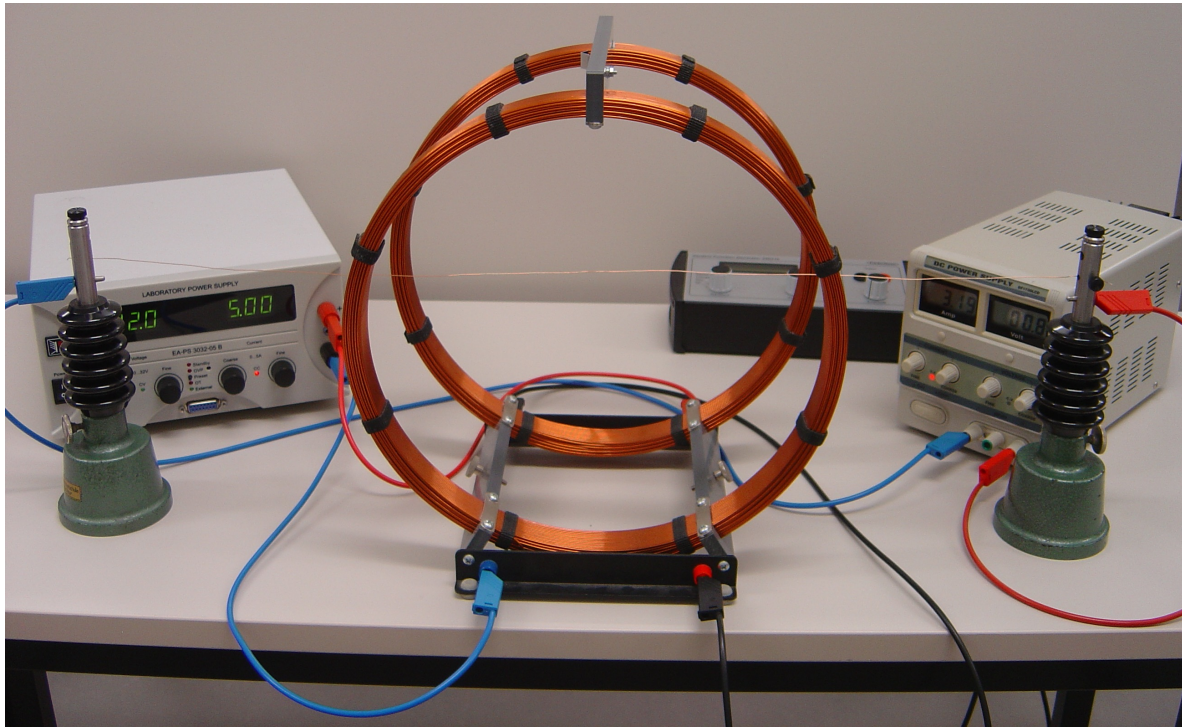


Versuch H: Ein Draht im Helmholtz-Spulenpaar

Dauer: 25 Minuten



1. Dieser Versuch gehört zur **Aufgabe 3 in Übungsserie 9**. Nehmt sie doch gleich hervor.
2. **Setting:** Der Aufbau besteht aus zwei voneinander getrennten Stromkreisen. Das Netzgerät links lässt den **Strom** I_{HH} im **Helmholtz-Spulenpaar (HHSP)** fließen. Dasjenige rechts erzeugt den **Strom** I_D im dünnen **Draht**, der den Innenraum des Helmholtz-Spulenpaares passiert.
3. **Das Spulenfeld:** Schaut – vorerst ohne einzuschalten – wie der Strom I_{HH} durch das HHSP geführt wird: Der Strom fließt von Plus nach Minus; es ist gut erkennbar, in welche Umlaufrichtung der Draht von den Anschlüssen aus in die Spule hineingeführt wird.
Überlegt euch aufgrund der Stromumlaufsrichtung, in welche Richtung das **Magnetfeld** B_{HH} im Innenraum des HHSPs zeigt (RHR). Auf dem Bild oben wäre das z.B. in unsere Richtung.
Schaltet danach den Spulenstrom ein (zunächst nur etwa $I_{HH} = 2.5\text{ A}$) und überprüft mit der Magnaprobe, ob das Feld wie vorausgesagt verläuft.
4. **Die Versuchsidee:** Der dünne Draht passiert das Magnetfeld des HHSPs. Führt er den Strom I_D , so erfährt er in diesem B -Feld eine **Lorentzkraft** F_L . Die Stromrichtung soll so gewählt sein, dass der Draht nach oben gedrückt wird, dass also F_L nach oben wirkt. Die Frage ist, ob dieser Effekt genügend stark ist, um ihn zu beobachten...
Überlegt euch jetzt, ob der Strom I_D von rechts nach links oder von links nach rechts durch das HHSP fließen muss, damit die Lorentzkraft F_L im Feld B_{HH} nach oben wirkt.

