

Schülerexperiment:

Bau und Optimierung eines Elektromotors

Stand 06.08.2019

Jahrgangsstufen	10
Fach/Fächer	Physik
übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele	Technische Bildung, Sprachliche Bildung
Zeitrahmen	2 Unterrichtsstunden
benötigtes Material	<p>pro Motor: Batterie (Monozelle (D), LR20, 33x61) mit Batteriehalterung, Gummiring (z. B. Abschnitte aus altem Fahrradschlauch), zwei Lochstreifen aus Metall (Länge 8 cm) oder zwei große Büroklammern, Neodymmagnet (zylindrisch, Durchmesser ca. 13-15 mm, Höhe 7-8 mm), Lackdraht (1 m, \varnothing 0,7-0,8 mm), Schleifpapier (ca. 120er Körnung), Schraubenzieher, schnelltrocknender farbiger Nagellack</p> <p>LPP-GY-PH_101-SE Elektromotor_Film.mp4 (Download als Material zu dieser Aufgabe)</p>

Kompetenzerwartungen

Ph 10 1 Elektromagnetismus

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben exemplarisch am magnetischen Feld die grundlegenden Eigenschaften eines Feldes. Sie visualisieren mithilfe von Feldlinien die magnetischen Felder von Permanentmagneten, einer stromdurchflossenen Spule und der Erde. Dazu nutzen sie auch geeignete Software. Sie wenden die Rechte-Faust-Regel und die Drei-Finger-Regel zur Bestimmung von Strom-, Magnetfeld- und Krafrichtung an.
- **erklären die Funktionsweise eines selbständig gebauten einfachen Elektromotors und untersuchen Möglichkeiten, seinen Lauf zu variieren.**

Aufgabe

Bau und Optimierung eines Elektromotors

Betrachten Sie zunächst das kurze Video zum Elektromotor.

Bei diesem Experiment sollen Sie...

- den im Film beobachteten Elektromotor nachbauen.
- die Funktionsweise des Motors erklären.
- sich Möglichkeiten zur Optimierung des Motors sowie zur Änderung der Drehrichtung überlegen und am Modell testen.
- ein Protokoll anfertigen. Beachten Sie dazu den nachfolgenden Hinweis (2).



Hinweise:

(1) Sollte sich die Spule bei Ihnen aus irgendeinem Grund nicht drehen, dann verwenden Sie der Reihe nach die untenstehenden *QR-Codes* bzw. stattdessen die *Hilfekärtchen*.

(2) Das Versuchsprotokoll lässt sich bei diesem Experiment nicht auf die übliche Art und Weise erstellen. Deshalb hier ein paar Dinge, die das Protokoll mindestens enthalten soll:

Sie sollten den Aufbau Ihres Motors abbilden. Beschreiben Sie genau mit Hilfe einer geeigneten Zeichnung, wo der Lack abisoliert werden muss.

Erklären Sie die Funktionsweise des Motors. Erstellen Sie dazu eine erläuternde Bilderfolge, die die Spule in verschiedenen Positionen zeigt.

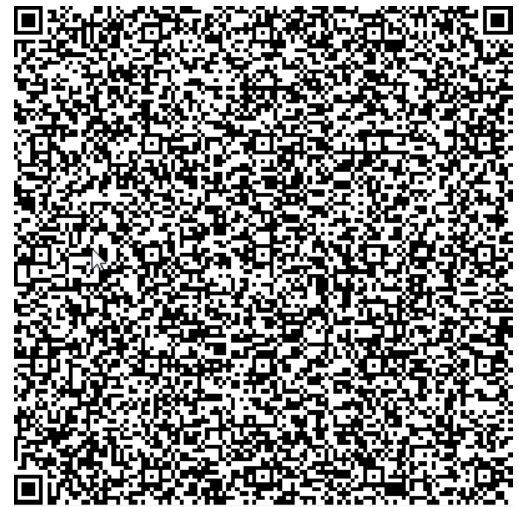
Beschreiben und beurteilen Sie zudem im Protokoll die von Ihnen untersuchten Optimierungsoptionen sowie die Möglichkeiten, die Drehrichtung des Motors zu verändern.



