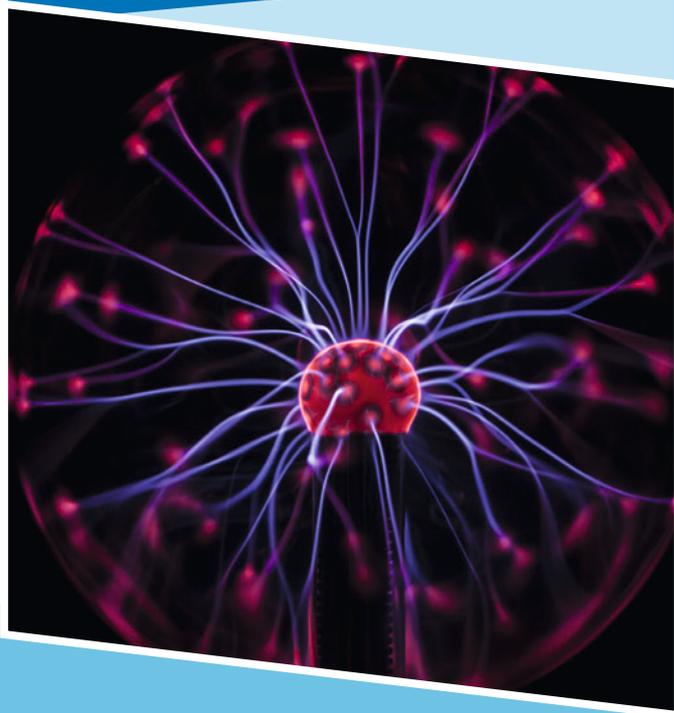
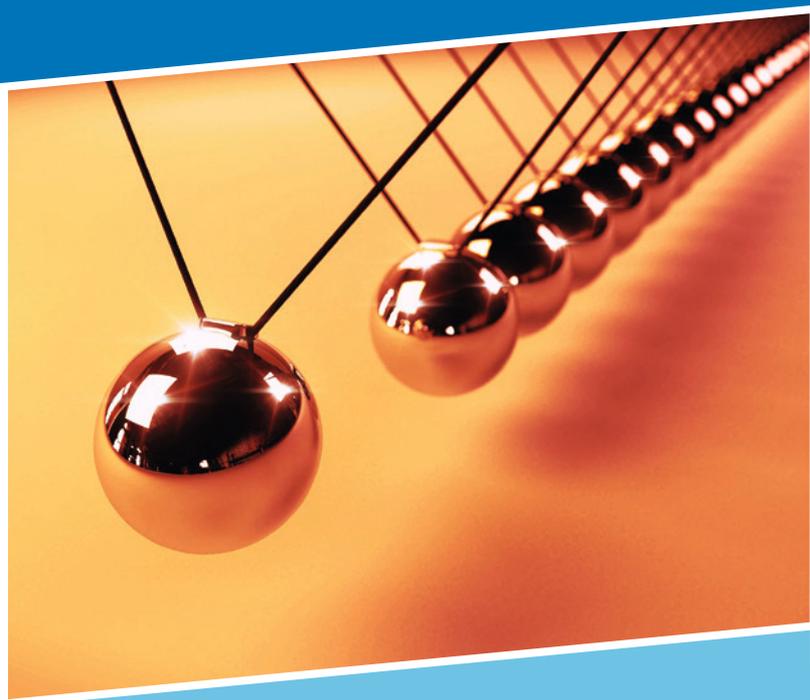


# 10 Physik



# So kannst du mit diesem Buch arbeiten .....

Jetzt geht es los .....

## Versuche und Materialien

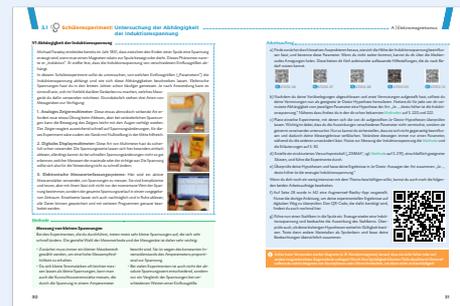
Ein Kapitel beginnt häufig mit diesen Seiten. Sie enthalten eine große Auswahl an Versuchsvorschriften und Materialien, immer begleitet durch eine Reihe von Auswertungsfragen. Die Inhalte sind immer einem Unterkapitel zugeordnet und sollten vor dem Unterkapitel bearbeitet werden. Du kannst dadurch die neuen Inhalte selbstständig entdecken. Die Kompetenzerwartungen, die an dich gestellt werden, werden hier in besonderem Maße abgedeckt. Dabei wird unterschieden zwischen **Einstiegen**, die an das Thema heranzuführen, und **Lernaufgaben**, bei denen du dir das Thema selbstständig erarbeitest. Wenn du selbst einen Versuch durchführen sollst, wird das mit einem **V** gekennzeichnet. Manchmal wird eine bestimmte Fachmethode benötigt, um den Arbeitsauftrag zu bearbeiten. Diese **Methode** wird dann in einem grünen Kasten auf der Seite vorgestellt und erklärt.



Ran an die Praxis .....

## Schülerexperimente

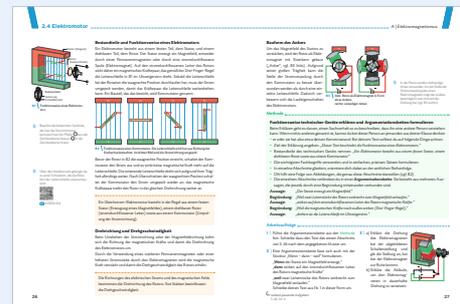
Experimente sind in der Physik von entscheidender Bedeutung, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Deswegen gibt es auf diesen Seiten ausführliche Erläuterungen und Auswertungsfragen, mit denen du selbstständig die vorgestellten Experimente durchführen kannst. Auch hier werden die benötigten **Methoden** kurz vorgestellt.



Die Theorie .....

## Erarbeitung

Auf diesen Seiten wird der neue Stoff erklärt, wir nennen sie daher auch Theorieseiten. Die von dir durchgeführten Experimente und bearbeiteten Materialien werden dadurch besser verständlich. Damit du das Wichtigste gut lernst, gibt es auf jeder Doppelseite einen oder mehrere Kästen mit einem **Merksatz**. An ausgewählten Stellen findest du auch wieder einen grünen Kasten, der dir eine benötigte **Methode** vorstellt. Bilder und Tabellen veranschaulichen die Inhalte und liefern Daten, kleine Info-Kästen am Rand bieten Zusatzinformationen zum Text. Zum Anwenden des neu gewonnen Wissens gibt es auf jeder Doppelseite passende **Arbeitsaufträge**, die teilweise wieder mit einem **V** gekennzeichnet sind. Es gibt blaue und schwarze Aufgaben. Zu den schwarzen Aufgaben findest du Lösungshinweise. Damit du lernst, wie du bei den Aufgaben vorgehen musst, gibt es häufig auch eine **Musteraufgabe**, die das Vorgehen verdeutlicht.



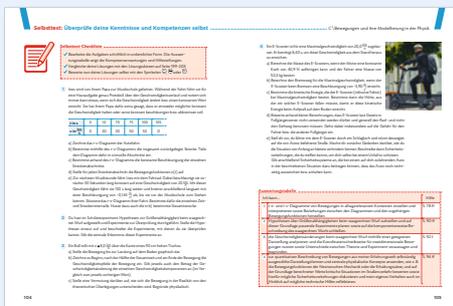
Alles klar?



Vermischte Aufgaben

Hier findest du zum Ende des Kapitels nochmal einige umfangreiche Aufgaben, die teilweise materialbasiert sind. Die „Basisaufgaben“ auf der ersten Seite sind etwas kürzer gehalten und befassen sich immer mit einem einzelnen Thema. Die „Zusammenfassenden Aufgaben“ können alle Themen des Kapitels aufgreifen und miteinander vernetzen. Sie helfen dir also dabei, das im Kapitel Gelernte nochmal zu vertiefen und bereiten dich dadurch gut auf den im Anschluss folgenden Selbsttest vor.

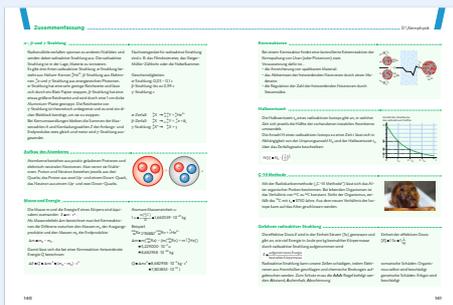
Ziel erreicht?



Selbsttest

Die Seiten helfen dir dabei festzustellen, ob du die neuen Inhalte des Kapitels verstanden hast. Es gibt zu jedem Kompetenzbereich Aufgaben, die du lösen und mit den bereitgestellten Lösungen abgleichen kannst. Du kannst deine Leistung dabei selbst bewerten. Schneidest du in einem Bereich nicht so gut ab, bekommst du im Auswertungskasten Informationen, wo du noch einmal nachlesen solltest.

Das weiß ich – das kann ich



Zusammenfassung

Die wichtigsten Inhalte und Kompetenzen, die du zum jeweiligen Thema gelernt hast, werden auf diesen Seiten kompakt zusammengefasst. Damit kannst du dich gut auf eine Klassenarbeit vorbereiten.

Bildlich gesprochen: Erklärung der Symbole

- Versuch, den du selbst durchführen kannst.
- Warnsymbol; befolge unbedingt den angegebenen Hinweis!
- Information; hier werden dir zusätzliche Informationen geliefert.
- 1** Basisaufgaben
- 2** Fortgeschrittene Aufgaben; zu diesen Aufgaben findest du bis zu drei Lösungshinweise auf den angegebenen Seiten im Anhang.
- 1\*** Aufgaben, die über den Lehrplan hinaus gehen.
- MC** Mediencode; die angegebene Nummer kannst du unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de) im Suchfeld eingeben (z. B. Eingabe „67050-09“) und gelangst so zu weiteren Materialien.



