sie sind folgendermassen zu lesen: “Wenn du den positiven Pol der Spannungsquelle bei + anschliesst und den negativen Pol bei -, so fliesst der Strom in der Spule in Pfeilrichtung.

Hauptaufgabe bei diesem Versuch: Bestätigt unter Verwendung der **Rechten-Hand-Regel** und vielleicht nach nochmaliger Betrachtung von Abbildung 8.3 im Skript, dass sich die Magnetpolung der Polschuhe so ergeben muss, wie ihr es unter 3. beobachtet habt!

Betrachtet also die Stromrichtung in den Spulen – ihr seht ja, wie sie angeschlossen sind und kennt die Markierungen an ihnen – und beantwortet dann mit der RHR, wie die Richtung des Magnetfeldes im Spuleninneren aussehen muss. Fahrt dazu mit dem Daumen der rechten Hand den Stromrichtungen um die Spulen nach und schaut, wohin die gekrümmten restlichen Finger zeigen würden, wenn ihr sie ins Innere der Spulen halten könntet.

6. Schliesslich geht es um die Demonstration der Stärke dieses Elektro-Hufeisenmagneten.

Schaltet den Strom aus. Legt danach den Klotz mit dem Griff oben auf die Polschuhe, sodass er zu gleichen Teilen auf den beiden Polschuhen liegt.

Schaltet jetzt den Strom wieder ein und zwar mit einer Stärke von z.B. 4.5 A.

Nun könnt ihr den ganzen Hufeisenmagneten am Griff hochheben. Mehr noch: Probiert doch mal den Klotz mit dem Griff vom Magneten zu entfernen. . .

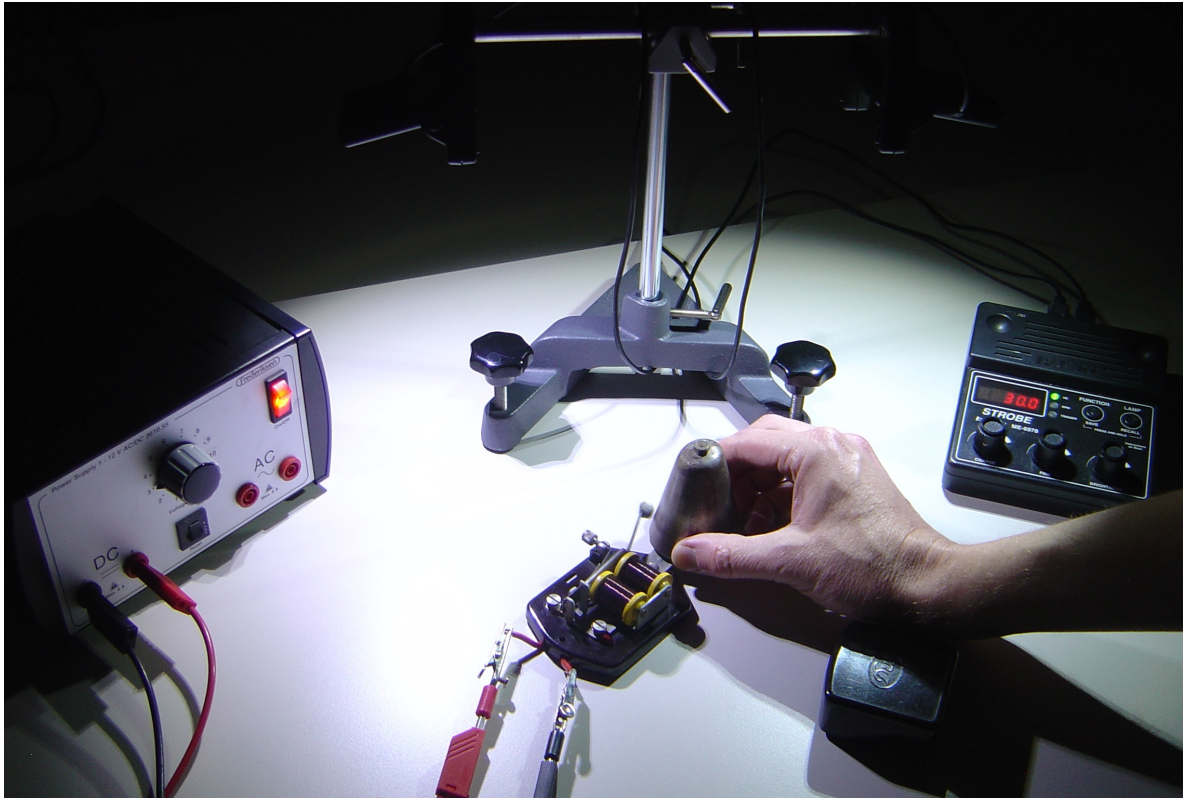
Bitte seid vorsichtig, wenn ihr irgendwo mit viel Kraft etwas versucht! Sonst tut ihr euch noch weh!