Hilfestellung 1



Hilfestellung 2



Hilfestellung 3

Falls Sie schon fertig sind und noch Zeit haben:

Nebstehendes Bild zeigt einen weiteren *ungewöhnlichen* Elektromotor. Er besteht neben einer Batterie nur aus einem Stück Draht und aus einem Magneten, der an den Minuspol der Batterie geheftet ist. Erklären Sie seine Funktionsweise mit Hilfe einer Skizze, in die Sie die Stromrichtung sowie die Richtungen der Felder und der wirkenden Kräfte einzeichnen. Argumentieren Sie mit der Drei-Finger-Regel. Was stellen Sie erstaunlicherweise bezüglich des Kommutators bei diesem Motor fest?



Magnet

1

Ist Ihre Spule (Rotor) austariert?

Wichtig für das Gelingen des Experimentes ist es, dass die in den Lochstreifen aufgehängte Spule nicht nach unten durchhängt. Ob dies der Fall ist, können Sie herausfinden, indem Sie die Spule um etwa eine viertel Umdrehung auslenken. Im Idealfall bleibt die Spule auch in dieser Position stehen, wenn Sie keine Batterie angeschlossen haben oder sich keine Magneten in der Nähe befinden. Dreht sie sich zurück in die Ausgangsposition, dann liegt der Schwerpunkt der Spule noch nicht auf der Spulenchse und Sie müssen nachkorrigieren.

2

Hat Ihr Rotor Kontakt?

Durch die Spule muss Strom fließen. Überprüfen Sie, ob ausreichend Kontakt zwischen Batterie und Lochstreifen bzw. zwischen Lochstreifen und Spule besteht. Bedenken Sie, dass der Spulendraht von einem Isolierlack ummantelt ist. Ob Strom durch die Spule fließt, erkennen Sie an einer kleinen Kraftwirkung auf die Spule, wenn Sie ihre Position verändern.

Dreht sich Ihr Rotor nur bis zu einer bestimmten Stelle?

Glückwunsch, Sie haben schon ein gutes Stück geschafft. Aber Sie haben vermutlich beide Spulendenen rundherum abisoliert. Es ist dann nicht verwunderlich, dass sich die Spule nur bis zu einer bestimmten Position dreht und nicht weiter. Bei dieser Stellung spricht man vom **Totpunkt**. Die Spule dreht sich genau in die Position, in der ihr Pol zu dem Pol des an der Batterie befestigten Magneten „passt“. Hat der Magnet z. B. auf der Oberseite einen Nordpol, dann wird sich die Spule so drehen, dass ihr Südpol zum Magneten zeigt.

Drehen Sie den Rotor vorsichtig gegen den Widerstand weiter, bis er wieder von alleine beginnt, sich ein Stück zu drehen. In diesem Bereich, in dem Sie einen Widerstand spüren, müssen Sie die Stromversorgung abschalten. Dies erreichen Sie, indem Sie den Spulendraht mit Hilfe des Nagellacks wieder isolieren. Überlegen Sie zunächst mit Hilfe einer Skizze genau, wo der Draht isoliert sein muss. Korrigieren Sie gegebenenfalls Ihr Ergebnis so lange, bis der Motor funktioniert.

Achtung: Lassen Sie dem Nagellack genügend Zeit zum Trocknen. Achten Sie darauf, dass nicht unausgehärteter (weicher) Lack auf die Spulenaufhängung gerät.

Quellen- und Literaturangaben

Prof. Dr. K. Rincke, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität Regensburg: *Experimente in ihren Funktionen für das Lernen*

<http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/rincke/Materialien/grundlagentext3.pdf>

(abgerufen am 10.03.2019)

Eingesetztes Video: LPP-GY-PH_101-SE Elektromotor_Film.mp4 (Download als Material zu dieser Aufgabe)

Hinweise zum Unterricht

Kompetenzbereiche:

Bei diesem Experiment wird die Kompetenz „Erkenntnisse gewinnen“ vor allem dann angesprochen, wenn die Schülerinnen und Schüler Hypothesen und Vermutungen aufstellen, wie sich der Motor optimieren lässt, und diese schließlich im Experiment prüfen. Aber auch beim Nachbau des Motors, wenn es darum geht selbständig herauszufinden, wie der Lackdraht abzuisolieren ist, wird diese Kompetenz geschult. Denn auch hier werden von den Schülerinnen und Schülern auf ihrem Fachwissen basierende Vermutungen aufgestellt, die dann im Experiment erprobt und gegebenenfalls wieder verworfen werden müssen.