5. **Komplette Inbetriebnahme:** Öffnet den Schalter für den Drahtstrom I_D , schaltet dessen Netzgerät ein und lasst gut 3 A Stromstärke durch ihn fließen. Schliesst danach den Schalter wieder (Strom ist unterbrochen).

Fahrt nun den Strom I_{HH} auf 5 A hoch.

Achtung! Diese 5 A sollten nicht sehr lange durch das HHSP fließen, sonst überhitzt es! Schaltet diesen Strom also immer wieder aus und achtet darauf, dass die Temperatur des HHSPs höchstens warm, aber nie heiss wird!

6. **Die eigentliche Beobachtung:** Schaltet jetzt den Strom I_D mit dem Schalter mehrfach ein und wieder aus. Beobachtet dabei, ob sich der Draht im HHSP bewegt (anheben/absenken).

Ihr solltet beobachten, dass der Draht bei fließendem Strom ein bisschen höher liegt als ohne, aber ganz nach oben kann er offensichtlich nicht gedrückt werden.

Fazit: In unserem Versuch kann die Lorentzkraft F_L die Gewichtskraft F_G des Drahtes nicht ganz überwinden.

7. **Begleitrechnung:** Dieses Fazit des Versuchs wollen wir rechnerisch bestätigen.

- (a) Berechnet die Stärke B_{HH} des Magnetfeldes im Innern des HHSPs (vgl. Formel (8.3) auf Seite 62 im Skript): $N = 124$, $I_{HH} \approx 5$ A, $R \approx 15$ cm. (Antwort: $B_{HH} \approx 3.7$ mT)
- (b) Berechnet die Lorentzkraft F_L , die der Draht im Spuleninnern erfährt (vgl. Formel (9.1) auf Seite 66 im Skript): $I_D \approx 3$ A, $l \approx 30$ cm (= Länge des Drahtes im Innenraum des HHSP), $\varphi = ?$. (Antwort: $F_L \approx 3$ mN)
- (c) Der etwa 60 cm lange Kupferdraht besitzt eine Masse von gerade etwa 1 g. Würde die Lorentzkraft den Draht waagrecht halten, so wäre der Draht etwa zur Hälfte von ihr und zur anderen Hälfte von den beiden Stützen getragen.
Wie gross müsste F_L folglich in der waagrechten Lage sein? (Antwort: ca. 5 mN)

Vergleicht nun die beiden Resultate aus (b) und (c) miteinander. Ist damit nachvollziehbar, was ihr unter 6. beobachtet habt?

8. **Ein hübscher Effekt zum Schluss:** Anstelle des bisherigen Netzgerätes für I_D könnt ihr auch den Frequenzgenerator verwenden. Das bedeutet, im Draht fließt Wechselstrom mit einer von euch wählbaren Frequenz. In der Folge schwingt der Draht auf und ab. . .

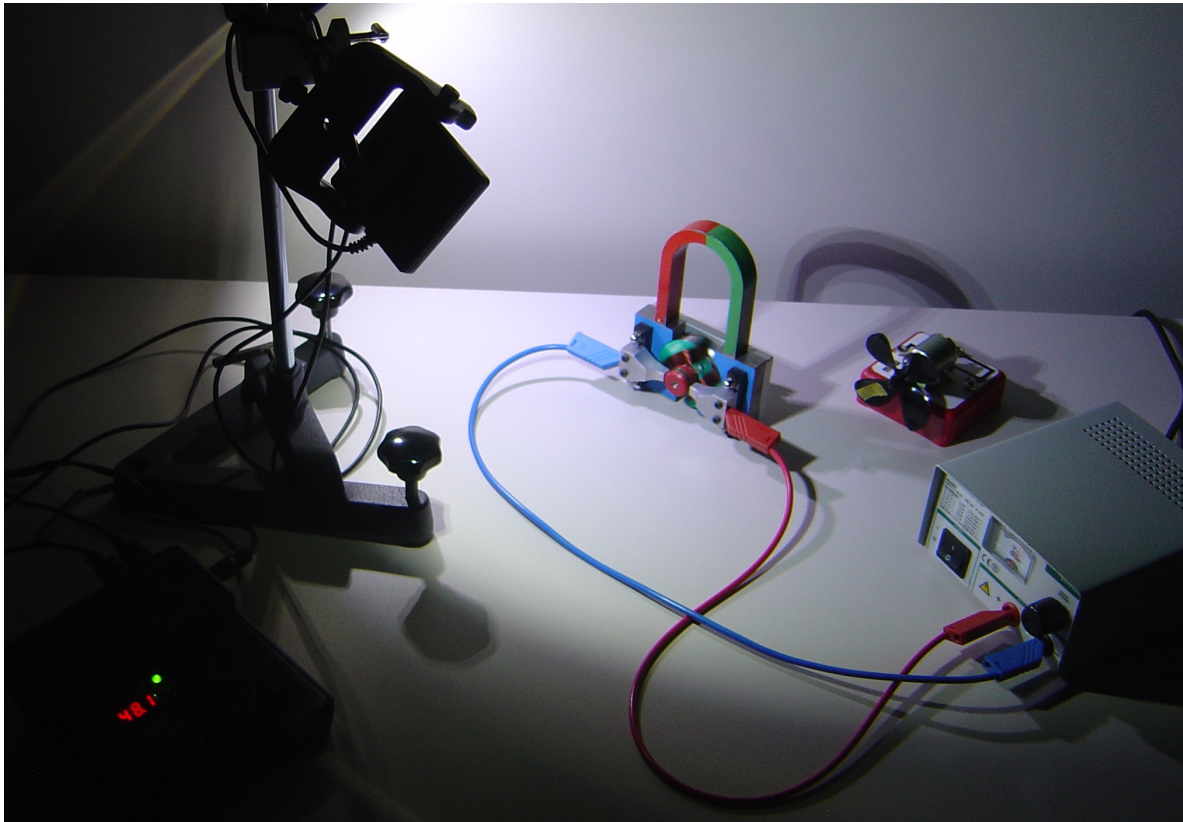
Hinweise: Verwendet am besten sinusförmigen Wechselstrom (Regler links am Frequenzgenerator.) Der Frequenzgenerator kann maximal 1 A Stromstärke liefern. Der beobachtete Effekt ist also nicht besonders stark.