# 10 Physik

Herausgegeben von  
Rainer Dietrich, Frank Finkenberg, Rüdiger Janner und  
Martin Schalk

Bearbeitet von  
Rainer Dietrich  
Susanne Dührkoop  
Christian Fauser  
Frank Finkenberg  
Rüdiger Janner  
Wolfgang Kellner  
Eva-Maria Meyer  
Wolfgang Riffelmacher  
Martin Schalk  
Ruprecht Steinhübl  
Christine Waltner

**C.C.Buchner**

# Physik 10

Gymnasium Bayern

Herausgegeben von Rainer Dietrich, Frank Finkenberg, Rüdiger Janner und Martin Schalk

Bearbeitet von Rainer Dietrich, Susanne Dührkoop, Christian Fauser, Frank Finkenberg, Rüdiger Janner, Wolfgang Kellner, Eva-Maria Meyer, Wolfgang Riffelmacher, Martin Schalk, Ruprecht Steinhübl und Christine Waltner unter Mitarbeit der Verlagsredaktion

Zu diesem Lehrwerk sind erhältlich:

- Digitales Lehrermaterial: **click & teach** Einzellizenz, Bestell-Nr. 670601
  - Digitales Lehrermaterial: **click & teach** Box (Karte mit Freischaltcode), ISBN 978-3-661-67060-7
- Weitere Materialien finden Sie unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de).

Dieser Titel ist auch als digitale Ausgabe **click & study** unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de) erhältlich.

Dieses Werk folgt der reformierten Rechtschreibung und Zeichensetzung. Ausnahmen bilden Texte, bei denen künstlerische, philologische oder lizenzrechtliche Gründe einer Änderung entgegenstehen.

Die enthaltenen Links verweisen auf digitale Inhalte, die der Verlag bei verlagsseitigen Angeboten in eigener Verantwortung zur Verfügung stellt. Links auf Angebote Dritter wurden nach den gleichen Qualitätskriterien wie die verlagsseitigen Angebote ausgewählt und bei Erstellung des Lernmittels sorgfältig geprüft. Für spätere Änderungen der verknüpften Inhalte kann keine Verantwortung übernommen werden.

Bitte beachten: An keiner Stelle im Schülerbuch dürfen Eintragungen vorgenommen werden. Dies gilt besonders für die Leerstellen in Aufgaben und Tabellen.

1. Auflage, 1. Druck 2022

Alle Drucke dieser Auflage sind, weil untereinander unverändert, nebeneinander benutzbar.

© 2022 C.C. Buchner Verlag, Bamberg

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags. Das gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen und Mikroverfilmungen. Hinweis zu § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Redaktion: Frederik Töpfer

Illustrationen: Artegraph GbR, Rainer Götze, Berlin

Umschlag: Wildner + Designer GmbH, Fürth

Layout, Satz, Druck und Bindung: mgo360 GmbH & Co. KG, Bamberg

[www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de)

ISBN: 978-3-661-**67050**-8

Sicher experimentieren in der Physik . . . . . 8

## A Elektromagnetismus . . . . . 10

### 1 Felder

**Versuche und Materialien** . . . . . 12

1.1 Magnetismus und Einblick in den allgemeinen Feldbegriff . . . . . 14

1.2 Das magnetische Feld . . . . . 16

### 2 Kraft auf Ströme

**Versuche und Materialien** . . . . . 18

2.1 Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld . . . . . 20

2.2 Lorentzkraft . . . . . 22

2.3  **Schülerexperiment:** Elektromotor . . . . . 24

2.4 Elektromotor . . . . . 26

**Methode:** Funktionsweise technischer Geräte erklären und Argumentationsketten formulieren

### 3 Induktion

**Versuche und Materialien** . . . . . 28

3.1  **Schülerexperiment:** Untersuchung der Abhängigkeit der Induktionsspannung . . . . . 30

**Methode:** Messung von kleinen Spannungen

3.2 Erzeugen von Induktionsspannungen . . . . . 32

3.3 Grundlegende Induktionsphänomene . . . . . 34

3.4 Generator . . . . . 36

## 4 Technische Anwendungen

<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	38
4.1 Der Transformator . . . . .	40
4.2 Gesellschaftliche Folgen der Elektrifizierung . . . . .	42
4.3 Wechselwirkung von Technik und Gesellschaft. . . . .	44

---

Vermischte Aufgaben . . . . .	46
<b>Selbsttest</b> . . . . .	50
Zusammenfassung . . . . .	52

## B Impulserhaltung in der Mechanik . . . . . 54

### 5 Impuls

<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	56
5.1 Impuls als Erhaltungsgröße im zweidimensionalen Fall . . . . .	58
5.2 Eindimensionale Impuls- und Energiebetrachtungen. . . . .	60

### 6 Wechselwirkungsgesetz

<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	62
6.1 Wechselwirkungsgesetz. . . . .	64

---

Vermischte Aufgaben . . . . .	66
<b>Selbsttest</b> . . . . .	70
Zusammenfassung . . . . .	72

C	Bewegungen und ihre Modellierung in der Physik . . . . .	74
7	Bewegungen	
	<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	76
	Methode: Digitale Datenerfassung	
	7.1 Diagramme bei konstanter Geschwindigkeit . . . . .	78
	7.2 Diagramme der beschleunigten Bewegung. . . . .	80
	7.3 Bewegungsfunktionen . . . . .	82
	Methode: Gleichungen umformen	
	7.4 Der freie Fall . . . . .	86
8	Der waagrechte Wurf	
	<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	88
	8.1  <b>Schülerexperiment:</b> Abhängigkeiten der Wurfweite . . . . .	90
	8.2 Waagrechter Wurf - Koordinatenschreibweise . . . . .	92
9	Konzepte angewendet	
	<b>Versuche und Materialien</b> . . . . .	94
	9.1 Quantitative Beschreibung von Bewegungen . . . . .	96
	9.2 Anwendungen im Straßenverkehr . . . . .	98
	Methode: Bewerten und Nutzwertanalyse	
	Vermischte Aufgaben . . . . .	100
	<b>Selbsttest</b> . . . . .	104
	Zusammenfassung . . . . .	106

## D Kernphysik . . . . . 108

### 10 Radioaktivität

**Versuche und Materialien** . . . . . 110

**Methode:** Quellen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit einschätzen

10.1 Entdeckung der Radioaktivität . . . . . 112

10.2 Eigenschaften und Entstehung radioaktiver Strahlung . . . . . 114

10.3 Aufbau des Atomkerns und der Kernbausteine . . . . . 116

### 11 Energie und Radioaktivität

**Versuche und Materialien** . . . . . 118

11.1 Äquivalenz von Masse und Energie . . . . . 120

11.2 Energieberechnungen bei Kernreaktionen. . . . . 122

11.3 Die Funktionsweise eines Kernreaktors. . . . . 124

### 12 Halbwertszeit

**Versuche und Materialien** . . . . . 126

12.1 Halbwertszeit . . . . . 128

12.2 Anwendungen . . . . . 130

**Methode:** Über Interessenlagen reflektieren

12.3 Gefahren radioaktiver Strahlung. . . . . 132

Vermischte Aufgaben . . . . . 134

**Selbsttest** . . . . . 138

Zusammenfassung . . . . . 140

## E Profilbereich . . . . . 142

### 13 Halbleiterbauelemente

13.1  **Schülerexperiment:** Eigenschaften von Halbleiterbauelementen. 144

**Methode:** Widerstandswerte ablesen

13.2 Aufbau von Halbleiterelementen . . . . . 148

13.3 Dioden . . . . . 150  
 13.4  **Schülerexperiment:** Weitere Halbleiterbauelemente . . . . . 152  
 13.5 Transistoren . . . . . 156

14 Vertiefungen

14.1 **Vertiefung:** Mikroprozessoren . . . . . 158  
 14.2 **Vertiefung:** Magnete in der Fahrzeugtechnik . . . . . 162  
     **Methode:** Physikalische Fragestellungen entwickeln  
     und experimentell untersuchen  
 14.3 **Vertiefung:** Anwendungen aus der Elektrotechnik . . . . . 165  
 14.4 **Vertiefung:** Physik im Sport. . . . . 168  
 14.5 **Vertiefung:** Physik des Fliegens . . . . . 170  
 14.6 **Vertiefung:** Kausalität und Chaos. . . . . 173  
     **Methode:** Erkenntnisgewinnung in der Physik  
 14.7 **Vertiefung:** Nanotechnologie . . . . . 179  
 14.8 **Vertiefung:** Radioaktivität in Anwendungen . . . . . 184  
 14.9 **Vertiefung:** Kernkraftwerkstechnik. . . . . 186

Zusammenfassung . . . . . 189

**Anhang** Lösungen zu „Selbsttest“ . . . . . 190  
 Hilfestellungen . . . . . 208  
 Ordnungsstrukturen der Physik . . . . . 211  
 Grundlagen. . . . . 214  
 Operatoren und deren Bedeutung . . . . . 224  
 Stichwortverzeichnis. . . . . 226  
 Bildnachweis . . . . . 228

**Methoden** Funktionsweise technischer Geräte erklären und  
 Argumentationsketten formulieren . . . . . 27  
 Messung von kleinen Spannungen . . . . . 30  
 Digitale Datenerfassung. . . . . 76  
 Gleichungen umformen. . . . . 84  
 Bewerten und Nutzwertanalyse. . . . . 99  
 Quellen hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit einschätzen . . . . . 111  
 Über Interessenlagen reflektieren . . . . . 131  
 Widerstandswerte ablesen . . . . . 144  
 Physikalische Fragestellungen entwickeln und  
 experimentell untersuchen. . . . . 164  
 Erkenntnisgewinnung in der Physik. . . . . 176

## Verhalten in Fachräumen der Physik



1. Fachräume dürfen nur bei Anwesenheit einer Lehrkraft betreten werden.
2. In Fachräumen darf weder gegessen noch getrunken werden.
3. Schultaschen und Jacken sind so abzulegen, dass niemand darüber stolpert bzw. genügend Platz zum Vorbeigehen ist.
4. Geräte und Versuchsaufbauten (z. B. am Experimentiertisch vorne) dürfen ohne Erlaubnis der Lehrkraft keinesfalls berührt werden, auch wenn die Situation völlig ungefährlich erscheint.



