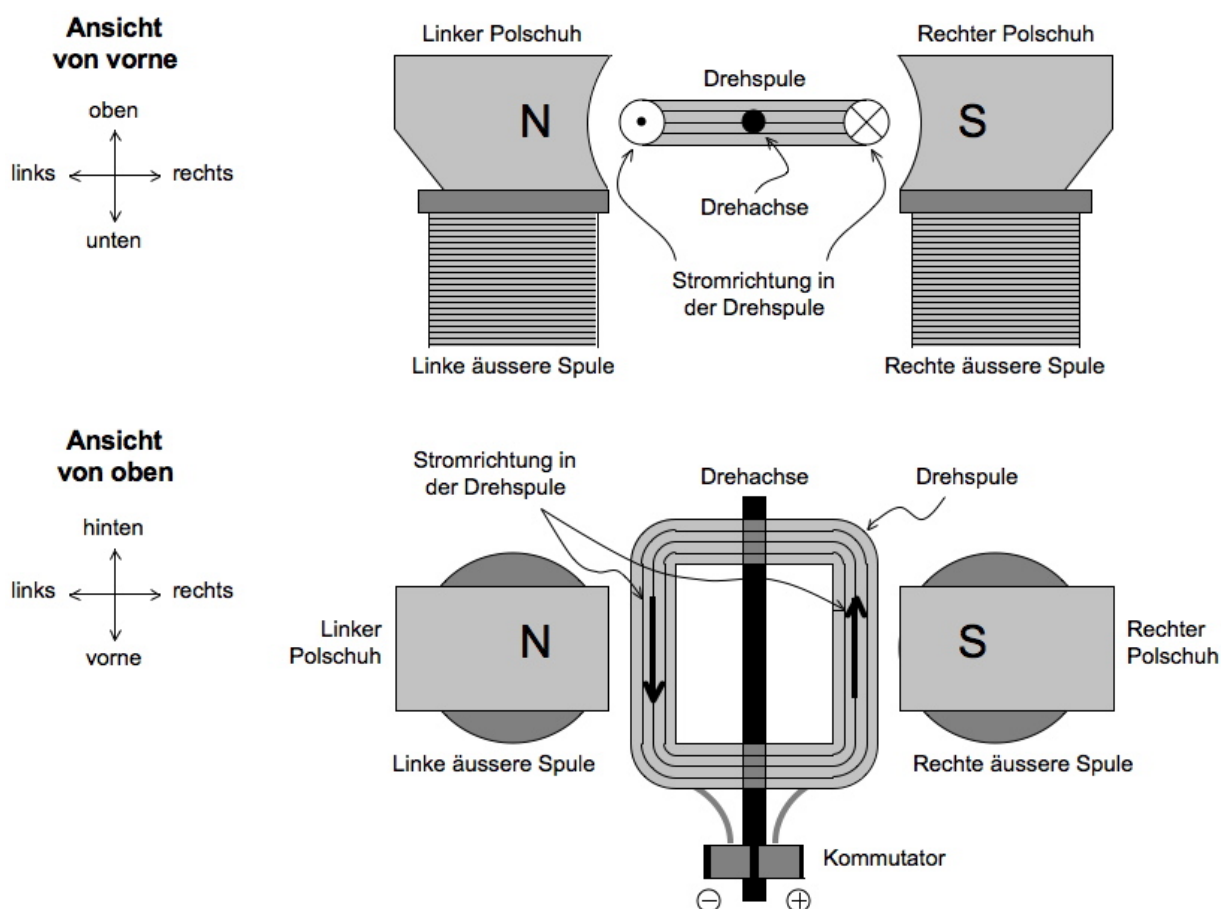


Übungen zum Elektromagnetismus

Serie 9: Lorentzkräfte bei elektrischen Strömen

1. Der Elektromotor



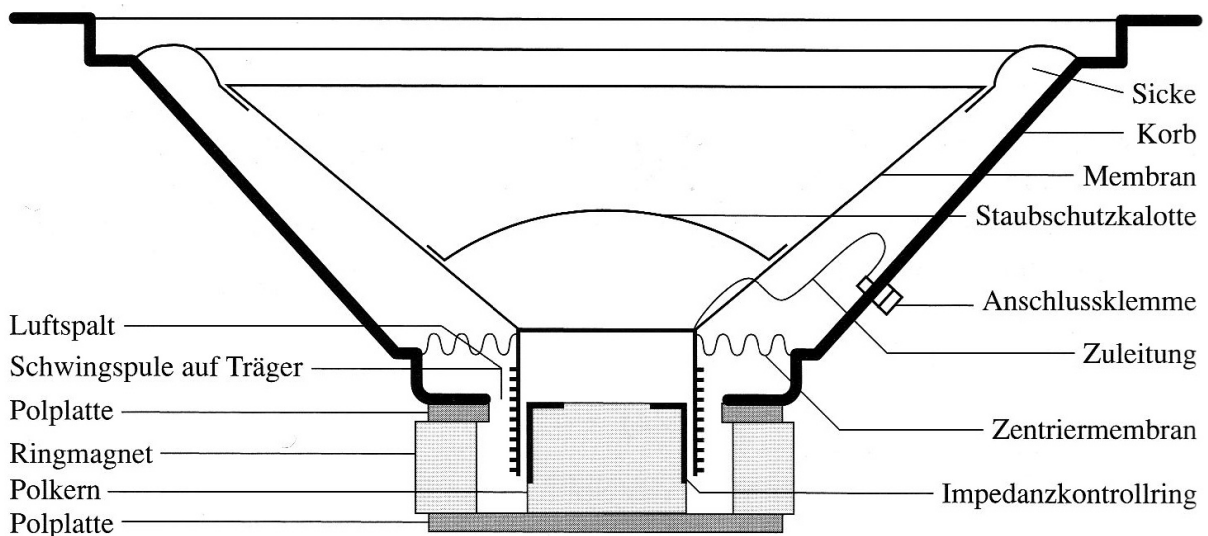
- (a) Die Ströme in den beiden äusseren Spulen arbeiten so zusammen, dass der rechte Polschuh zu einem magnetischen Südpol, der linke zu einem Nordpol wird.
- Kennzeichne in der Ansicht "von oben", **in welche Richtungen die Ströme** in den beiden äusseren Spulen demzufolge **fließen**, und...
 - erläutere kurz, **wie du auf diese Stromrichtungen gekommen** bist.
- (b) In der oben gezeichneten Situation rotiert die Drehspule in der Ansicht "von vorne" entweder im Uhrzeiger- oder im Gegenuhrzeigersinn.
- Gib die Drehrichtung des Motors an und begründe sie zweimal, ...**
- erstens mit Hilfe der **Lorentzkraft** unter Anwendung der **Drei-Finger-Regel**,
 - zweitens mit der **Oersted'schen Regel**, also durch eine Anwendung der **Rechten-Hand-Regel** und die Betrachtung der magnetischen Kräfte zwischen den verschiedenen Polen.
- (c) Was kann ich tun, wenn ich die Drehspule in die Gegenrichtung rotieren lassen möchte ohne etwas am Aufbau des Elektromotors (Hardware) zu verändern?
- (d) Auch die Ströme in der hinteren und in der vorderen Seite der Drehspule erfahren im Magnetfeld der äusseren Spulen Lorentzkräfte.
- In welcher Ausrichtung der Drehspule sind diese Lorentzkräfte maximal?
 - In welche Richtung wirken diese Lorentzkräfte und weshalb haben sie keinen Einfluss auf die Drehbewegung der Spule?
- (e) Wofür braucht es den **Kommutator** und wie funktioniert er?