Denkt daran, dass das HHSP nicht überhitzen sollte.

9. **Aufräumen:** Schliesst für die nächste Gruppe den Draht wieder ans ursprüngliche Netzgerät an.

Versuch I: Ein Elektromotor im Stroboskop-Licht

Dauer: 25 Minuten



1. **Einleitung:** Zur Erklärung der Funktionsweise eines Elektromotors gibt es mehrere Varianten. Eine davon lernt ihr in diesem Versuch kennen. Sie funktioniert alleine mit der Regel von Oersted, also mit der RHR resp. der Tatsache, dass ein Strom ein Magnetfeld erzeugt. (Die Lorentzkraft wird also nicht benötigt.) erinnert euch daran, dass eine stromdurchflossene Spule an einem Ende einen Nord- und am anderen Ende einen Südpol aufweist. . .

2. **Der laufende Motor:** Schaut euch zuerst bei ganz normalem Licht (ohne Strobo) den laufenden Motor an. Dazu schließt ihr den Motor wie auf dem Bild oben ans kleine Netzgerät an.

Für den Motor darf die Spannung am Netzgerät höchstens halb aufgedreht werden!

Es kann vorkommen, dass ihr den Motor zu Beginn leicht anstoßen müsst, damit er sich zu drehen beginnt. Danach dreht er aber sehr gut von alleine.

Überzeugt euch davon, dass es für das Laufen des Motors den Hufeisenmagneten braucht. Entfernt diesen dazu mal vom Motor (einfach abnehmen).

Ihr dürft den Magneten auch in **umgekehrter Polung** an den Motor halten. Was passiert mit der **Drehrichtung**?

Ebenso dürft ihr am Motor die **elektrische Polung vertauschen**. Wie sieht es nun mit der Drehrichtung aus?

3. **Erklärungsvideo:** Schaut euch jetzt ein **Erklärungsvideo zum Elektromotor** an. Den Link dazu findet ihr auf eurer Unterlagenseite auf agertsch.ch beim Versuch I.

Fragen zum Video resp. zum Verständnis des Elektromotors

- (a) Macht euch klar, wo bei eurem realen Elektromotor der **Stator**, der **Rotor**, der **Kommutator (= Stromwender)** und die **Schleifkontakte** sind.
- (b) Am realen Modell ist der **Stator** etwas anders als im Video. Welche Teile gehören neben dem Hufeisenmagneten noch dazu?
- (c) Im Video und in der Realität besteht der **Rotor** aus **zwei Komponenten**, nämlich?
Was für einen Namen könnte man dem Rotor folglich auch geben?
- (d) Nach jeweils 180° wird der Strom kurzzeitig unterbrochen. Erkennt ihr am realen Objekt, weshalb das so ist? Zu welchem Zeitpunkt der Drehung resp. in welcher Lage des Rotors ist dies jeweils der Fall? Und weshalb muss es genau dann der Fall sein?
- (e) Weshalb gibt es beim realen Motor bei den Schleifkontakten kleine Funken/Blitze?
- (f) Fasst für euch nochmals in Worte, weshalb es den **Kommutator**, also den **Stromwender** braucht, damit der Motor ständig in dieselbe Drehrichtung weiterdrehen kann.
- (g) Weshalb könnte mit mehreren Spulen ein ruhiger laufender Motor gebaut werden und was hat diese Frage mit der Feststellung zu tun, dass unser reales Modell manchmal einen Startschubser benötigt?

4. **Elektromotor und Stroboskoplicht:** Betrachtet nun den Elektromotor unter Stroboskoplicht. Könnt ihr seine Drehfrequenz ermitteln?