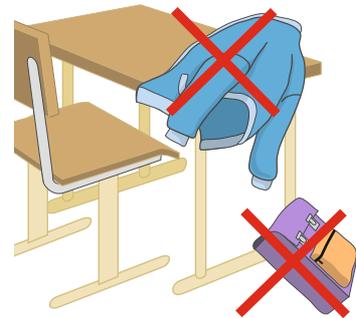
5. Die elektrische Energie- und Gasversorgung darf eigenmächtig nicht bedient werden.
6. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden.
7. Im Gefahrenfall einen Not-Aus-Schalter betätigen; Standorte und die Bedienung von Not-Aus-Schaltern sind bekannt.
8. Wer anderen im Gefahrenfall hilft, achtet auf seine eigene Sicherheit.



9. Die Standorte ...  
der Feuerlöscheinrichtungen,  
des Erste-Hilfe-Materials und  
des nächsten Telefons (im Notfall ggf. auch Handy nutzen) sind bekannt.  
**Notrufnummern 112 (integrierte Leitstelle) oder 110 (Polizei)**  
(beim Schultelefon muss erst 0 gewählt werden und dann 112 bzw. 110).
10. Bei einem Feueralarm sind die Verhaltensregeln zu beachten; der Fluchtweg ist bekannt.

## Verhalten beim Experimentieren

1. Beim Experimentieren dürfen Mappen und Kleidungsstücke nicht auf dem Experimentiertisch abgelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass es keine Stolperfallen (z. B. Schultaschen) gibt und genügend Platz zum Arbeiten ist.
2. Die Schülerinnen und Schüler befolgen die Arbeitsanweisungen der Lehrkraft gewissenhaft. Versuchsanleitungen sind sorgfältig zu lesen. Bei Unklarheiten fragen die Schülerinnen und Schüler die Lehrkraft.
3. Die von der Lehrkraft angeordneten Schutzmaßnahmen sind zu befolgen (u. a. bei offenen Flammen, erwärmten Flüssigkeiten oder bei elektrischer Gefährdung), um sich selbst und andere Personen nicht zu gefährden.
4. Beschädigte Steckdosen, Stecker, Geräte oder Kabel sowie offene Gashähne, Gasgeruch oder andere Gefahrenstellen sind sofort der Lehrerin oder dem Lehrer zu melden. Geräte sind sorgfältig zu handhaben.
5. Ohne die Erlaubnis der Lehrkraft (ggf. Lehrkraft zum eigenen Experimentierplatz holen und um Kontrolle des Aufbaus bitten)
  - dürfen keine Geräte eingeschaltet werden,
  - darf die Arbeit mit den Versuchsmaterialien nicht begonnen werden.
6. Eigenmächtig „mal etwas ausprobieren“ ist ohne Erlaubnis der Lehrerin oder des Lehrers untersagt.
7. Im Gefahrenfall oder bei einem Unfall ist sofort die Lehrkraft zu rufen.
8. Nach Beendigung des Versuchs
  - wird dieser ordnungsgemäß abgebaut (z. B. Elektroschalter ausschalten),
  - werden Versuchsmaterialien an ihren Platz zurückgebracht,
  - wird der Arbeitsplatz falls nötig gesäubert; ggf. auch die Hände gewaschen.
9. Aus Sicherheitsgründen dürfen Experimente, die in der Schule gezeigt oder unter Aufsicht der Lehrkraft von Schülerinnen und Schülern durchgeführt wurden, nicht gedankenlos oder leichtsinnig zu Hause wiederholt werden. Bei Heimexperimenten ist auch auf Sicherheit zu achten.



# A \ Elektromagnetismus

## Du kannst in diesem Kapitel entdecken, ...

welche Eigenschaften (magnetische) Felder besitzen und wie du sie visualisierst.

welche Kräfte auf geladene Teilchen im Magnetfeld wirken und wie ein Elektromotor funktioniert.

wie Induktionsspannungen entstehen, welche Phänomene dadurch hervorgerufen werden und wie ein Generator funktioniert.

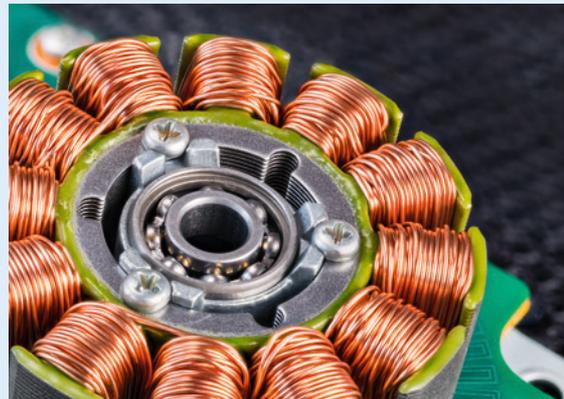
wie ein Transformator funktioniert und wie sich dabei die Spannungen und Stromstärken verhalten.

welche Auswirkungen technische Anwendungen wie der Elektromotor auf die gesellschaftliche Entwicklung haben.

## 1 Felder



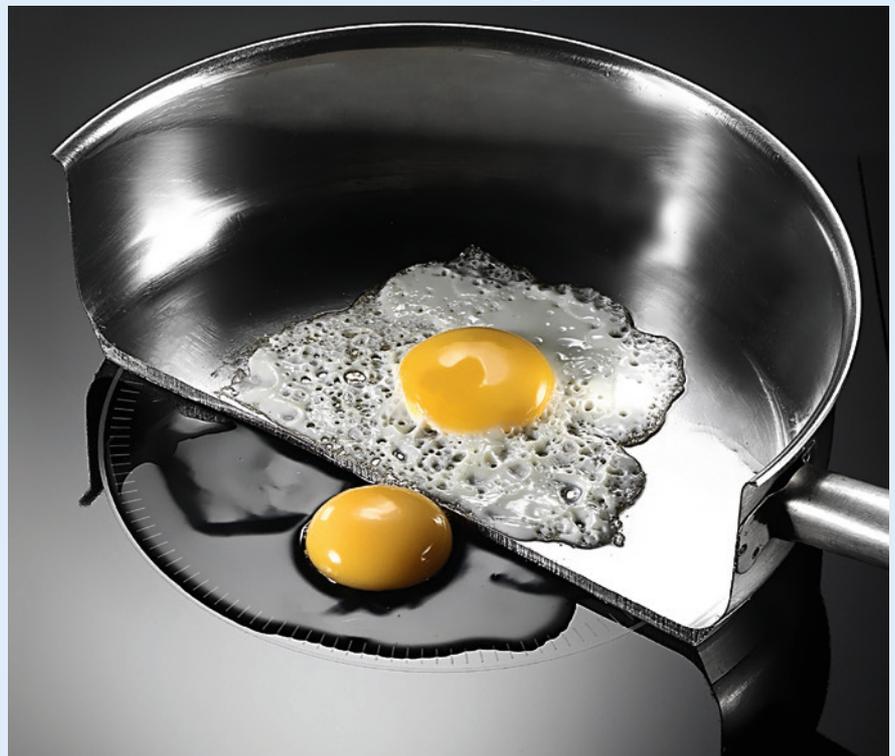
## 2 Kraft auf Ströme



### 3 Induktion



### 4 Technische Anwendungen





# 1 Felder

## Versuche und Materialien zu Kapitel 1.1 und 1.2

### ► M1 Lernaufgabe: Untersuchung des magnetischen Feldes

#### V1: Schwimmende magnetische Nadel

Ein flaches Gefäß wird mit Wasser befüllt und eine lange, magnetisierte Eisennadel auf die Wasseroberfläche gelegt (Tipp: lege sie zuerst auf ein Blatt Papier und ziehe das Papier vorsichtig im Wasser weg!). Ein Kompass, der in der Nähe des Gefäßes steht, zeigt dir an, in welche Richtung die Nadel zeigt (vgl. Abbildung).



#### V2: Permanentmagnete



Das magnetische Feld von Permanentmagneten lässt sich auch mit Eisenfeilspänen untersuchen, die um den Magneten herum gestreut werden, oder mit vielen Magnetnadeln, die dazu oftmals

in einem Gitter fest angeordnet sind.

Das Ergebnis halten wir in einem Bild oder einer Zeichnung fest. Sei dir bewusst, dass das Magnetfeld den gesamten Raum erfüllt, auch wenn nur eine Ebene dargestellt wird.

**!** Lege auf Magnete stets eine Glasscheibe oder einen Karton, bevor du sie mit Eisenfeilspänen bestreust!

#### V3: Stromdurchflossene Leiter und Elektromagnet

Stromdurchflossene Leiter sind ebenfalls von einem Magnetfeld umgeben. Aber erst bei einer hohen Stromstärke von mehreren Ampere reagiert eine Magnetnadel aufgrund der Reibung darauf. Das Magnetfeld wird jedoch stärker, wenn wir den Draht zusätzlich um ein Stück Eisen wickeln. Es entsteht ein sogenannter Elektromagnet.

#### Arbeitsauftrag

- Führe V1 durch. Beschreibe dein Vorgehen, um eine Eisennadel zu magnetisieren, und erkläre die Vorgänge dabei im Inneren der Nadel.
- Beobachte, wie sich die Richtungen von der Nadel im Wasser und des Kompasses ändern, wenn du einen Magneten in die Nähe des Wassergefäßes schiebst.
- Halte in V2 die Anordnung der Eisenfeilspäne um einen Stabmagneten und einen Hufeisenmagneten in einem Bild fest. Vergleiche mit einer Simulation und ergänze in deinem Bild die Feldlinien.
- Partnerarbeit: Dein Partner hat eine Anordnung aus zwei Magneten mit einem Karton verdeckt. Bestimme die Form und Lage der Magnete. Dokumentiere dein Vorgehen mit Bildern.
- Finde anhand einer Simulation für das Magnetfeld eines geraden, stromdurchflossenen Leiters eine Regel für die Feldrichtung.
- Bestimme experimentell das Magnetfeld in der Umgebung eines Elektromagneten und vergleiche mit dem eines Stabmagneten.