Die geforderte Erklärung der Funktionsweise des Motors mit Hilfe von selbst angefertigten Zeichnungen fördert die Kompetenz „Kommunizieren“. Dazu kann gegebenenfalls auch eine Recherche hilfreich sein.

Verortung im Unterricht:

Die Schülerinnen und Schüler können mit der Drei-Finger-Regel aus Strom- und Magnetfeldrichtung die auf einen elektrischen Leiter wirkende Kraft bestimmen bzw. mit Hilfe der Rechte-Hand-Regel die magnetischen Pole einer Spule ermitteln. Zudem können sie bereits die Funktionsweise eines klassischen Elektromotors mit Polwender erklären. Es ist auch denkbar, das Experiment zeitlich vor dem klassischen Elektromotor anzusiedeln und die Schülerinnen und Schüler dahingehend zu sensibilisieren, dass bei einem Elektromotor in der Regel ein Polwender oder etwas Ähnliches nötig ist. Die Vorerfahrungen im Experiment könnten es dann den Lernenden erleichtern, die Funktionsweise eines Polwenders beim klassischen Elektromotor besser zu verstehen. In diesem Fall sollte aber die Zusatzaufgabe am Ende des Experiments, die zur Differenzierung gedacht ist, modifiziert oder weggelassen werden, da die Schülerinnen und Schüler dann noch nicht mit dem Begriff des Polwenders vertraut sind und zudem durch die Aufgabe die Notwendigkeit eines Polwenders wieder relativiert wird.

Didaktische Hinweise

Experimente erfüllen in der Physik, insbesondere im Physikunterricht, verschiedene Funktionen. Neben dem üblichen Testen oder Generieren von Hypothesen kann es auch darum gehen, den Umgang mit Experimentiermaterialien zu schulen.

„Mit Experimenten, die den Umgang mit dem Material schulen, sind folgende Aussagen verbunden:

1. Experimente, die den Umgang mit dem Material schulen, sind der Wissenschaft fremd.
2. Für das Lernen sind sie jedoch zentral, da sie eine Voraussetzung für gelingendes Experimentieren bilden.
3. Experimente, die den Umgang mit dem Material schulen, betonen die Seite der Handwerkskunst des Experimentierens. Oft wird ihre Beherrschung als defizitär erlebt. Es ist wichtig, diese Seite explizit anzusprechen und die Möglichkeit zur Übung zu geben.“ (Rincke 2017, S.4)

Aus diesem Blickwinkel muss auch das vorliegende Schülerexperiment gesehen werden. Es lässt sich nicht in das Standardraster eines Experiments einordnen, dessen Protokoll am Ende aus Ziel, Aufbau, Beschreibung der Durchführung, Messung und Auswertung besteht. Hier steht der Umgang mit dem Experimentiermaterial und das Entdecken von Detaillösungen im Vordergrund. Ein weiterer Fokus liegt auf der Erklärung der Funktionsweise und auf dem Experimentieren mit dem fertigen Motor.

Der Forderung im Lehrplan der 9. Jahrgangsstufe nach einer weitgehend selbständigen Planung des Experiments wird hier durch einen weitgehend selbständigen Bau des Motors und durch ein selbständiges Experimentieren mit dem fertigen Motor Rechnung getragen. Gerade die Frage nach Optimierungsmöglichkeiten kann zur Planung weiterer Experimente führen. Damit sich Schülerinnen und Schüler gegenseitig beim Planen und Bauen unterstützen können, empfehlen sich Kleingruppen. Aufgrund der geringen Kosten für einen Motor kann aber trotzdem jeder seinen eigenen Motor bauen.

Erfahrungsgemäß gibt es bei den Schülerinnen und Schülern große Unterschiede hinsichtlich der handwerklichen und planerischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Mit untenstehenden Hilfekärtchen bzw. den in der Aufgabenstellung angegebenen QR-Codes wird versucht, beim Bau auftretende (Standard-) Probleme aus dem Weg zu räumen.

Üblicherweise stellen sich die Probleme an folgenden Stellen ein:

- Es gibt elektrische Kontaktprobleme, insbesondere zwischen Batteriegehäuse und Lochstreifen bzw. zwischen Lochstreifen und Lackdrahtspule.
- Beide Spulenden wurden rundum komplett abisoliert.
- Der Nagellack wird an den falschen Stellen und zu dick aufgetragen.