Tipp: Am Stroboskopgerät gibt es einen groben und einen feinen Frequenzregler!

Hinweis: Witzig ist vor allem, dass der Motor im Stroboskoplicht mit passender Frequenz ja praktisch stillzustehen scheint. Dann kann der Eindruck entstehen, dass durch Veränderung der Stroboskopfrequenz der Motor seine Drehbewegung verändert, obwohl wir ja genau wissen, dass dies nicht der Fall sein kann.

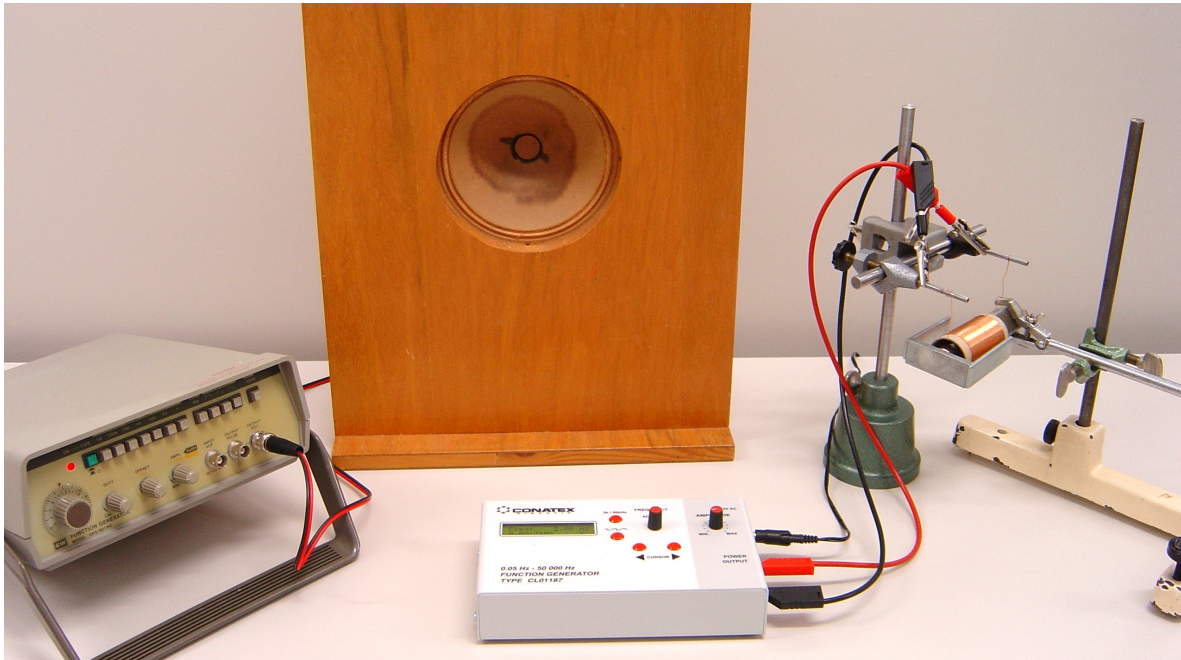
5. **Der Ventilator im Stroboskoplicht:** Versucht auch beim Ventilator die Drehfrequenz zu bestimmen.

Achtung! Zum Betrieb des Ventilators sind die elektrischen Pole korrekt an diesen anzuschliessen (Beschriftungen!) und das Netzgerät soll höchstens auf einen Viertel aufgedreht werden.

Hinweis: Es ist gar nicht so einfach die Drehfrequenz des Ventilators mit Sicherheit anzugeben. Wenn ihr am Stroboskop eine passende Frequenz eingestellt habt (Motor steht scheinbar still), verdoppelt oder halbiert sie mal und schaut, wie die Sache dann aussieht. Was schliesst ihr daraus?

Versuch J: Die Schwingspule im dynamischen Lautsprecher

Dauer: 25 Minuten



1. Dieser Versuch gehört zur **Aufgabe 2 in Übungsserie 9**. Nehmt sie doch gleich hervor.
2. **Ziel:** Es geht darum zu verstehen, wie ein **dynamischer Lautsprecher** funktioniert. Einen solchen habt ihr gross vor euch stehen. In dessen Innerem gibt es eine einen **Permanentmagneten** und eine **Schwingspule**. Damit kann die Membran in Schwingungen versetzt werden, was zur Aussendung von **Schallwellen** führt. Schallwellen sind Verdichtungen und Verdünnungen der Luft, die sich in dieser mit Schallgeschwindigkeit fortpflanzen.
3. **Untersuchung des Lautsprechers:** Nehmt eine **Magnaprobe** und untersucht damit das kleine Kästchen an der Rückseite des Lautsprechers. Es geht vor allem darum zu verifizieren, dass sich dort ein Permanentmagnet befindet. Dessen Polung genau anzugeben ist nicht so gut möglich.
4. **Schwingungen und Töne:** Der Lautsprecher hängt an einem **Frequenzgenerator**.
Bevor (!) ihr diesen mit dem grünen Knopf einschaltet, nehmt folgende Einstellungen vor:
 - **Frequenz-Drehregler** links auf die 1.
 - **Frequenzbereich** (linke Knopfreihe oben) auf 1 (Knopf ganz rechts).
 - Schwingungsart (Knopfreihe oben rechts) auf die **Sinuskurve**.
 - Die Regler **DUTY** und **OFFSET** sollten ganz nach links gedreht sein.
 - Den Amplitudenregler **AMP** nur etwa halb aufdrehen.