MC 67050-01



MC 67050-02

## Versuche und Materialien zu Kapitel 1.2

### ► M2 Einstieg: Orientierung von Zugvögeln

Jedes Jahr, wenn es anfängt kalt zu werden, lässt sich am Himmel der Zug der Vögel beobachten. [...] Wissenschaftler gehen davon aus, dass sich Zugvögel am Stand der Sonne orientieren. Viele der Tiere legen jedoch große Teile ihrer Reise in der Nacht zurück. Um dennoch den richtigen Weg zu finden, nutzen sie offenbar das Magnetfeld der Erde. „Zum Navigieren braucht man immer zwei Dinge: eine Karte sowie einen Kompass“, erklärt Ilia Solov'yov von der Süddänischen Universität in Odense. Der Magnetsinn der Vögel setzt sich deshalb aus zwei Komponenten zusammen: Die Tiere können zum einen die Stärke des Erdmagnetfelds und zum anderen dessen Ausrichtung erfassen. Beide Fähigkeiten sind gleichermaßen wichtig. Indem die Zugvögel auf ihrer inneren Magnetfeldkarte die magnetischen Feldstärken verschiedener Regionen verzeichnen, können sie erkennen, an welchen Orten sie schon einmal waren. „Bewegen wir uns zum Beispiel in Richtung Äquator, so ändert sich die Magnetfeldintensität etwas. Auch in der Nähe einer Großstadt gibt es Anomalien im Magnetfeld.“ [...]

Wo im Körper der Tiere der Magnetsinn verankert ist, untersuchen Wissenschaftler bereits seit vielen Jahren. Den inneren Kompass vermuten sie im Auge der Vögel. „Wir denken, dass es auf der Netzhaut ein bestimmtes Protein gibt“, so Solov'yov. „Bringt man dieses Protein in ein Magnetfeld, dann verändern sich seine chemischen Eigenschaften.“ Dieses Verhalten führen die Forscher auf einzelne Molekülpaare in dem Protein zurück. Die beteiligten Moleküle verfügen jeweils über ein überschüssiges Elektron, das sich wie ein kleiner Stabmagnet verhält. Wie sich die beiden winzigen Magneten innerhalb eines Paares ausrichten – parallel oder antiparallel – hängt stark von der Richtung des Erdmagnetfelds ab. Und je nachdem wie viele der Molekülpaare in der Netzhaut den einen oder anderen Zustand einnehmen, laufen die chemischen Reaktionen im Auge geringfügig anders ab. Auf diese Weise kann der Vogel die Himmelsrichtungen unterscheiden. [...]

Die zur Navigation nötige Magnetfeldkarte zeichnen Zugvögel vermutlich mithilfe ihres Schnabels auf. Hier stießen Wissenschaftler auf eisenhaltige Partikel, die sich wie kleine Kompassnadeln im Magnetfeld der Erde ausrichten und somit als Magnetsensoren infrage kommen könnten. [...]

© Isabel Rathmann, 23.01.2018, zuletzt aufgerufen am 20.07.2022

<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/wie-finden-zugvoegel-den-weg/>

### Arbeitsauftrag

- Lies den Text und gliedere ihn in Abschnitte. Formuliere für jeden Abschnitt eine passende Überschrift und fasse den Text in wenigen Sätzen zusammen.
- Erkläre die Begriffe parallel und antiparallel für die Ausrichtung von Stabmagneten.
- Zeichne das Magnetfeld von zwei nebeneinander liegenden Stabmagneten jeweils in paralleler und antiparalleler Ausrichtung.
- Bewegen wir uns zum Beispiel in Richtung Äquator, so ändert sich die Magnetfeldintensität etwas. Stelle das Magnetfeld der Erde mit einer Zeichnung dar und begründe damit die Aussage des Textes. Gib eine weitere Eigenschaft des Magnetfeldes an, die sich auf dem Weg vom Pol zum Äquator ändert.
- Beschreibe einen Weg, um bei Vögeln nachzuweisen, dass sie auf das Magnetfeld der Erde reagieren. Informiere dich z. B. unter folgendem Link:



MC 67050-03

# 1.1 Magnetismus und Einblick in den allgemeinen Feldbegriff

- i** Eine kleine Eselsbrücke: Nordpol und rot haben ein  $\alpha$ , Südpol und grün haben ein  $\ddot{u}$ .
- i** Nord- und Südpol treten stets zusammen auf (Dipol). Einzelne Pole (Monopole) gibt es nicht.
- i** Vorsicht: Plus- und Minuspol gibt es nur bei elektrischen Ladungen!

- i** Der Probekörper sollte dabei groß genug sein, um auf den Magneten zu reagieren, aber so klein wie möglich sein, dass er nicht selbst die Umgebung des Magneten verändert.

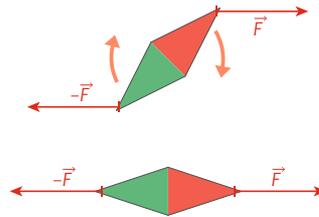
- i** So wie der Probekörper in eine bestimmte Richtung eine bestimmte Kraft erfährt, hat auch das Feld in jedem Punkt des Raumes eine bestimmte Richtung und eine bestimmte Stärke.

## Permanentmagnete

Du weißt bereits aus der 7. Jahrgangsstufe, dass Dauer- oder Permanentmagnete zwei Pole besitzen, an denen die magnetische Wirkung besonders groß ist: Einen Nordpol (N) und einen Südpol (S). Sie werden oft rot und grün markiert. Nähern wir zwei Permanentmagnete einander an, so ziehen sich ungleichnamige Pole gegenseitig an, während sich gleichnamige Pole voneinander abstoßen (vgl. S. 218). Ferromagnetische Stoffe wie Eisen, Kobalt oder Nickel werden bei Annäherung an einen Permanentmagneten von jedem der beiden Pole angezogen.

Permanentmagnete und ferromagnetische Stoffe sind dabei aus kleinsten magnetischen Bereichen aufgebaut (vgl. S. 218). In unserer Modellvorstellung sind die Elementarmagnete in ihnen gleich ausgerichtet. Permanentmagnete unterscheiden sich von unmagnetischen ferromagnetischen Körpern durch die nahezu gleiche Ausrichtung aller dieser Bezirke.

## Das magnetische Feld



- B1** Die Pole der Magnetnadel erfahren jeweils eine Kraft, sodass sich die Magnetnadel dreht, bis die Kräfte längs einer Linie wirken.

Im Experiment können wir sehen, dass sich ein Probekörper (z. B. kleine Magnetnadeln oder ferromagnetische Stoffe wie Eisenfeilspäne) im Raum um den Magneten je nach Lage zum Magneten unterschiedlich ausrichtet (vgl. B1). Mit dem Abstand von den Polen wird die Kraft auf den Probekörper geringer, die Wirkung des Magneten nimmt also ab. Sie ist aber auch vorhanden, wenn der Magnet von einem Karton verdeckt wird. Ohne dass wir also

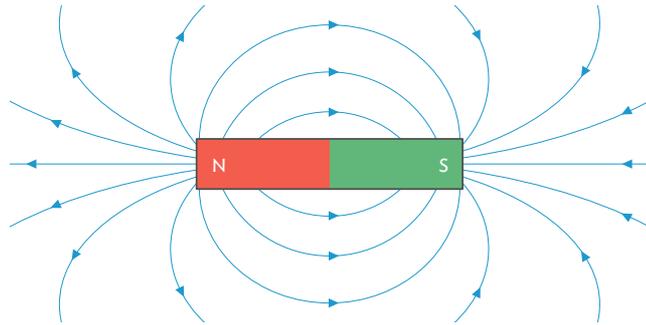
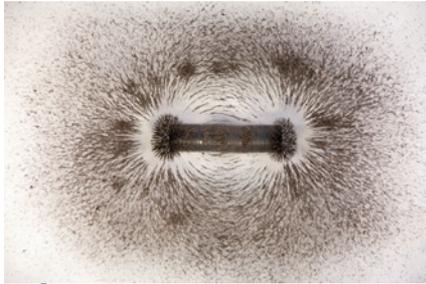
die Art oder die Lage des Magneten kennen müssen, reagiert der Probekörper so, als würde er an seinem Platz durch eine bestimmte Eigenschaft des Raumes gelenkt. Diese Eigenschaft nennen wir magnetisches Feld.

Die Veränderung des Raumes durch den Magneten beschreiben wir mit der Vorstellung, dass im Raum um den Magneten ein magnetisches Feld herrscht: Ein Probekörper richtet sich im Magnetfeld aus.

## Physikalischer Feldbegriff

Diese Vorstellung lässt sich verallgemeinern: Immer dann, wenn in einem Raumbereich Kraftwirkungen auf Gegenstände oder Teilchen zu beobachten sind, sagt man: „Dort herrscht ein physikalisches Feld.“ So erzeugt ein Objekt, das eine Masse besitzt, im Raum um sich herum ein Gravitationsfeld. Dies lässt sich daran erkennen, dass wir eine Kraftwirkung auf andere Massen beobachten können. Objekte müssen also nicht in direktem Kontakt miteinander stehen, um sich beeinflussen zu können. Mit dem Konzept eines physikalischen Feldes gibt es einen „Vermittler“.

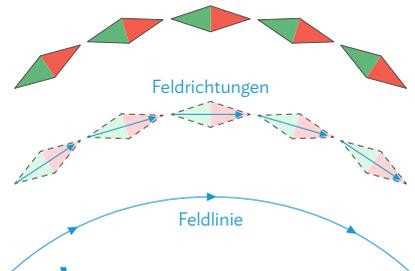
### Feldlinien als Modellvorstellung



**B2** Eisenfeilspäne in der Umgebung eines Stabmagneten (links) und das Feldlinienbild eines Stabmagneten (rechts).

Bringen wir Magnetenadeln oder Eisenfeilspäne in die Nähe eines Magneten, so richten sie sich so aus, dass Linien erkennbar werden (vgl. B2). Die Richtung der Kraft auf die Probekörper ist dabei stets die gleiche wie die Richtung der Linie an dieser Stelle. Man sagt: Die Krafrichtung ist tangential zur Feldlinie. Damit können wir die Eigenschaften des Magnetfelds modellmäßig durch ein Feldlinienbild veranschaulichen. Als Richtung der Feldlinien vereinbaren wir die Richtung der Kraft auf die Nordspitze einer Magnetenadel (vgl. B3). Die Magnetfeldlinien eines Permanentmagneten verlaufen also vom Nord- zum Südpol.