7. Stellt zum Schluss den Arbeitsplatz wieder so her, wie ihr ihn angetroffen habt.

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch E: Die elektrische Klingel im Stroboskoplicht

Dauer: 15 Minuten



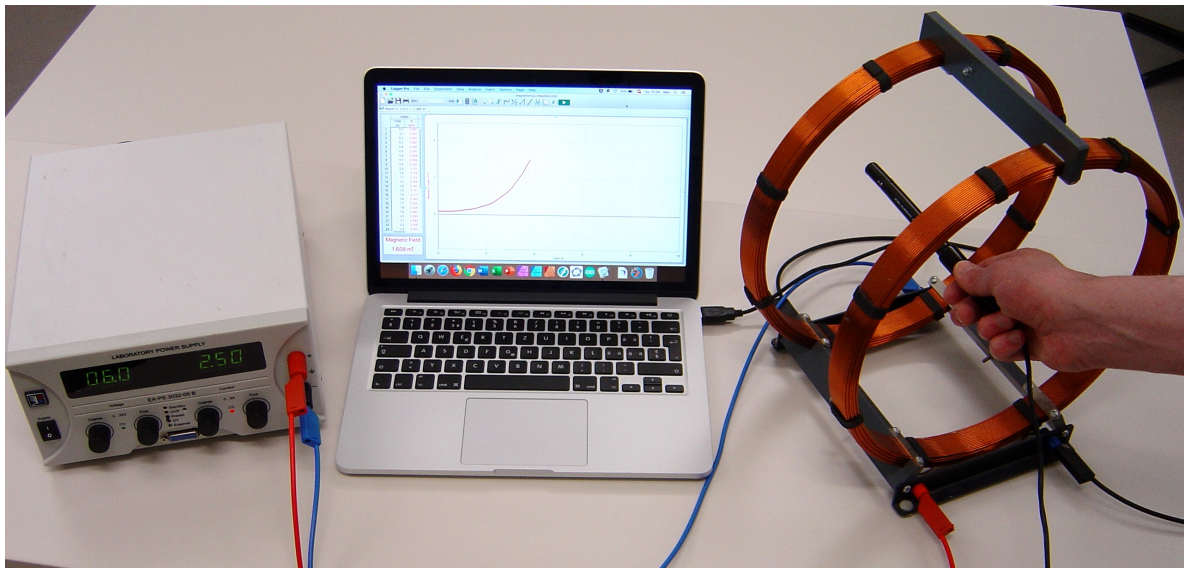
1. Ziel dieses Versuchs ist, dass ihr die elektrische Klingel aus **Aufgabe 5 in Übungsserie 8** live in Aktion gesehen habt und damit diese Aufgabe eben gut lösen könnt. Warum nicht gleich während diesem Versuch?!
2. Prüft **vor** dem Einschalten, dass der Regler am Netzgerät auf **3 V Spannung** eingestellt ist.
3. Sobald ihr einschaltet, beginnt die Klingel zu läuten. Damit es bei Betrieb nicht ständig so laut ist, könnt ihr die Glocke am besten am unteren Rand anfassen.
4. Schaut dem elektromagnetischen Mechanismus der Klingel zuerst bei normalem Zimmerlicht zu. Was fällt euch auf? Habt ihr schon Ideen zur Funktionsweise?
5. Schaltet das Zimmerlicht aus und verwendet jetzt das Stroboskoplicht. Stellt die Blitzfrequenz auf ca. 30 Hz ein.