2. Der dynamische Lautsprecher

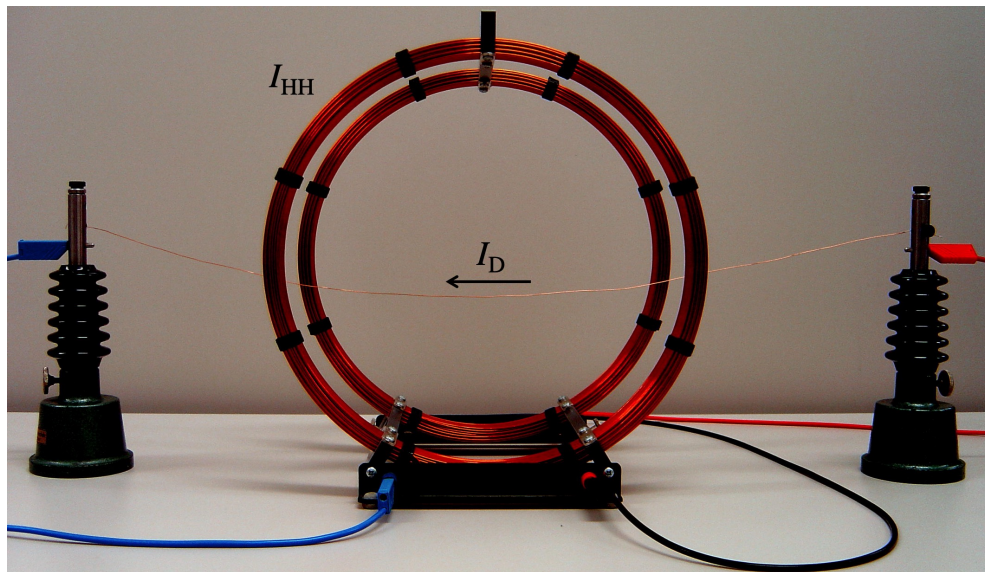
Unten sieht man den Schnitt durch einen **dynamischen Lautsprecher**. Eine **Schwingspule** ist mit der **Membran** verbunden und befindet sich im Magnetfeld eines **Ringmagneten**. Der Strom im Spulendraht erfährt eine Lorentzkraft, die je nach Stromrichtung die Spule nach oben oder nach unten bewegt.

- Nehmen wir an, der **Polkern** des (drehsymmetrischen) Ringmagneten sei sein magnetischer Nordpol. Wie verlaufen dann die Feldlinien des durch diesen Ringmagneten erzeugten Magnetfeldes im Zwischenraum, wo sich die Schwingspule befindet?
- In der Schwingspule fließe in diesem Moment ein Strom im Gegenuhrzeigersinn, wenn man in der Skizze unten den Lautsprecher von oben betrachtet würde.
Drückt die auf die Spule wirkende Lorentzkraft die Spule in diesem Moment nach unten oder nach oben?
- Die an der Schwingspule anliegende Spannung wechselt ständig. Sie folgt beispielsweise dem elektrischen Signal aus einer Stereoanlage, welche das Schwingungsmuster eines Musikstücks enthält. Der Strom in der Schwingspule fließt deshalb mal in die eine und mal in die andere Richtung.
Erkläre nun, wie der dynamische Lautsprecher aus dem elektrischen Signal die hörbare Musik erzeugt.
- Das Magnetfeld des Ringmagneten weise eine Flussdichte von 12.8 mT auf.
Wie stark ist die Lorentzkraft, welche die Spule in diesem Magnetfeld erfährt?

Weitere Angaben:	Anzahl Windungen der Schwingspule:	250
	Spulendurchmesser:	26 mm
	Spulenstrom im betrachteten Moment:	0.89 A



3. Einen Draht anheben im Helmholtz-Spulenpaar – ein sichtbarer Effekt?



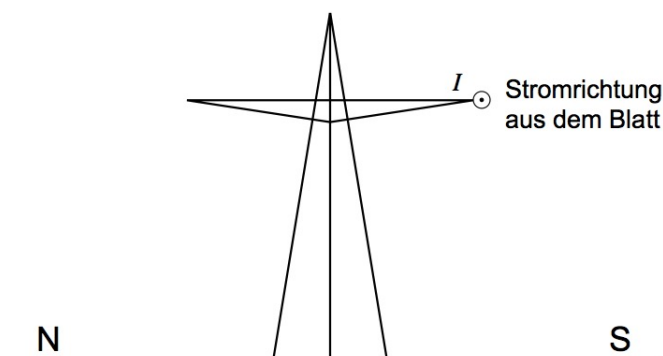
Ich lasse einen dünnen Draht quer durch ein Helmholtz-Spulenpaar hängen (siehe Bild).