Nun könnt ihr einschalten. Betrachtet die Lautsprechermembran und seht, wie sie im Sekundenrhythmus pulsiert.

5. **Schnelles Vibrieren und Sinustöne:** Mit den Frequenzbereichsknöpfen (Grössenordnung) und dem Drehregler (Frequenzfaktor von 0.2 bis 2) könnt ihr diese Schwingung nun verschleunern bis hinauf zu mehreren tausend Hz. Ab ca. 40 Hz beginnt ihr einen tiefen Ton zu hören.

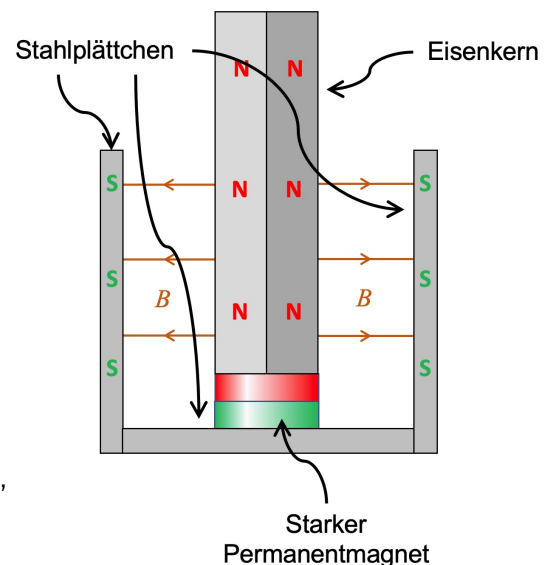
Hinweis: Bei höheren Frequenzen können diese Sinustöne sehr penetrant werden. Nehmt Rücksicht auf eure Kameradinnen und Kameraden!

Sehr schnelle Schwingungen sieht man der Membran nicht mehr an. Allerdings dürft ihr die Membran ruhig berühren und dann merkt ihr sicher bis hinauf zu 100 Hz ganz gut, dass da etwas vibriert, also schwingt. (50 Hz → Frequenzbereich auf 100, Drehregler auf 0.5).

6. **Der Aufbau des Schwingspulen-Prototyps:** Nun ist die Behauptung, dass die Schwingung der Membran durch eine Schwingspule hervorgerufen wird, die im Spalt eines Ringmagneten durch Lorentzkräfte hin und her bewegt wird (vgl. Serie 9, Aufgabe 2).

Neben dem Lautsprecher seht ihr dieses Prinzip in rudimentärer Form nachgebaut:

- Ein starker Permanentmagnet bildet zusammen mit einem Eisenkern und drei Stahlplättchen einen E-artigen Magneten. Das ist zwar nicht die Form eines Ringmagneten, dennoch wird es so sein, dass der Eisenkern z.B. ein Nord- und die Stahlplättchen Südpole sind (siehe rechts).
- Um den Eisenkern ist eine selbst hergestellte Spule aus Kupferdraht aufgehängt. Idealerweise berührt sie den Eisenkern nicht (keine Reibung). Diese Spule befindet sich im B -Feld des konstruierten Magneten. Die Feldlinien stechen aus dem Innenraum der Spule durch die Drähte aus der Spule hinaus. Fließt in der Spule Strom, so muss dieser Lorentzkräfte erfahren!



7. **Inbetriebnahme der Schwingspule Marke "Eigenbau":** Die selber gebaute Schwingspule ist an einen zweiten Frequenzgenerator angeschlossen.

Dreht die Amplitude des Frequenzgenerators stets auf 0, bevor ihr die Schwingspule in Betrieb nehmt! Der Amplitudenregler rechts muss quasi euer Ein- und Ausschalter sein.

Stellt nun zuerst die Frequenz ein, die ihr gerne haben möchtet. Startet auch hier mit 1 Hz. Später lohnt es sich über verschiedene Stationen bis 50 Hz hochzugehen.

Nachdem die Frequenz eingestellt ist, könnt ihr die Amplitude langsam hochfahren.

Achtung! Es braucht wirklich nur eine geringe Amplitude um den Effekt schon hinreichend gut zu sehen!

Bei geringer Frequenz seht ihr sehr gut, wie die Schwingspule vorwärts und rückwärts geht. Bei 50 Hz ist das Schwingen selber kaum mehr sichtbar. Haltet aber ruhig mal einen Finger gegen das Ende der Spule, dann merkt ihr sehr gut, dass sie sehr schnell vibriert. So wird plausibel, dass der Lautsprecher tatsächlich mit einem derartigen Mechanismus arbeitet!