Was beobachtet ihr nun während die Klingel läutet? Könnt ihr jetzt (noch) besser erkennen, wie die Klingel funktioniert?

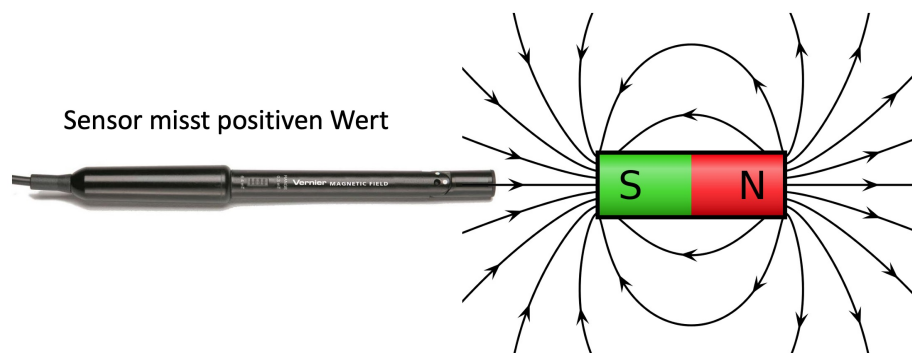
Tipp: Im Mechanismus gibt es einen Elektromagneten und ein magnetisierbares Bauteil.

Versuch F: Das Helmholtz-Spulenpaar auf dem Prüfstand

Dauer: 30 Minuten



1. Hier geht es darum mit einem **Hall-Sensor** magnetische Feldstärken zu erfassen. Damit misst ihr einerseits das **Erdmagnetfeld**, andererseits das Feld in einem **Helmholtz-Spulenpaar**. Natürlich könnt ihr auch die Magnetfelder von **Permanentmagneten** untersuchen.
2. **Zum Sensor:** Der Sensor misst die **Magnetfeldstärke** B senkrecht zur Sensorspitze mit dem weissen Punkt. Der Wert wird positiv, wenn die Spitze mit dem weissen Punkt in Richtung eines magnetischen Südpols gehalten wird:



Anders ausgedrückt: Der Sensor misst die Komponente des Magnetfeldes, die senkrecht durch die Fläche mit dem weissen Punkt hindurchsticht. Die positive Richtung ist diejenige aus der Sensorspitze hinaus.

Nebenbei: Der Sensor funktioniert aufgrund des sogenannten **Hall-Effekts**, den wir aber erst in der Übungsserie 10 näher kennenlernen werden.

BITTE WENDEN!

3. Startet mit der Inbetriebnahme des Mess-Settings. Der Magnetfeldsensor ist über eine Schnittstelle (G0!-Link) mit dem Computer resp. mit der Software **Logger Pro** verbunden. Sobald ihr das File `feldsensor.cmb1` öffnet, wird euch ein Diagramm mit horizontaler Zeit- und vertikaler B -Feld-Achse angezeigt. Ausserdem wird der aktuelle Messwert in einem separaten Teilbereich angezeigt. Damit arbeitet ihr zuerst.

Eichung: Immer, wenn das Programm neu gestartet wird, ist der Nullpunkt des Magnetfeldsensors erstmal verschoben und muss neu gesetzt werden. Im Prinzip müsste der Sensor dafür in ein Raumgebiet ohne Magnetfeld gehalten werden. Da wir so etwas wegen der Präsenz des Erdmagnetfeldes nicht zur Verfügung haben, müssen wir uns eines Tricks bedienen:

Haltet den Sensor horizontal in West-Ost-Richtung (und weit weg von irgendwelchen Permanentmagneten). So steht die Sensorspitze mit dem weissen Punkt senkrecht zum Erdmagnetfeld, sodass der Messwert 0 zu betragen hat.

Klickt nun in Logger Pro auf den Zero-Button oben (gleich links neben dem grünen Button für den Messstart. So wird der Nullpunkt des Sensors auf den aktuellen Wert festgelegt.

4. Nehmt einen **Stabmagneten** und schaut mal, was für Messwerte sich in dessen Umgebung finden lassen.
5. Legt die Permanentmagnete zur Seite und untersucht jetzt das **Erdmagnetfeld**. Dafür eignet sich vermutlich eine grafische Anzeige der Messwerte im Diagramm. Diese Messung könnt ihr mit dem grünen Start-Button aktivieren. Während 15 Sekunden werden Messwerte registriert und ins Diagramm eingetragen.