- In welchem **Umlaufsinn** muss im Bild oben der **Strom I_{HH} im Helmholtz-Spulenpaar** fließen, damit der Draht theoretisch von der Lorentzkraft angehoben werden könnte? (Weshalb?)
- Im Draht fließt ein Strom $I_D = 3.5 \text{ A}$ von rechts nach links.
Die Daten zum Helmholtz-Spulenpaar lauten:
Windungszahl: $N = 124$, Stromstärke: $I_{HH} = 9.0 \text{ A}$, Spulenabstand und -radius: $R = 15 \text{ cm}$.
Wie stark ist die **Lorentzkraft**, die das Drahtstück im Spuleninnern erfährt?
- Sag ausgehend vom Resultat unter (b) voraus, ob der theoretisch vorhergesagte Anhebe-Effekt **in der Realität sichtbar** ist?
Hinweis: Die Masse des hängenden Drahtes beträgt total lediglich etwa 1 Gramm.

4. Kraft auf eine Hochspannungsleitung

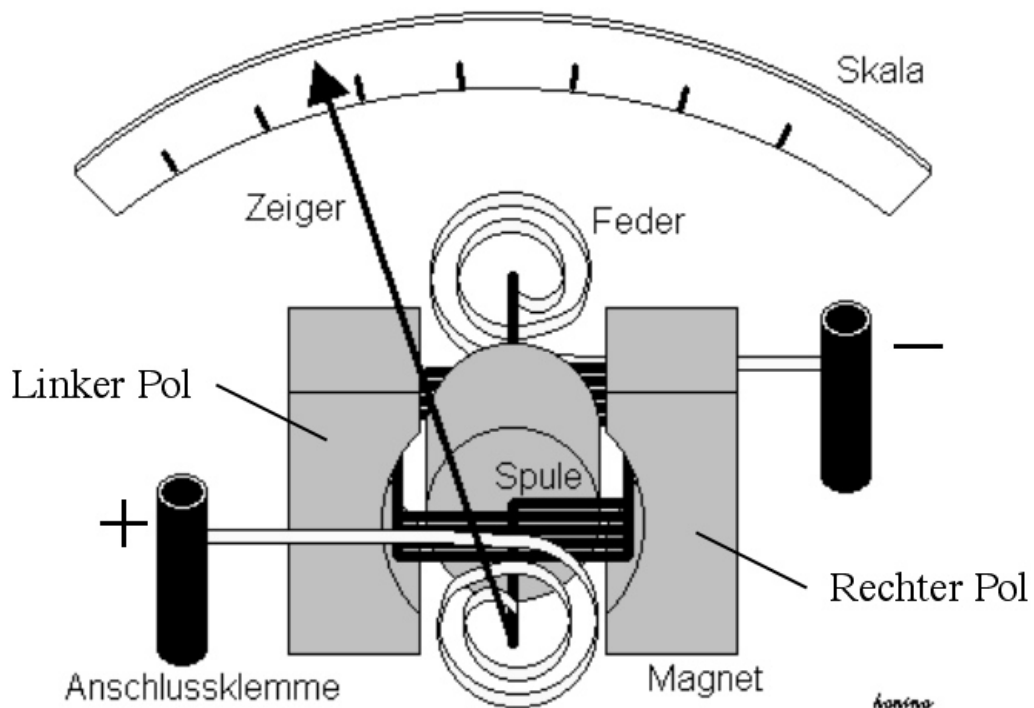
In einer Hochspannungsleitung soll ein Strom der Stärke 290 A von Osten nach Westen fließen.