8. Überlegt euch selber ganz genau, weshalb die Spule hin und her schwingt.

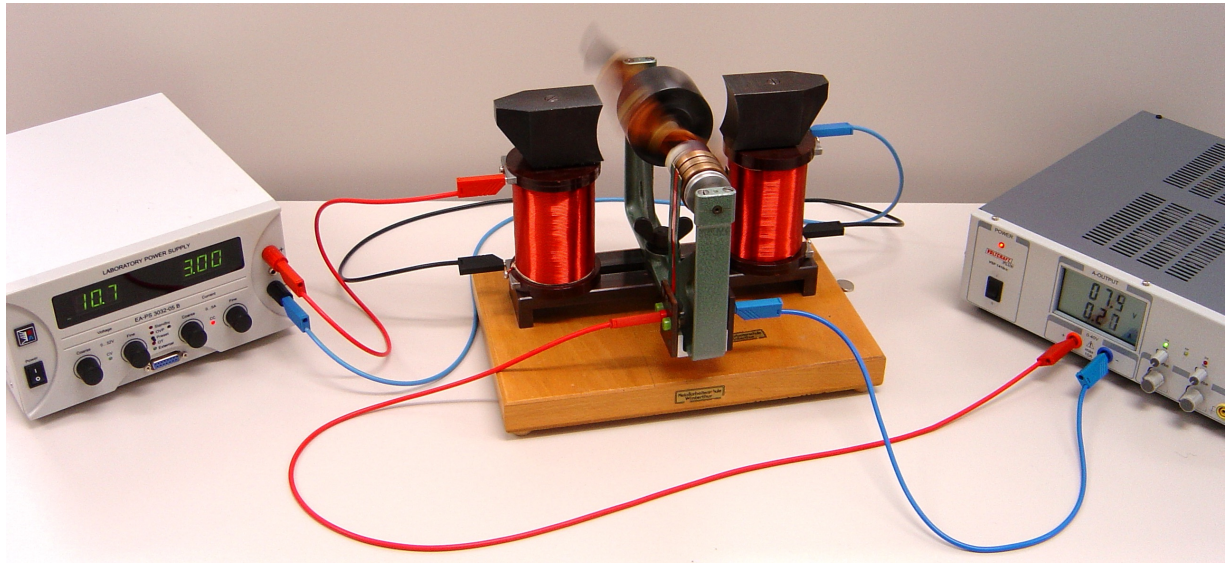
Hinweis: Der Strom in ihr ist ein Wechselstrom, der seine Richtung so schnell ändert, wie ihr das am Frequenzgenerator einstellt!

Vielleicht hilft euch dabei auch die Aufgabe 2 in Serie 9 resp. allenfalls deren Lösung, die ihr auf agertsch.ch abrufen könnt.

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch K: Der grosse Elektromotor-Prototyp

Dauer: 25 Minuten



1. **Ziel:** Die Drehung eines **Elektromotors** kann einerseits durch **Lorentzkräfte (3FR)**, andererseits durch die **Oersted'sche Regel (RHR)** erklärt werden. Beide Erklärungen sind absolut äquivalent und liefern dieselben Erkenntnisse, z.B., dass ein Gleichstromelektromotor auf einen **Kommutator** angewiesen ist, also alle 180° die Stromrichtung gewechselt werden muss. Ziel ist, dass ihr beide Erklärungsarten gut versteht.
2. Zu diesem Versuch gehört die **Aufgabe 1 in Übungsserie 9**. Nehmt sie doch gleich hervor.
3. Zuerst denkt ihr euch mal die Drehspule weg. Es geht nur um den Elektro-Hufeisenmagneten rund herum, der das externe **Magnetfeld** erzeugt, in dem sich die Drehspule später drehen wird. Die Verkabelung ist so, dass der linke **Polschuh** ein Nord- und der rechte ein Südpol ist, sodass zwischen diesen beiden Polschuhen ein starkes **Magnetfeld nach rechts** entsteht.
Schaut euch dazu die Frage (a) aus Aufgabe 1 in Übungsserie 9 an und beantwortet sie mittels der RHR!
4. Schaut euch nun die **Drehspule** an. Ein paar Anmerkungen:
 - Zunächst fällt der runde, löcherige Metallklotz im Zentrum der Spule auf. Er verstärkt nochmals das Magnetfeld vom linken zum rechten Polschuh.
 - Die Drehspule hat ca. 250 Windungen. Daran entdeckt ihr die beiden **Spulenausgänge**. Sie führen zu den **Schleifkontakten** am sogenannten **Kommutator**.
 - Es sind zwei Schleifkontakte in Gebrauch. Schaut euch den **Messingzylinder** an, an dem sie sich befinden. Er besteht aus zwei separierten **Zylinderhälften**. Immer eine davon ist mit dem **Pluspol** (rot) des Netzgerätes verbunden, die andere mit dem **Minuspole** (blau).
 - Die beiden Spulenausgänge sind also abwechselnd mit dem Plus- und dem Minuspol in Kontakt. Deshalb nennen wir diese Vorrichtung einen **Kommutator** (= "Miteinander-Vertauscher" = **Stromwender**).
Aus der Sicht des Kommutators ist immer der linke Spulenausgang mit dem Pluspol verbunden. Dort fließt der Strom in die Drehspule hinein.