An den Polen liegen die Eisenfeilspäne meist dichter, das Magnetfeld ist hier stärker. Im Feldlinienbild lässt sich das durch eng benachbarte Feldlinien darstellen, die sich jedoch nie schneiden. Ist die Kraft auf eine Magnetenadel in einem Raumbereich stets gleich groß und hat sie stets dieselbe Richtung, so sprechen wir von einem homogenen Magnetfeld. Die Feldlinien verlaufen dort parallel und haben gleiche Abstände zueinander.



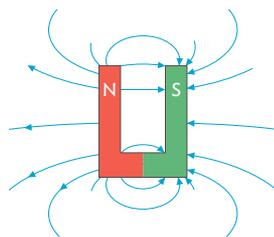
**B3** Von der Kette von Magnetenadeln über die Krafrichtung auf den Nordpol der Magnetenadeln zur Feldlinie.

Magnetenadeln richten sich tangential zu den Feldlinien aus. Feldlinien schneiden sich nie. Außerhalb von Permanentmagneten verlaufen die Feldlinien vom Nord- zum Südpol.

**i** Feldlinien veranschaulichen uns die Struktur eines Feldes; sie dienen aber nur als Modell!

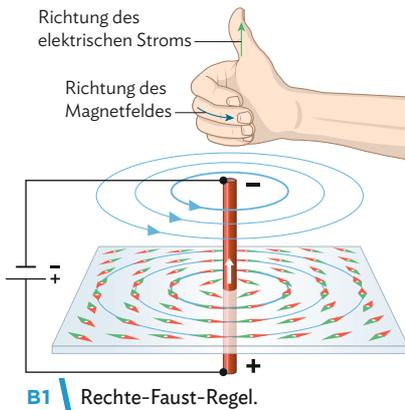
### Arbeitsaufträge

- 1 | Gib die Regeln an, die für Magnetfeldlinien gelten. Nenne die Stärken und Schwächen dieses Modells für das Magnetfeld.
- 2 | Vervollständige das Feldlinienbild des Hufeisenmagneten in deinem Heft und kennzeichne den homogenen Bereich.
- 3 | a) Begründe mithilfe von Kräftebetrachtungen, dass sich Feldlinien nicht schneiden dürfen.



- b) Erkläre die Beobachtung, dass sich Eisenfeilspäne im Magnetfeld zu Linien anordnen.
- c) Zeichne für das Gravitationsfeld um die Erde ein Feldlinienbild. Berücksichtige dabei den Zusammenhang mit der Richtung der Feldlinien und der Krafrichtung auf einen geeigneten Probekörper.
- 4 | Auch die Wirkung einer elektrischen Ladung auf andere Ladungen lässt sich durch ein Feld beschreiben. Recherchiere die wichtigsten Eigenschaften dieses elektrischen Feldes und stelle es für einfache Ladungsanordnungen dar.

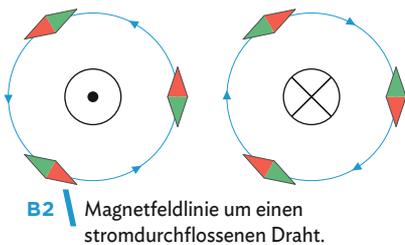
## 1.2 Das magnetische Feld



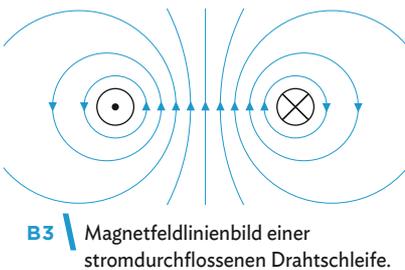
### Gerader stromdurchflossener Leiter

Bei den Wirkungen des elektrischen Stromes hatten wir bereits kennengelernt, dass in der Umgebung eines geraden stromdurchflossenen Drahtes eine Magnethöhle eine Kraft erfährt. Untersuchen wir mit Eisenfeilspänen das Magnetfeld näher und bestimmen wir mit einer Magnethöhle die Richtung des Magnetfeldes, so erhalten wir das in B1 dargestellte Bild: Die Feldlinien verlaufen in Ebenen senkrecht zum Draht. Sie sind in sich geschlossen und bilden konzentrische Kreise mit dem Draht als Mittelpunkt. Die Stärke des Magnetfeldes nimmt nach außen hin ab. Die Richtung des Magnetfeldes lässt sich leicht mit folgender Regel bestimmen:

Rechte-Faust-Regel: Schließen wir die rechte Faust so um den Draht, dass der abgespreizte Daumen in die Stromrichtung zeigt, so geben die Finger die Magnetfeldrichtung an.

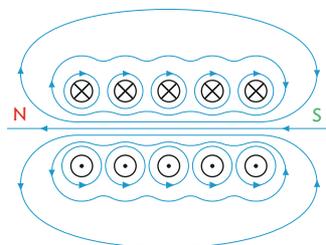


Bei einer Zeichnung stellen wir meist nur eine Ebene senkrecht zum Draht dar (vgl. B2). Die Position des Drahtes lässt sich dabei mit einem kleinen Kreis markieren. Ein Strom, der im Draht aus der Zeichenebene herausfließt, stellen wir mit einem Punkt dar. Verläuft die Stromrichtung in die Zeichenebene hinein, so zeichnen wir ein Kreuz. Beide Symbole erinnern an einen Pfeil, der mit der Spitze auf dich zufliegt oder mit seinen gekreuzten Federn am Pfeilende von dir wegfliegt.



### Drahtschleife und Spule

Biegen wir den Draht zu einem Kreis, so erhalten wir eine Drahtschleife. Innerhalb der Schleife, wo sich die Magnetfelder gegenseitig verstärken, verlaufen die Magnetfeldlinien dichter als außerhalb (vgl. B3). Die Feldrichtung lässt sich auch hier wieder mit der Rechten-Faust-Regel bestimmen. Wickeln wir den Draht beispielsweise auf eine Papierrolle, so entsteht eine sogenannte Spule. Eine Untersuchung ergibt, dass das Magnetfeld außerhalb der Spule dem Magnetfeld eines Stabmagneten gleicht. In unmittelbarer Umgebung der einzelnen Drahtabschnitte ähnelt das Magnetfeld wieder dem eines geraden Leiters (vgl. B4). Innerhalb der Spule verstärkt sich aber das Magnetfeld der einzelnen Drahtabschnitte und überlagert sich zu einem homogenen Magnetfeld. Die Feldrichtung zeigt dabei von Süd nach Nord.

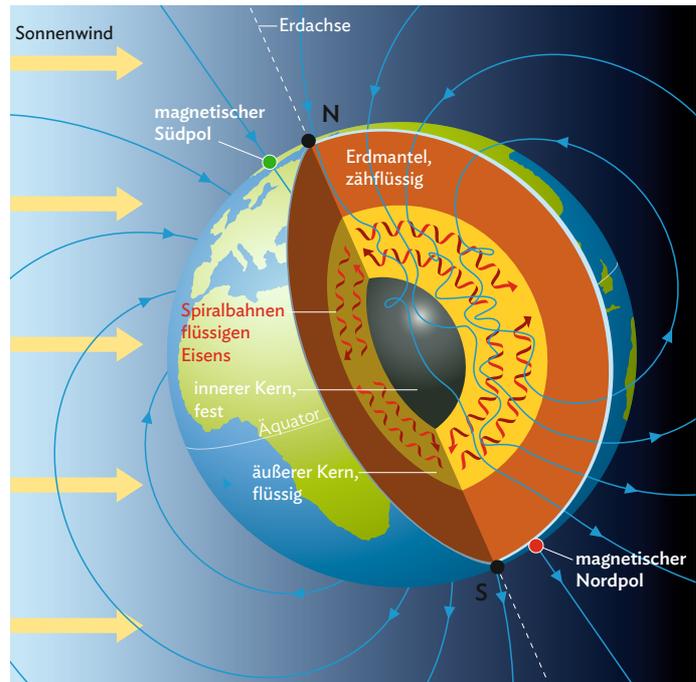


**i** Schieben wir einen Eisenstab in die Spule („Eisenkern“), wird das Magnetfeld noch verstärkt, weil sich die Elementarmagnete im Eisen alle entsprechend der Magnetfeldrichtung ausrichten. Wir erhalten einen sogenannten Elektromagneten.

Innerhalb einer stromdurchflossenen Spule ist das Magnetfeld homogen, außerhalb gleicht es dem eines Stabmagneten.

## Das Erdmagnetfeld

Die Nordspitze deines Kompasses zeigt nach Norden. Daher muss dort ein magnetischer Südpol liegen. Ebenso liegt im Süden ein magnetischer Nordpol. Die magnetischen Pole stimmen aber nicht mit den geographischen Polen überein. In seiner äußeren Struktur ähnelt das Erdmagnetfeld dem Magnetfeld eines Stabmagneten (vgl. B5). In größerer Entfernung zur Erde wird es aber auch vom Sonnenwind beeinflusst, einem Strom geladener Teilchen, der von der Sonne ausgeht. Das Erdmagnetfeld entsteht im Inneren der Erde: Aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen dem heißen inneren Erdkern und dem kühleren Erdmantel steigt wiederholt Eisen auf, kühlt ab und sinkt wieder ab. Dabei wird es durch die Rotation der Erde auf Spiralbahnen gelenkt. Elektrische Ströme auf diesen Bahnen erzeugen schließlich das Magnetfeld.



B5 | Magnetfeldlinienbild der Erde.

Das Magnetfeld der Erde ähnelt dem eines Stabmagneten. Es entsteht im Erdinneren durch elektrische Ströme.

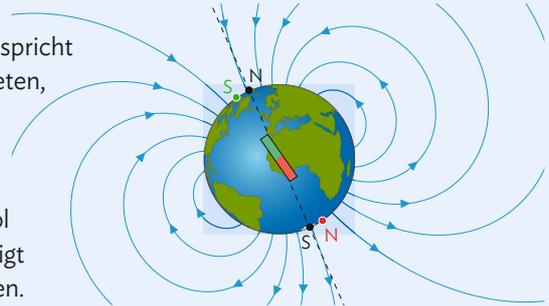
**i** Bei hohen Temperaturen ist Eisen nicht ferromagnetisch.