Will man den Fokus noch mehr auf die handwerklichen und technischen Anforderungen legen, kann man auch Material verwenden, das mehrere Gestaltungsmöglichkeiten beim Bau erlaubt, nur eben nicht genau die im Film gezeigte Variante. Es kann dann z. B. auch der Umgang mit einem Lötkolben oder mit einer Heißklebepistole geschult werden.

Umsetzungsvorschläge

- Die Spule lässt sich am leichtesten herstellen, wenn man den Draht um die Batterie wickelt und die Drahtenden wie in der Abbildung fixiert:



- Es ist didaktisch durchaus als sinnvoll zu erachten, dass die Schülerinnen und Schüler die beiden Enden der Spule zunächst komplett abisolieren. Der Motor dreht sich dann nur bis zum Totpunkt. Jetzt fällt es leichter zu überlegen, in welchem Bereich der Spulendraht isoliert sein müsste. Mit einem Nagellack lässt sich die Isolierung gegebenenfalls wieder anbringen. Dieses Vorgehen ist dann besonders attraktiv, wenn das Experiment im Unterricht vor dem klassischen Elektromotor mit Polwender durchgeführt wird.
- Den Nagellack zum halbseitigen Isolieren des Spulendrahtes darf nur **sehr dünn** aufgetragen werden und muss vor allem mehrere Minuten lang aushärten. Versucht man den Motor mit nicht ausgehärtetem Nagellack zu betreiben, lagert sich dieser an der Aufhängung der Spule ab und isoliert sie dadurch auch. Der Stromkreis ist dann ständig unterbrochen.
- Wurde die Spule mehrere Tage lang gelagert (z. B. zwischen zwei Unterrichtsstunden), dann bildet sich möglicherweise eine dünne Oxidationsschicht auf den abisolierten Drahtflächen und der Motor funktioniert nicht mehr einwandfrei. Hier hilft erneutes Schmirgeln.

Beispiele für Produkte und Lösungen der Schülerinnen und Schüler

Versuchsprotokoll:

Bau und Optimierung eines Elektromotors

Aufbau:

- Aufbau siehe Abbildung 1 und 2.

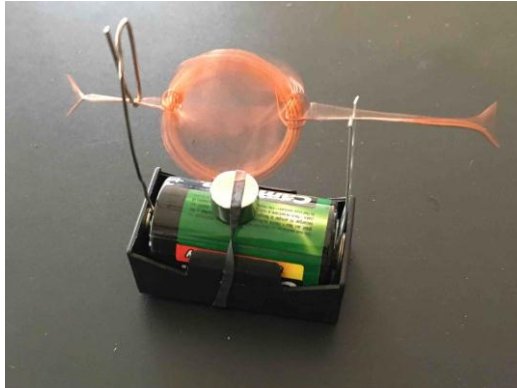


Abb. 1

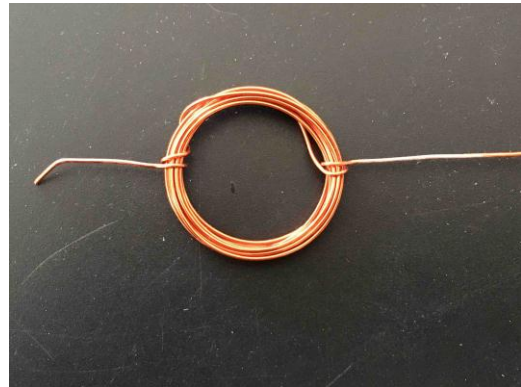


Abb. 2

- Die Drahtenden werden, wie in nachfolgender Abb. 3 gezeigt, abisoliert.