5. **Inbetriebnahme:** Unser Elektromotor-Prototyp besteht aus zwei Stromkreisen, einem "äusseren" mit den Spulen für das Magnetfeld und einem "inneren" mit der Drehspule, die sich im Magnetfeld der äusseren Spulen befindet.

Stellt zuerst den Strom im äusseren Stromkreis an. 3 A genügen.

Jetzt könnt ihr den Strom in der Drehspule hochfahren. Wenn sich der Motor nicht sofort von selbst zu drehen beginnt, braucht die Drehspule vielleicht einen kleinen Schubser. Danach müsste es aber rasant losgehen, wenn die Stromstärke gross genug ist.

Sofort könnt ihr bemerken, dass sich die Geschwindigkeit des Motors bestens mit dem Regler des Drehspulenstroms steuern lässt.

6. Wie funktioniert nun der Elektromotor? Dazu verweise ich euch auf die **Aufgabe 1.(b) in Übungsserie 9**. Schaut euch sicher auch die zugehörigen Lösungen an.

Wenn ihr meint alles verstanden zu haben, dürft ihr mich gerne rufen und mir die zwei Erklärungsvarianten (Lorentzkraft und Oersted) direkt am Prototyp vorzeigen! Natürlich stehe ich auch für Klärungsfragen gerne zur Verfügung.

Diese Erklärungen gut zu verstehen ist das zentrale Ziel dieses Versuchs!

7. Schliesslich sollt ihr noch konkret anschauen, wie die Sache **ohne** Kommutator aussehen würde. Genau dafür gibt es die beiden grünen Stromanschlüsse resp. Schleifkontakte. Wie ihr bemerkt, sind die zugehörigen Messingzylinder nicht mehr unterbrochen. Jeder der beiden ist fix mit einem der beiden Spulenausgänge verbunden.

Schliesst jetzt das blaue und das rote Kabel des Drehspulenstromkreises an die beiden grünen Buchsen an. So fliesst der Strom in der Drehspule immer in dieselbe Richtung.

Wie sieht es nun aus mit der Drehung des Elektromotors? Probiert es aus? Habt keine Angst dafür die Drehspule wirklich anzufassen und die Lorentzkraft zu spüren, die da je nach Lage zu drehen versucht.