## Musteraufgabe

Stelle das Erdmagnetfeld mit seinem Feldlinienbild dar. Markiere dabei auf der Erdkugel auch die geographischen und magnetischen Pole und zeichne die Rotationsachse der Erde ein. Vergleiche schließlich mit dem Magnetfeld eines Stabmagneten.

### Lösung

Das Feldlinienbild entspricht dem eines Stabmagneten, dessen Längsachse etwas gegen die Rotationsachse geneigt ist. Der Südpol des Stabmagneten zeigt dabei Richtung Norden.



## Arbeitsaufträge

- Beschreibe das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Nenne Kriterien, auf die bei der Darstellung des Magnetfeldes im Inneren der Spule zu achten ist.
- Zeichne das Magnetfeld eines Stabmagneten. Stelle dabei auch die Elementarmagnete und den Feldverlauf im Inneren des Stabmagneten dar.
- Entwickle eine Merkmallregel, mit der sich die Magnetfeldrichtung bei einer stromdurchflossenen Spule bestimmen lässt. Benutze dazu die rechte Hand. Die Finger der rechten Hand sollen dabei die Stromrichtung angeben, während der Daumen die Magnetfeldrichtung anzeigt.

✚ Hilfestellung auf Seite 208-210

↳ weitere passende Aufgaben: S. 46, Nr. 1

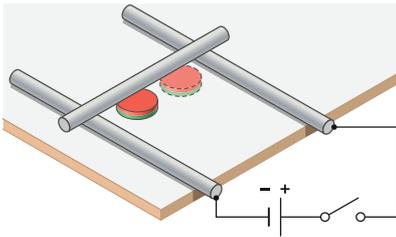


# 2 Kraft auf Ströme

## Versuche und Materialien zu Kapitel 2.1

### ► M1 Lernaufgabe: Magnetische Kraft auf eine stromdurchflossene Aluminiumstange

In der Abbildung siehst du zwei parallele Aluminiumstangen und eine weitere, die senkrecht darauf liegt. Diese bewegliche Querstange befindet sich in Ruhe über einem Magneten. Aluminium wird von Magneten nicht angezogen oder abgestoßen. Wird der Schalter geschlossen, dann fließt Strom im Stromkreis, auch durch die Querstange, und diese beginnt zu rollen. Auf die stromdurchflossene Aluminium-Querstange wirkt also eine Kraft.



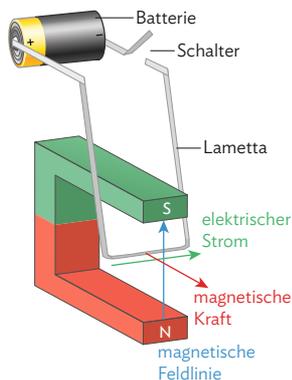
#### Arbeitsauftrag

- Führe das Experiment durch und
  - ▼ beschreibe deine Beobachtungen.
- Wiederhole das Experiment...
  - ▼ ① mit umgepolter Stromquelle,
  - ② mit umgedrehtem Magneten und vergleiche jeweils mit den Beobachtungen von a).
- Wiederhole das Experiment...
  - ▼ ③ mit 2 Batterien in Reihe,
  - ④ mit 2 Magneten nebeneinander. Vergleiche wieder mit a).

### ► M2 Lernaufgabe: Lametta-Schaukel

Ein Lametta-Faden aus Aluminium wird leitfähig an eine Batterie geklebt und hängt wie abgebildet in einem Hufeisenmagneten, zunächst mit geöffnetem Schalter. Weil Aluminium unmagnetisch ist, übt der Magnet keine Kraft auf den Faden aus.

Beim Schließen des Stromkreises über den Schalter fließt ein elektrischer Strom. Jetzt wird der Faden im Hufeisenmagneten ausgelenkt; es muss also eine Kraft auf ihn wirken. Beim Unterbrechen des Stromkreises schwingt der Lametta-Faden wieder zurück. Durch periodisches Schließen und Öffnen des Schalters kann die „Lametta-Schaukel“ in Gang gesetzt werden.



#### Arbeitsauftrag

- Führe das Experiment durch.
- Erkläre, dass das Experiment mit einem Kunststoff-Faden nicht funktionieren kann, auch wenn dieser genauso beweglich ist wie der Lametta-Faden.
- Wiederhole das Experiment...
  - ▼ ① mit umgepolter Stromquelle,
  - ② mit umgedrehtem Magneten und vergleiche jeweils mit den Beobachtungen aus a).
- Ziehe den unteren Teil des Lametta-Fadens gerade und wiederhole den Versuch. Vergleiche wieder mit den Beobachtungen aus a). Biege dann den Faden so, dass er schräg im Magneten liegt, und formuliere eine Regel für die auslenkende Kraft.

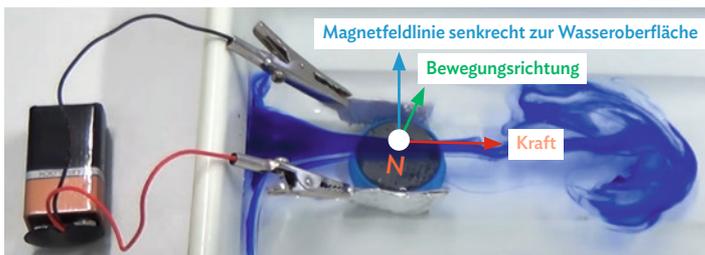
! Faden und Schalter können sehr heiß werden!  
Nutze eine isolierte Zange statt deiner Finger!

## Versuche und Materialien zu Kapitel 2.2

### ► M3 Lernaufgabe: Magnetohydrodynamischer Antrieb

In dem Film „Jagd auf Roter Oktober“ bewegt sich das fiktive russische U-Boot ohne Schiffsschraube fast lautlos mit einem magnetohydrodynamischen Antrieb.

Das Modell des magnetohydrodynamischen Antriebs besteht aus zwei Aluminium-Stücken (zerdrückte Teelichter) und einem außen isolierten flachen Magneten, der sich zwischen den Aluminiumplatten im Wasser befindet. Im Wasser ist Kochsalz (NaCl) gelöst. Bei Anlegen der Spannung einer 9V-Batterie an die Aluminiumplatten bewegen sich die Natrium-Ionen ( $\text{Na}^+$ ) hin zur Aluminiumplatte, die mit dem Minuspol verbunden ist. Die nun wirkende magnetische Kraft beschleunigt die  $\text{Na}^+$ -Ionen und das sie umgebende Wasser nach rechts, also senkrecht zur Bewegungsrichtung der Ionen. Das lässt sich gut mit etwas Tinte veranschaulichen.



! Verwende ausschließlich eine Batterie mit maximal 9 V!

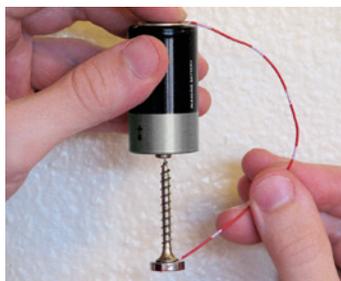
### Arbeitsauftrag

- Führe das Experiment durch.
  - ▼ Tropfe die Tinte dazu am linken Gefäßrand zwischen die beiden Anschlussklemmen.
- Erkläre, dass die Chloridionen in die gleiche Richtung abgelenkt werden wie die Natriumionen. Gib die Beobachtungen an, die deine Erklärung bestätigen.
- Recherchiere Grenzen eines magnetohydrodynamischen Antriebs bei der technischen Verwendung in Schiffen. Stelle eine konkrete Anwendung vor und beschreibe die technischen Mittel, mit denen der Antrieb optimiert wurde.

## Versuche und Materialien zu Kapitel 2.4

### ► M4 Einstieg: Unipolarmotor

Ein Unipolarmotor besteht aus einer Eisenschraube auf einem starken Scheibenmagneten aus Neodym, die beide an einer 1,5 V-Batterie hängen. Nach Schließen des Stromkreises mithilfe eines Kabels startet der Unipolarmotor. Die Laufeigenschaften sind dabei abhängig von der Stelle, an der das Kabel den Neodym-Magneten berührt.

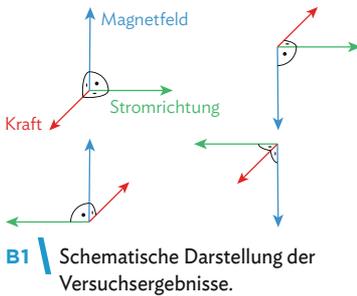


! Pass auf, dass du deine Finger nicht einklemmst! Draht und Kontaktstellen können heiß werden!

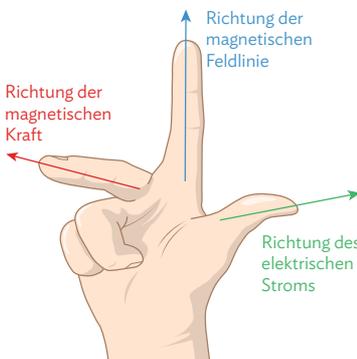
### Arbeitsauftrag

- Baue und starte den Motor.
- Bestimme mithilfe der Drei-Finger-Regel die Drehrichtung des Scheibenmagneten und überprüfe dein Ergebnis experimentell. Beachte, dass innerhalb des Materials des Scheibenmagneten die magnetischen Feldlinien vom Südpol zum Nordpol verlaufen und so die äußeren Feldlinien schließen.

## 2.1 Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld



**B1** Schematische Darstellung der Versuchsergebnisse.



**B2** Drei-Finger-Regel.

### Richtung der magnetischen Kraft

Anhand von Experimenten wie in M1 oder M2 lässt sich beobachten, dass auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld eine Kraft ausgeübt wird, selbst wenn der Leiter nicht aus einem ferromagnetischen Stoff besteht. Die Richtung der Kraft hängt dabei von der Stromrichtung und von der Richtung der Magnetfeldlinien ab. Für eine übersichtliche Darstellung der Versuchsergebnisse hilft es, den Aufbau auf die Pfeile des Magnetfelds, der Stromrichtung und der Kraft zu reduzieren (vgl. B1). Es zeigt sich, dass die gegenseitige Lage immer die gleiche ist; die Pfeile sind lediglich im Raum gedreht.