In welche Raumrichtung findet ihr die höchsten B -Feld-Werte? Weshalb?

6. Untersucht schliesslich das **Helmholtz-Spulenpaar**. Es sollte bereits korrekt verkabelt sein. Lasst nun einen Strom von z.B. 2.5 A durch das Spulenpaar fliessen.

Folgende Messung ist interessant: Bewegt den Magnetfeldsensor längs der Rotationsachse der Spulen durch das Spulenpaar hindurch, während die Messung läuft (siehe Bild zu Beginn der Anleitung). Geht schön langsam vor. D.h., startet etwa 30 cm vor dem Spulenpaar und bewegt dann den Sensor schön langsam mit vielleicht $6 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ durch das Spulenpaar, bis ihr auf der anderen Seite angekommen seid.

Nun müsstet ihre eine schöne Kurve erhalten haben, die ihr so ähnlich in **Abbildung 8.4 im Skript** wiederfindet.

Was ist nun das Spezielle am Helmholtz-Spulenpaar? Weshalb ist das im Labor eine sehr praktische Anordnung?

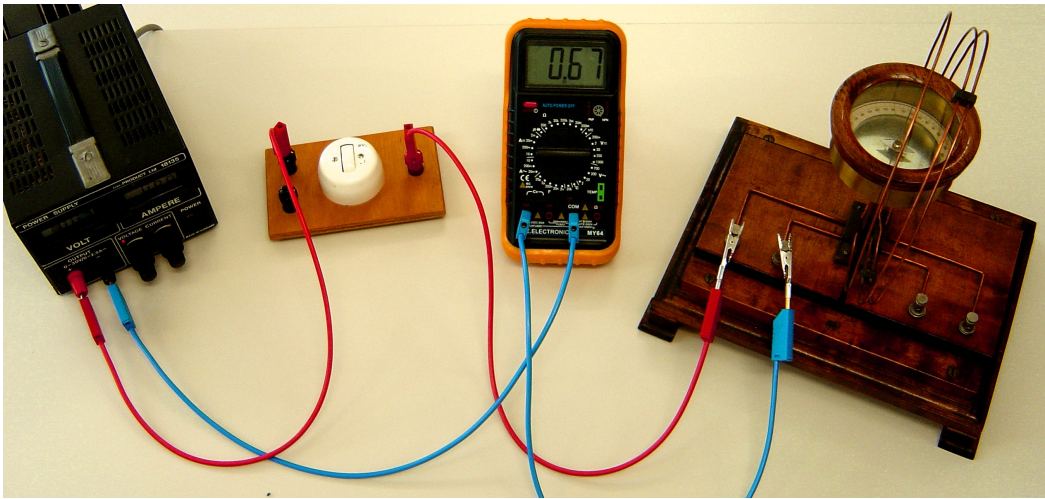
7. Schliesslich noch eine Rechnung. Das Helmholtz-Spulenpaar hat einen Spulenabstand von ca. 15 cm und die Windungszahl (jeder einzelnen Spule) beträgt $N = 124$.

Überprüft, ob sich bei der von euch eingestellten Stromstärke mit Formel (8.3) in etwa der B -Wert errechnen lässt, den ihr im Spuleninneren auch gemessen habt!

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch G: Drahtschleife vs. Erdmagnetfeld

Dauer: 30 Minuten



1. Der fast schon historisch anmutende Schulversuch auf dem Holzsockel besteht aus einem Kompass in der Mitte und einer einzelnen resp. einer doppelten **Drahtschleife**, die kreisförmig um den **Kompass** herumführen. **Wir verwenden nur die einzelne Schleife**, die doppelte lassen wir ausser Betrieb. Das vom Strom in der Drahtschleife hervorgerufene Magnetfeld kann, wenn der Strom hinreichend stark ist, die Kompassnadel ablenken.

Wir wollen die Frage beantworten, welche Stromstärke in der Schleife mindestens fließen muss, damit die Kompassnadel sichtlich von ihrer Ausrichtung im Erdmagnetfeld abweicht.