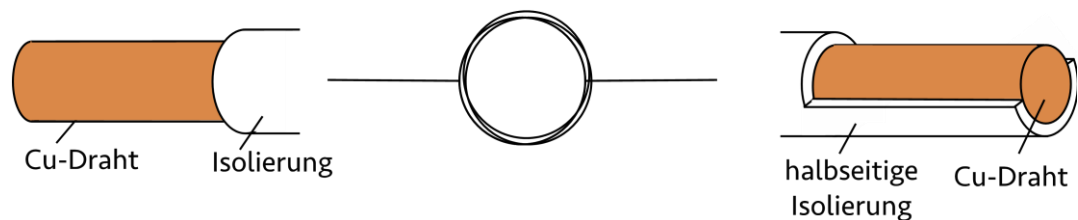
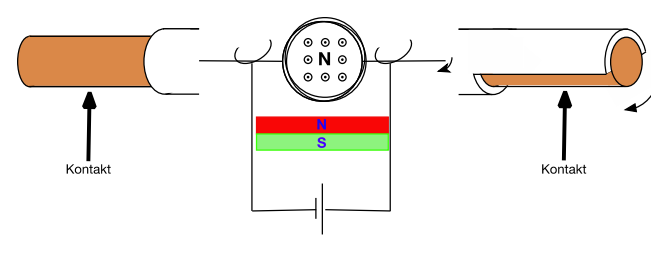
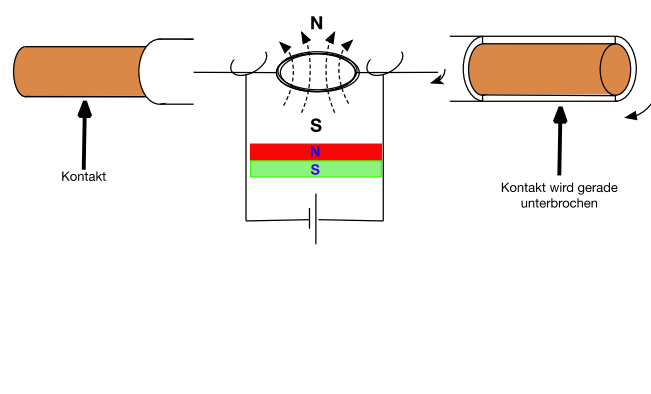
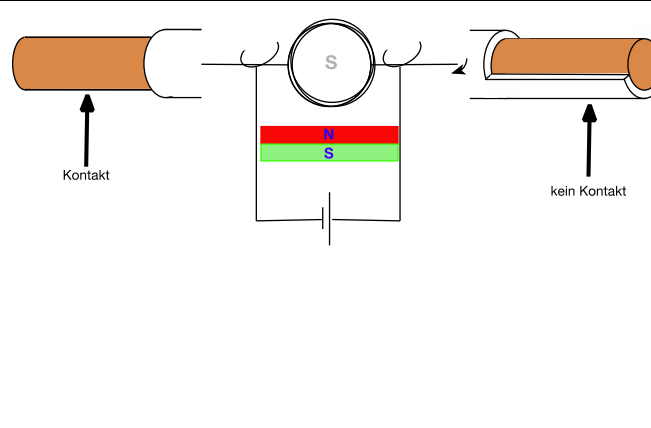
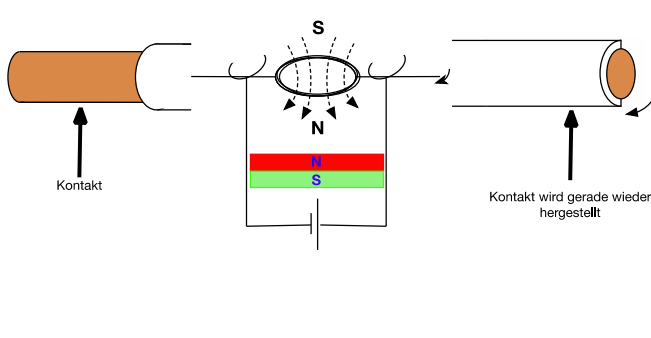


Abb. 3

Funktionsweise:

<p>A</p> 	<p>Es fließt Strom durch die Spule. Ihr Nordpol dreht sich nach oben (vom Nordpol des Neodymmagneten weg).</p>
<p>B</p> 	<p>Nun steht der Südpol der Spule dem Nordpol des Neodymmagneten gegenüber, rechts wird der Kontakt gerade unterbrochen. Der Elektromagnet wird dadurch ausgeschaltet und es wirken jetzt keine Kräfte mehr zwischen Spule und Magnet. Die Spule dreht sich aufgrund ihrer Trägheit weiter.</p>
<p>C</p> 	<p>Noch immer besteht kein Kontakt und damit wirken auch keine magnetischen Kräfte. Die Spule dreht sich aufgrund der Trägheit weiter. (Würde Kontakt bestehen, dann würde die Bewegung gehemmt werden. Denn dann würde z. B. der Südpol der Spule, der im Bild gerade vorne wäre, vom Nordpol des Neodymmagneten angezogen werden.)</p>
<p>D</p> 	<p>Jetzt wird wieder ein Kontakt hergestellt. Dabei entsteht an der Spulenunterseite ein Nordpol. Dieser wird vom Nordpol des Neodymmagneten abgestoßen und die Spule dreht sich weiter.</p> <p>Nun geht es wieder von vorne los.</p>