Um sich den Zusammenhang besser merken zu können, werden für diese drei Richtungen die gespreizten Finger der rechten Hand verwendet (vgl. B2). Die entsprechende Regel wird als Drei-Finger-Regel der rechten Hand bezeichnet (nachfolgend kurz: „Drei-Finger-Regel“). Dabei zeigt der Daumen in die Stromrichtung, der Zeigefinger in die Richtung der Magnetfeldlinie und der Mittelfinger in die Richtung der magnetischen Kraft. Alle drei Richtungen stehen aufeinander senkrecht.

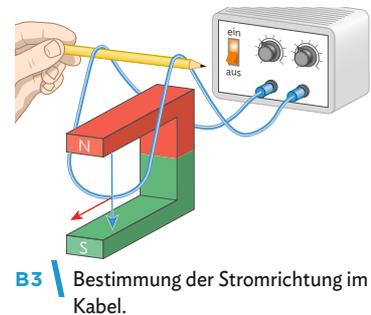
Auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt im Magnetfeld eine Kraft. Mithilfe der Drei-Finger-Regel kann Stromrichtung (Daumen), Magnetfeldrichtung (Zeigefinger) und Krafrichtung (Mittelfinger) angezeigt werden.

Wenn – wie im Lametta-Experiment M2d – Stromrichtung und Magnetfeldrichtung nicht mehr senkrecht zueinander stehen, bleibt die Krafrichtung zwar die gleiche, aber der Betrag der Kraft wird geringer.

### Anwendung der Drei-Finger-Regel

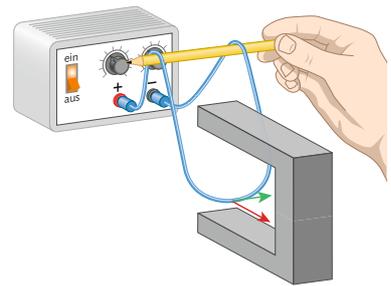
Mithilfe der Drei-Finger-Regel kann auch die Richtung des elektrischen Stromes in einem Leiter bestimmt werden (vgl. B3): Mit den magnetischen Feldlinien im Hufeisenmagneten vom Nordpol zum Südpol und aufgrund der Auslenkung des waagrechten Teils des Kabels fließt der Strom dort nach links-hinten. Somit ist der vordere Ausgang der Pluspol der Elektrizitätsquelle. Ein Umpolen der Elektrizitätsquelle führt zu einer entgegengesetzten Stromrichtung im Leiter und entsprechend zu einer entgegengesetzt gerichteten Kraft auf den Leiter, vgl. auch M1.

Ganz ähnlich kann mithilfe der Drei-Finger-Regel die Richtung des Magnetfeldes des Hufeisenmagneten bestimmt werden (vgl. B4): Mit der



**B3** Bestimmung der Stromrichtung im Kabel.

Stromrichtung im waagrechten Teil des Leiters nach rechts-hinten und der magnetischen Kraft nach rechts-vorne ist das Magnetfeld nach oben gerichtet. Somit befindet sich der Nordpol des Magneten unten. Ein Umpolen des Magnetfeldes durch Umdrehen des Hufeisenmagneten führt zu einer entgegengesetzt gerichteten magnetischen Kraft.

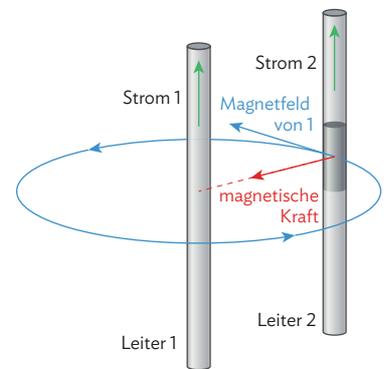


**B4** Bestimmung der Richtung des Magnetfeldes des Hufeisenmagneten.

Mithilfe der Drei-Finger-Regel kann die Stromrichtung bzw. die Richtung des Magnetfeldes bestimmt werden. Bei Umpolung der Stromrichtung bzw. des Magnetfeldes wirkt die magnetische Kraft in die entgegengesetzte Richtung.

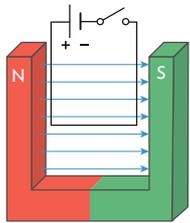
### Gegenseitige Kräfte von zwei stromdurchflossenen Leitern

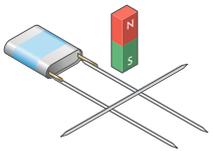
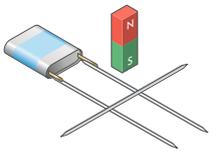
In allen bisherigen Experimenten befand sich der stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld eines Dauermagneten. Das gleiche Magnetfeld kann aber natürlich auch durch einen Elektromagneten erzeugt werden. Darin zeigt sich ein weiterer Vorteil der Beschreibung durch Felder: Die konkreten Gegenstände, die diese Felder erzeugen, müssen nicht weiter beachtet werden; entscheidend sind lediglich Stärke und Richtung des Magnetfeldes am Ort des stromdurchflossenen Leiters. Ein Beispiel für eine solche Situation zeigt B5. Durch zwei parallele Drähte fließt jeweils ein elektrischer Strom in die gleiche Richtung. Der Stromfluss durch den Leiter 1 erzeugt ein Magnetfeld, das nach der Rechte-Faust-Regel (Kapitel 1.2) durch kreisförmige Feldlinien dargestellt werden kann. An der Stelle des zweiten Drahtes hat das Magnetfeld die eingezeichnete Richtung senkrecht zur Stromrichtung des zweiten Drahtes. Wenden wir jetzt die Drei-Finger-Regel an, so ergibt sich die eingezeichnete Richtung der Kraft auf das markierte Drahtstück. Der zweite Draht wird also vom ersten angezogen.



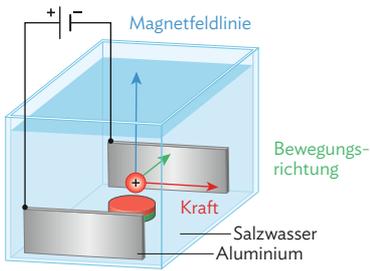
**B5** Kräfte zwischen zwei elektrischen Leitern.

### Arbeitsaufträge

- 1 a) Bestimme jeweils die Richtung der Kraft, die auf die beiden senkrechten Leiterstücke wirkt.
 
- b) Begründe, dass du die Drei-Finger-Regel der rechten Hand auf das waagrechte untere Leiterstück nicht anwenden kannst.
- c) Die Leiterstücke bestehen aus starrem Kupferdraht. Beschreibe die Bewegung dieses starren „Drahtrahmens“ unter dem Einfluss der in (a) bestimmten Kräfte.

- 2 a) Gib die Richtung an, in die sich die quer liegende Aluminium-Stricknadel bewegt. Begründe deine Entscheidung, überprüfe sie experimentell und dokumentiere das Ergebnis.
 
- b) Wiederhole a) mit umgedrehtem Stabmagneten und mit umgepolter Flachbatterie.
- 3 a) Die Situation von B5 wird so verändert, dass die elektrischen Ströme in entgegengesetzte Richtungen verlaufen. Bestimme wieder die Richtung der Kraft auf das markierte Drahtstück.
 
- b) Bestimme sowohl für gleich gerichtete als auch für entgegen gerichtete Ströme die Kraft, die auf Leiter 1 wirkt.

↳ weitere passende Aufgaben:  
S. 46, Nr. 5



**B1** Lorentzkraft auf bewegte Ladungen im Magnetfeld.

### Kraft auf bewegte Ladungen

In einem Magnetfeld wirkt die Kraft nicht nur auf den gesamten stromdurchflossenen Leiter, sondern auf jeden einzelnen Ladungsträger. Allgemein wirkt auf bewegte Ladungen im Magnetfeld eine Kraft, die nach dem niederländischen Physiker Hendrik Antoon Lorentz als Lorentzkraft bezeichnet wird.

Ähnlich wie in M3 werden in der Anordnung von B1 durch die Lorentzkraft in Salzwasser (Wasser mit darin aufgelöstem Kochsalz NaCl) die Natriumionen ( $\text{Na}^+$ ) zusammen mit dem umgebenden Wasser nach rechts beschleunigt, es kann eine entsprechende Strömung beobachtet werden. Die negativ geladenen Chlorid-Ionen ( $\text{Cl}^-$ ) des Salzwassers werden in die gleiche Richtung beschleunigt.

Zur Bestimmung der Richtung der Lorentzkraft kann wieder die Drei-Finger-Regel verwendet werden (vgl. B2): Der Daumen zeigt dabei in die Bewegungsrichtung der positiven Ladung ( $\text{Na}^+$ -Ion), der Zeigefinger zeigt in Magnetfeldrichtung und der Mittelfinger zeigt in die Richtung der Lorentzkraft.



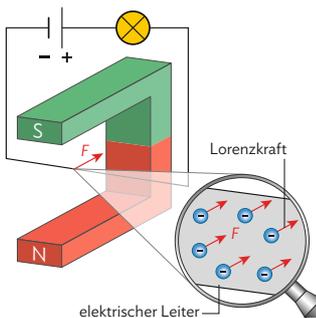
**B2** Drei-Finger-Regel zum Experiment in B1.

Beachte, dass die Bewegungsrichtung der positiven Ladungsträger dabei der Stromrichtung aus Kapitel 2.1 entspricht. Zur Verwendung der Drei-Finger-Regel für eine bewegte negative Ladung im Magnetfeld zeigt der Daumen *entgegen* der Bewegungsrichtung der negativen Ladung.

Auf bewegte Ladungen im Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft. Mithilfe der Drei-Finger-Regel der rechten Hand wird die Richtung der Lorentzkraft auf bewegte Ladungen im Magnetfeld bestimmt.