- Trage in der Skizze unten Linien des Erdmagnetfeldes ein und bestimme daraus die Richtung der auf die Hochspannungsleitung wirkenden Lorentzkraft.
Tipp: Das Erdmagnetfeld sticht in Nordrichtung mit etwa 60° in den Boden hinein.
- Wie gross ist F_L für einen Leitungsabschnitt von 150 m (\approx Abstand zwischen zwei Masten)?
Hinweis: Die Stärke des Erdmagnetfeldes beträgt $B_{\text{Erde}} = 47.4 \mu\text{T}$.
- Müssen die Masten der Stromleitung wegen dem Erdmagnetfeld stabiler gebaut werden? Vergleiche den unter (b) erhaltenen Kraftbetrag mit der Gewichtskraft eines solchen Leiterabschnittes, welcher eine Masse von ungefähr 300 kg aufweist.



5. Amperemeter mit Drehspulmesswerk

Unsere grossen Anzeigeamperemeter für den Unterricht funktionieren aufgrund der elektromagnetischen Wechselwirkung von Strömen. Das Prinzip ist dem eines Elektromotors sehr ähnlich, wie man der folgenden schematischen Skizze entnehmen kann.



Der Strom kommt von der linken Anschlussklemme her (Pluspol) und wird über die vordere Spiralfeder in die Drehspule geleitet, welche zwischen den beiden Polen eines Hufeisenmagneten gelagert ist (die Verbindung zwischen den beiden Polen wurde in der Skizze vernachlässigt). In der Drehspule fliesst der Strom von oben her gesehen im Gegenuhrzeigersinn mehrere Male im Kreis und verlässt die Spule schliesslich über die hintere Spiralfeder zum Minuspol. Je nach Stromstärke verspürt die Drehspule mehr oder weniger grosse Kräfte, welche sie im Magnetfeld auszurichten versuchen und dadurch die beiden Spiralfedern spannen. Der Zeiger schlägt soweit aus, bis ein Gleichgewicht zwischen den drehenden Lorentzkräften und den rücktreibenden Federkräften erreicht ist. Dieses Gleichgewicht befindet sich auf der Skala immer weiter rechts, je grösser die Stromstärke ist. Und genau dieser Sachverhalt macht die Anordnung zu einem Amperemeter.

- (a) Überlege dir, welches der Nord- und welches der Südpol des Hufeisenmagneten sein muss, damit der Zeiger auf der Skala nach rechts ausschlägt, wenn man Strom durch die Anordnung fließen lässt.

Tipp: Betrachte die Skizze ganz genau um herauszufinden, wo der Strom vom Plus- zum Minuspol durchfliesst.

- (b) Bei einer Stromstärke von 0.50 A schlägt das Gerät voll aus. In diesem Moment erfahren die linke und die rechte Seite der Spule zusammen Lorentzkräfte mit einem Gesamtbetrag von 0.75 N . Wie gross ist die magnetische Flussdichte des Hufeisenmagnetfeldes wenn die Drehspule aus 80 Windungen besteht, quadratisch ist und eine Seitenlänge von 3.2 cm aufweist?

Tipp: Der Spulenstrom erzeugt bei N Windungen $2N$ -mal den gleichen Lorentzkraftbetrag auf die Spule (Warum $2N$ -mal?). Dies muss bei der Berechnung der Feldstärke berücksichtigt werden.