8. Falls noch Zeit bleibt, befasst euch doch noch mit dem Rest von Aufgabe 1 aus Serie 9.

Versuche zum Elektromagnetismus

Versuch L: Die alte Definition des Amperes

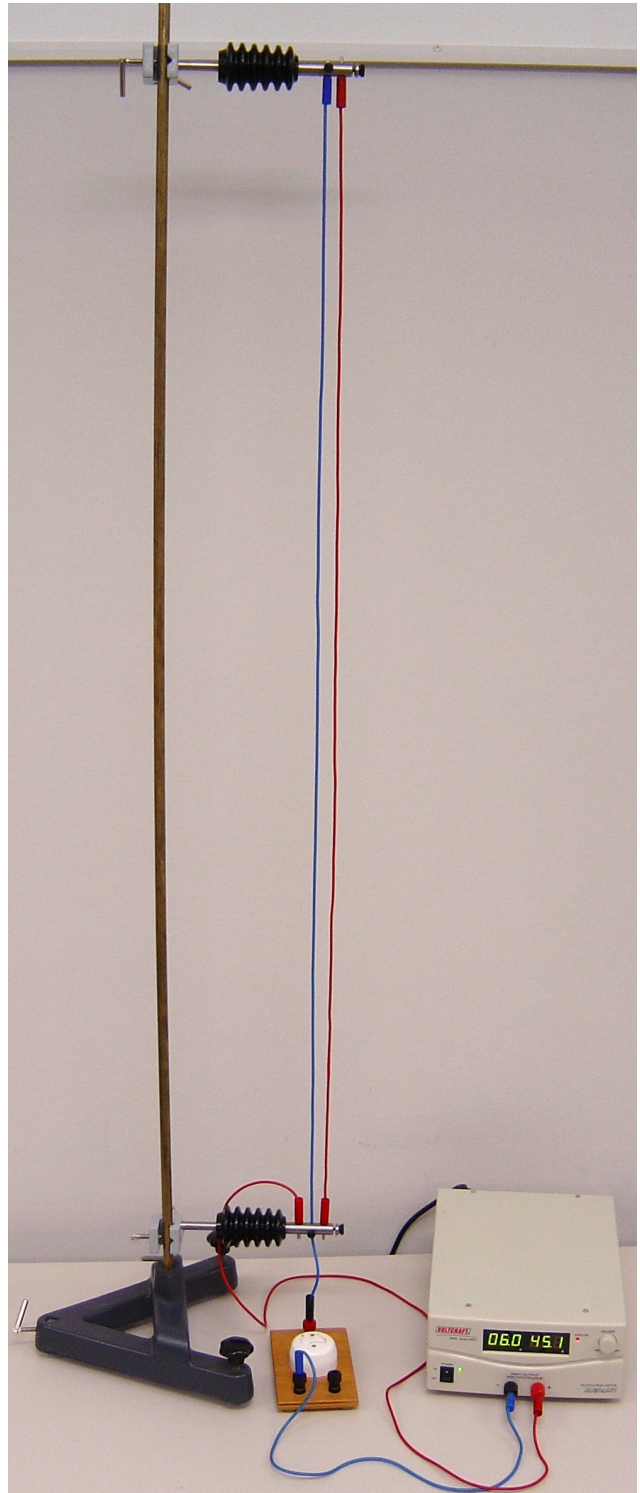
Dauer: 25 Minuten

1. **Begleitlektüre:** Zu diesem Versuch gehört im Skript der **Abschnitt 9.4** und in der Übungsserie 9 die **Aufgabe 6**. Nehmt diese beiden Unterlagen hervor, sodass hier darauf referiert werden kann.

2. Vor euch habt ihr eine Installation zweier **parallel zueinander verlaufender, senkrecht stehender Kabel** (siehe rechts). Schaut euch zuerst den Verlauf des Stromkreises an:

Vom Pluspol des Netzgerätes fließt der Strom in die untere isolierte Halterung und von dort dann durch das rote Kabel nach oben zur anderen Halterung. Das blaue Kabel führt den Strom wieder nach unten. Es durchquert ein Loch in der unteren Halterung, hat also keinen leitenden Kontakt zu dieser. Schliesslich ist ein Schalter eingebaut, sodass der Stromkreis geschlossen oder unterbrochen werden kann, ohne dafür das Netzgerät ein- oder ausschalten zu müssen.

3. Beobachtet jetzt zuerst den Effekt, den es zu sehen gibt. Er ist nicht stark – wir arbeiten hier mit einzelnen Kabeln und nicht mit Spulen – sodass es eine grosse Stromstärke (gut 40 A) braucht, um überhaupt etwas zu sehen.
 - i. Zuerst soll der Schalter den Strom unterbrechen.
 - ii. Dreht den Regler am Netzgerät voll auf.
 - iii. Falls sich die beiden Kabel noch etwas bewegen, wartet kurz, bis das nicht mehr der Fall ist.
 - iv. Beobachtet jetzt ganz genau die beiden Kabel etwa auf mittlerer Höhe und schaut euch an, was passiert, wenn ihr den Schalter betätigt und somit den Strom fließen lässt.



Wichtig! Ihr arbeitet gerade mit 40 A Stromstärke! Die Kabel werden rasch heiss.
→ **Bitte jeweils den Strom bald wieder ausschalten!**

4. Offensichtlich stossen sich die beiden Kabel gegenseitig ab. Im Weiteren geht es darum diese Abstossung gut zu verstehen. Einerseits lässt sie sich durch eine kombinierte Anwendung von RHR und 3FR erklären, andererseits durch die Feststellung, dass sich abstossende Objekte ein Feldlinienbild ohne gemeinsame Feldlinien aufweisen.

Alle Erläuterungen findet ihr im Skript und in der Aufgabenserie 9. Hier die empfohlene Vorgehensweise:

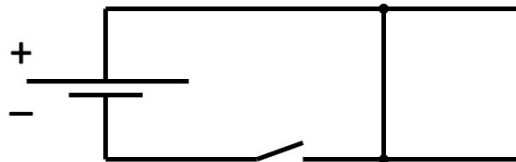
- (a) Studiert den Text rund um die Rechnung unten auf Seite 67 im Skript. Betrachtet dazu Abb. 9.3 auf Seite 68.

- (b) Nehmt Aufgabe 6 aus Übungsserie 9 zur Hand und bearbeitet zunächst (a) und (b).

Tipp: Es gibt Lösungen auf agertsch.ch.

- (c) Ruft mich herbei, um mir die Abstossung der beiden Kabel mittels der Handregeln zu erklären.

5. Mit den zusätzlichen Stromkabeln könnt ihr auch versuchen die anziehende Situation zwischen den beiden Kabeln herzustellen. Hier das Schaltschema dazu:



Der Effekt wird weniger gut sichtbar sein. Warum wohl?

6. Falls noch Zeit bleibt, beschäftigt ihr euch mit der Lösung von (c) aus Aufgabe 6. Stellt aber zuerst noch die Ausgangssituation wieder her.