Diese Frage ist interessant, weil ihre Beantwortung uns darüber Aufschluss geben mag, wie stark die Batterie (**Volta'sche Säule**) in etwa gewesen sein muss, mit der **Hans Christian Oersted** seine Entdeckung des Elektromagnetismus gemacht hat. Batterien liefern ja nicht beliebig grosse Stromstärken, weil der chemische Prozess dazu gar nicht fähig ist.

Aber eins nach dem anderen...

2. Lasst zunächst noch keinen Strom fließen. Überzeugt euch davon, dass die Kompassnadel jetzt mit einer Spitze nach Norden zeigt. Dies ist ihr Nordpol.

Stellt danach den Versuch so auf, dass die Schlaufenebene in Nord-Süd-Richtung steht. Auf diese Weise wird das von der Schleife erzeugte Magnetfeld am Ort des Kompasses nachher genau senkrecht zum Erdmagnetfeld, also in Ost-West-Richtung stehen.

3. Schaltet nun den Strom an, und zwar gleich so stark, wie es das Netzgerät zulässt (ca. 2.5 A). Schaut euch an, wie sich die Kompassnadel nun auch am Magnetfeld des Stromes ausrichtet. Beim Einschalten des Stromes dreht sie sich klar von der Nord-Südrichtung weg. Ihre Ausrichtung wird am Ende etwa in der Mitte zwischen Nord-Süd- und Ost-West-Richtung liegen. Das bedeutet, in diesem Moment sind das Erdmagnetfeld und das Schlaufenmagnetfeld etwa gleich stark.

BITTE WENDEN!

- Überprüft mit der **Rechten-Hand-Regel**, dass das Magnetfeld der Schlaufe am Ort des Kompasses wirklich parallel zur Ost-West-Richtung ist: Dazu fahrt ihr mit dem Daumen der rechten Hand der Stromrichtung in der Schlaufe nach und schaut, wohin die restlichen, gekrümmten Finger im Innern der Schlaufe zeigen.

Vielleicht hilft euch hier die Veranschaulichung in **Abbildung 8.3 im Skript**.

- Nun sollt ihr die Stromstärke berechnen, die eingestellt werden muss, damit die Kompassnadel beim Einschalten des Stromes sich minimal, aber doch sichtbar um ein wenig dreht.

Dazu treffen wir folgende **Annahme**: Damit die Nadel sichtbar aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt wird, muss das Feld der Schlaufe mindestens $\frac{1}{10}$ so stark sein wie das Erdmagnetfeld. Es soll also gelten:

$$B_{\text{Schlaufe}} \geq \frac{1}{10} B_{\text{Erde}}$$

Dabei ist mit B_{Erde} allerdings nicht der ganze Betrag der Feldstärke des Erdmagnetfeldes gemeint, sondern nur dessen horizontale Komponente, denn nur sie ist für die horizontale Ausrichtung der Kompassnadel verantwortlich. Diese horizontale Komponente ist im Skript auf Seite 58 angegeben.

Für die Stärke des Schlaufenfeldes am Ort der Kompassnadel muss Gleichung (8.2) aus dem Skript verwendet werden. Darin kommt die das Magnetfeld erzeugende Stromstärke I vor. Es gilt den Minimalwert für dieses I zu berechnen.

Den Durchmesser d der Schlaufe könnt ihr ausmessen oder abschätzen.

- Wenn ihr einen Wert für I bestimmt habt, so schaut einen Moment lang nicht mehr auf den Kompass. Stellt die errechnete Stromstärke ein und schaltet anschliessend den Strom mit dem Schalter aus.

Wartet noch einen kurzen Moment, bis sich der Kompass wieder ganz in Nord-Süd-Richtung positioniert hat. Nun beobachtet ihr, was passiert, wenn ihr den Schalter wieder schliesst und den Strom fliessen lässt. Sieht man eine kleine Neuausrichtung der Nadel?

- Résumé**: Was sagt ihr nach dieser Rechnung und der Beobachtung, ist die Annahme " $\frac{1}{10}$ des Erdmagnetfeldes, damit man etwas sieht" so in Ordnung?
- Vertiefung**: Ähnliche Rechenaufgaben findet ihr in Übungsserie 8 (Aufgaben 2.(d) und 6.(a)).