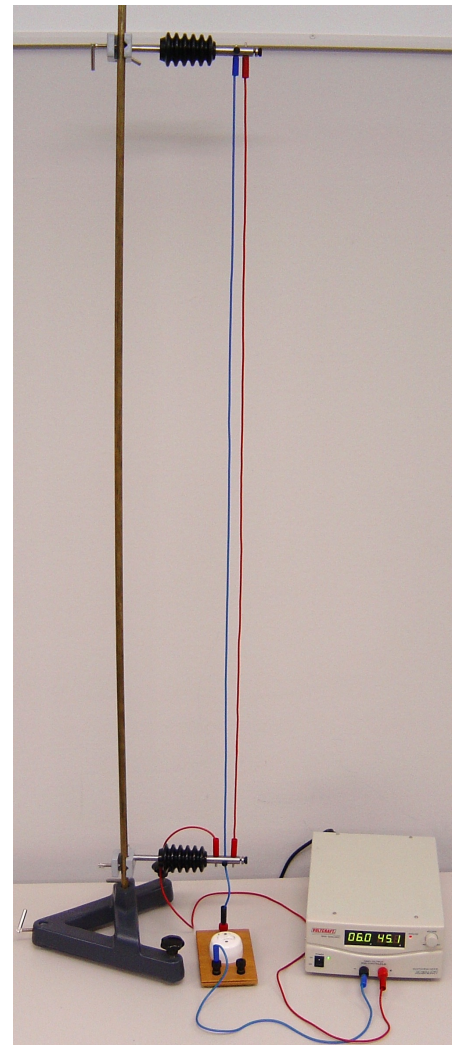
- (c) Weshalb erbringen die hintere und die vordere Seite der Spule keinen Kräftebeitrag zur Drehung? Gib eine möglichst prägnante Begründung.

6. Zwei Kabel

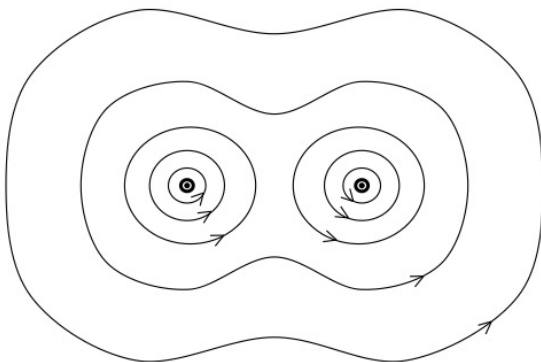
Nebenstehend siehst du einen Versuch aus dem Unterricht abgebildet: Zwei Kabel sind parallel zueinander aufgestellt. Sie weisen einen Abstand von gerade etwa 1.6 cm auf.

Wir konnten beobachten, wie sich die beiden Kabel, so wie sie auf dem Bild geschaltet sind, bei fließendem Strom gegenseitig abstossen. Die Stromstärke betrug ungefähr 40 A.

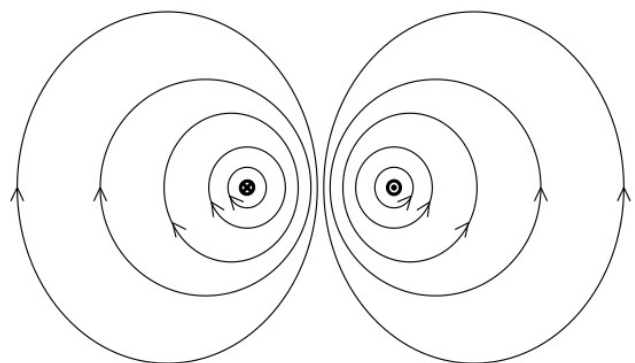
- Wie begründest du die beobachtete Abstossung zwischen den beiden Kabeln unter Verwendung der Lorentzkraft?
- Neben der Begründung unter (a) kann man die Abstossung auch mit den unten gezeigten Feldlinienbildern erklären.
Fasse diese Erklärung in Worte!
- Wir betrachten einen 2.0 cm langen Abschnitt des einen Kabels ungefähr auf mittlerer Höhe. Wie gross ist die abstossende Kraft, welche dieser Abschnitt aufgrund des Stromes in diesem und im anderen Kabel erfährt?