Weitere Experimente mit dem Motor:

Eine Änderung der Drehrichtung erreicht man durch das Umdrehen des Magneten. Alternativ könnte man auch die Batterie in der Halterung umdrehen und damit die Stromrichtung ändern. Ein Umdrehen der Spule bringt hingegen keine Änderung der Rotationsrichtung.

Optimierungsmöglichkeiten des Motors

Sichere Optimierungen:

- Man verringert den Abstand zwischen Spule und Magnet. Dies verstärkt das Magnetfeld, das die Spule durchsetzt und damit auch die wirkenden Kräfte.
- Man isoliert etwas weniger als die Hälfte ab. Dadurch erhält man zwar kürzere Kontaktzeiten, aber es wird sichergestellt, dass die Bewegung nicht durch zu frühen oder zu langen Kontakt gehemmt wird. Vergleiche die Bilder B und D in der Bilderfolge.

Eingeschränkte Optimierungen:

- Erhöht man die Anzahl der Wicklungen der Spule, werden das Spulenmagnetfeld und damit die wirkenden Kräfte vergrößert. Die Spule wird allerdings auch schwerer und die Spulenchse instabiler.
- Ein etwas dünnerer Spulendraht macht die Spule leichter und damit schneller, dafür aber auch instabiler. Zudem nimmt der Widerstand des Spulendrahtes zu, was u. U. die Stromstärke begrenzt und damit wieder die wirkenden Kräfte.
- Verwendet man mehrere Magneten, dann liefert dies theoretisch ein besseres Ergebnis, führt aber schnell zu Platzproblemen. Definitiv eine Verbesserung ist es, wenn man mit der Hand einen weiteren Magneten über die Spule hält. Er muss aber genauso orientiert sein wie der untere Magnet.

Zusatzaufgabe:

Mit der Drei-Finger-Regel erhält man für den unteren Bereich der vertikalen Leiterstücke Kräfte wie in nebenstehender Abbildung eingezeichnet. Dabei bezeichnet \vec{I} den Strom durch den Draht, \vec{M} das Magnetfeld und \vec{F} die Kraft auf das Leiterstück. Die Kräfte führen zu einer Rotation der Leiterschleife. Da die Anordnung rotationssymmetrisch ist, zeigen die wirkenden Kräfte zu jeder Zeit in Drehrichtung. Daher ist bei diesem Motor erstaunlicherweise kein Kommutator notwendig!

Bemerkung:

Das Magnetfeld des an der Batterie angebrachten Dauermagneten ist nicht homogen. Zur Kraft auf den Leiter tragen immer nur die zum Leiter senkrechten Komponenten des Magnetfeldes \vec{M} bei. Dies spielt vor allem in der oberen Hälfte der beiden langen vertikalen Drahtstücke eine größere Rolle, wo die Feldlinien den Leiter in einem spitzen Winkel schneiden.

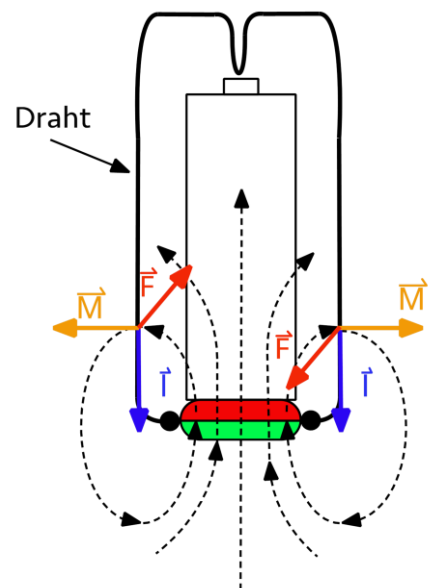


Abb. 4