Ströme parallel



Ströme antiparallel



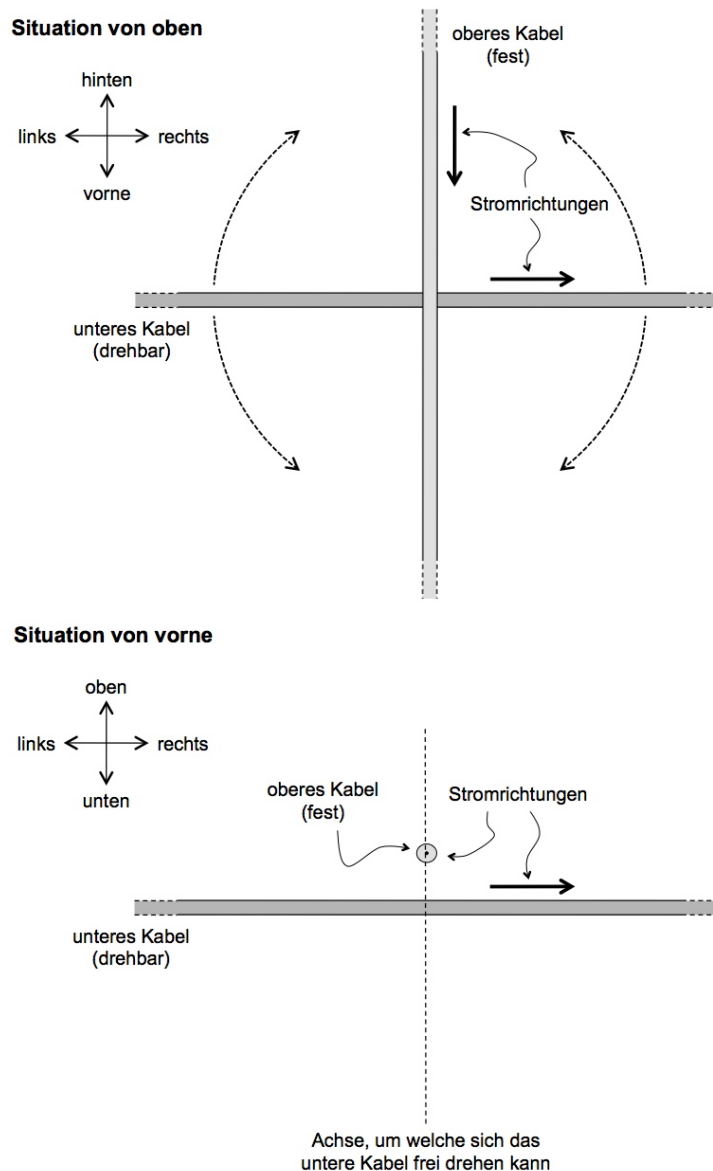
7. **Zusatzaufgabe:** Eine neue Situation mit zwei Kabeln

Zwei Kabel seien senkrecht zueinander ausgerichtet. Sie liegen beide horizontal, so dass ihre Gewichtskräfte für die weiteren Betrachtungen keine Rolle spielen. Das obere Kabel sei fest montiert. Das untere sei fast reibungsfrei drehbar, sodass es sich in der horizontalen Ebene beliebig zum oberen Kabel ausrichten kann (siehe Situationsskizzen links).

- (a) Wird sich das untere Kabel zu drehen beginnen, wenn man Strom durch beide Kabel fließen lässt? Wenn ja, wie wird die Drehrichtung sein und bis wohin geht die Drehung?

Tipp: Betrachte verschiedene Stellen auf dem unteren Kabel und finde heraus, in welche Richtung die Lorentzkraft wirkt, welche eine solche Stelle aufgrund des oberen Kabels erfährt.

Dazu musst du dir zuerst überlegen, wie das Magnetfeld des oberen Kabels an einer solchen Stelle ausgerichtet ist.



- (b) **Und für echte Mathe-Cracks noch dies:** Das drehbare Kabel befinde sich 1.0 cm unterhalb des oberen. Wo auf dem unteren Kabel ist die Lorentzkraft aufgrund des vom oberen Kabel erzeugten B -Feldes am grössten?

Tipp: Mache dir zunächst klar, dass es solche Orte maximaler Lorentzkraft geben muss!

Hinweis: Nur mit Differentialrechnung lösbar! Weitere Tipps finden sich zu Beginn der Lösung.