### Lorentzkraft auf Ströme im Leiter

Im Aufbau von B3 fließt nach Schließen des Stromkreises ein elektrischer Strom. Die negativ geladenen Elektronen bewegen sich vom Minus- zum Pluspol, d. h. im unteren waagrechten Teil des Stromkreises nach rechts und werden jedes durch die Lorentzkraft nach hinten abgelenkt. Die Addition der Lorentzkräfte auf alle dort bewegten Elektronen ergibt die Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter: Sie ist damit auch nach hinten gerichtet.

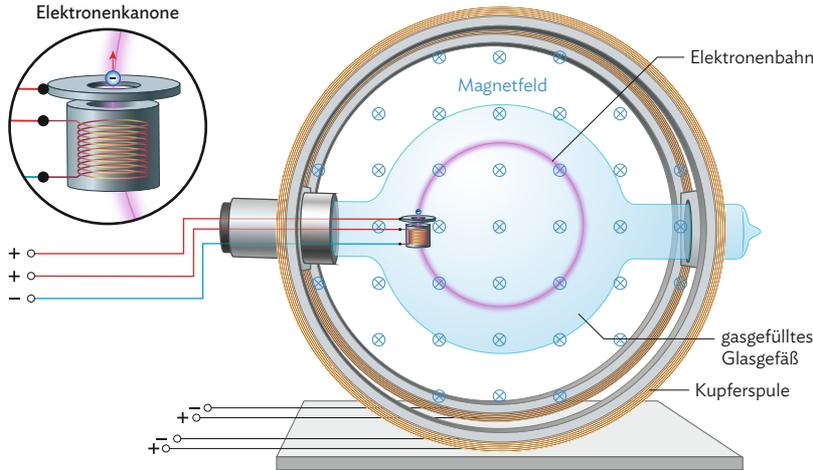


**B3** Lorentzkräfte auf bewegte Elektronen im Leiter.

Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld setzt sich zusammen aus den Lorentzkräften auf alle sich im Leiter bewegenden Elektronen.

### Lorentzkraft auf freie Ladungen

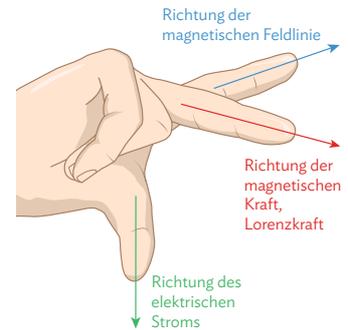
In einem Fadenstrahlrohr (vgl. B4) kann die Wirkung der Lorentzkraft auf freie Ladungen beobachtet werden: In der „Elektronenkanone“ werden Elektronen zunächst aus einem glühenden Draht herausgelöst, nach oben beschleunigt und freigesetzt. Durch Stöße einzelner Elektronen mit dem Gas, das im Fadenstrahlrohr eingeschlossen ist, wird dieses zum Leuchten angeregt und die Bahn der Elektronen im Magnetfeld wird sichtbar.



**B4** | Elektronenbahn im Fadenstrahlrohr.

Die Elektronenbahn kann schrittweise mithilfe der Drei-Finger-Regel erklärt werden (vgl. B5): Am eingezeichneten Punkt oberhalb der „Kanone“ zeigt der Daumen entgegen der Bewegungsrichtung der Elektronen nach unten, der Zeigefinger zeigt in Magnetfeldrichtung nach hinten und die Lorentzkraft (Mittelfinger) verursacht dann eine Geschwindigkeitsänderung nach rechts. Da Bewegungsrichtung und Lorentzkraft bzw. Geschwindigkeitsänderung stets senkrecht aufeinander stehen, bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn, werden dabei aber nicht schneller.

**i** Symbole für Pfeile: bei  $\odot$  zeigt der Pfeil (z. B. Magnetfeld) aus der Zeichenebene heraus, bei  $\otimes$  zeigt er hinein.



**B5** | Drei-Finger-Regel für das Fadenstrahlrohr.

### Arbeitsaufträge

**1** | In einer Plasmakugel werden Elektronen von einem Minuspol im Inneren zu einem Pluspol auf der Glaskugel bewegt und regen dabei Gas durch Stöße zum Leuchten an.

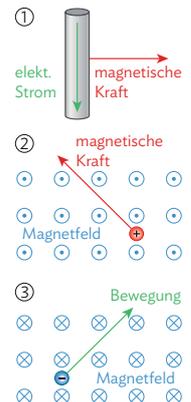


- Erkläre die Beeinflussung der Elektronenbahnen, wenn du die Plasmakugel anfässt.
- Halte einen Permanentmagneten in die Nähe der Plasmakugel. Beschreibe und erkläre deine Beobachtung.

**2** | Erkläre die Elektronenbahn im Fadenstrahlrohr von B4, wenn die Elektronenkanone senkrecht nach unten bzw. in die Zeichenebene hinein zeigt.

**3** | Zeichne die abgebildeten Beispiele in dein Heft und füge das Fehlende hinzu:

- Magnetfeldlinien
- Richtung der Bewegung
- Lorentzkraft



↳ weitere passende Aufgaben:  
S. 49, Nr. 14



## V1 Bau eines Elektromotors

Das Hervorrufen von Bewegungen durch das Zusammenspiel von elektrischen Strömen und magnetischen Feldern wird technisch in Elektromotoren umgesetzt, die in allen Größenordnungen unseren Alltag begleiten. Unabhängig vom Typ bestehen Elektromotoren immer aus einem feststehenden Teil (Stator) und einem rotierenden Teil (Rotor). Wird der Elektromotor mit Gleichspannung betrieben, so ist eine Steuereinheit (Kommutator) nötig. Dokumentiere bei allen folgenden Experimenten zum Elektromotor deine Ergebnisse übersichtlich und nachvollziehbar!

### Elektromotor aus Haushaltsmitteln

Befestige die beiden gebogenen Büroklammern wie dargestellt an einer fixierten 1,5 V-Batterie, du kannst dafür Klebeband verwenden. Wickle einen isolierten Kupferdraht zu etwa zehn Windungen, sodass die entstehende Spule zwischen die beiden Büroklammern passt. Entferne die Isolierung wie abgebildet an beiden Seiten des Kupferdrahtes (an einer Seite nur halb, vgl. Abbildung), sodass der Draht direkten Kontakt mit den Büroklammern haben kann. Bringe abschließend den Scheibenmagneten an der Batterie an.

! Vorsicht beim Umgang mit scharfen Messern beim Entfernen der Isolierung des Kupferdrahtes!

### Elektromotor mit Permanentmagnet

Der Elektromotor besteht aus einem Permanentmagneten als Stator und einem Elektromagneten als Rotor sowie aus einem Kommutator, die wie dargestellt aufgebaut werden. Regle beim Experimentieren die Spannung immer nur langsam hoch und vor dem Ausschalten langsam wieder herunter.

! Beachte die Maximalspannung, um den Elektromotor nicht zu zerstören!

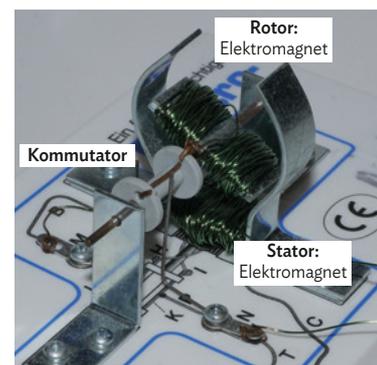
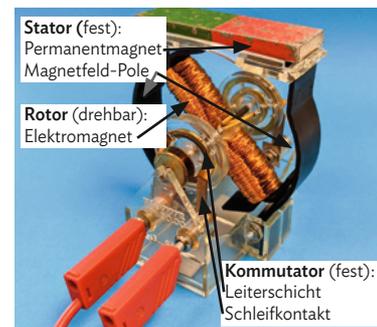
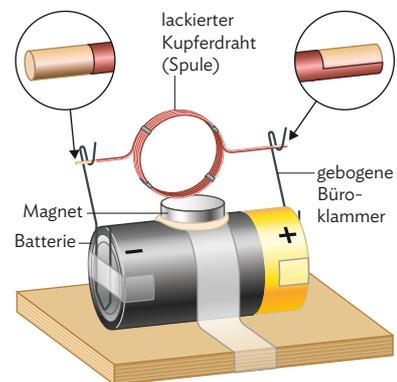
### Elektromotor mit zwei Elektromagneten

Der Elektromotor besteht aus einem Elektromagneten als Stator und einem weiteren Elektromagneten als Rotor sowie aus einem Kommutator. Dieser Motor kann als Bausatz bestellt und anschließend selbst zusammengesetzt werden. Beachte, dass der Motor nur mit einer 4,5 V Batterie betrieben werden darf!

! Verwende niemals Strom direkt aus der Steckdose, denn die Spannung im Haushalt kann tödlich sein!

### Arbeitsauftrag

Wähle einen der drei einfachen Elektromotoren unten aus und baue ihn auf. Achte dabei darauf, dass alle stromführenden Teile guten Kontakt zueinander haben und dass sich der Rotor leicht in seiner Lagerung bewegen lässt.



## V2 Optimierung eines Elektromotors: Anlaufverhalten

Je nach Motortyp und Stellung der Komponenten zueinander kann der Elektromotor sofort anlaufen oder muss angedreht werden. Dieses Anlaufen sollst du nun optimieren.

### Arbeitsauftrag

- Drehe die Rotorspule so, dass Strom durch sie hindurchfließt. Ermittle die Stellungen des Rotors, bei denen der Motor besonders gut von allein anläuft. Erkläre die Ergebnisse mit deinen Kenntnissen über die Kräfte zwischen Magnetpolen.
- Zusatz, falls eine regelbare Stromquelle verwendet wird:* Bringe den Rotor einmal parallel und dann senkrecht zum Magnetfeld des Stators in Startposition. Erhöhe dann, von null ausgehend, jeweils langsam die Spannung, bis die Drehung beginnt und notiere diese Mindestspannung. Regle anschließend die Spannung wieder herunter auf null.

## V3 Optimierung eines Elektromotors: Drehrichtung

Natürlich sollte dein Motor sowohl vorwärts als auch rückwärts laufen können. Die Drehrichtung kann von verschiedenen Anordnungen abhängen. Falls dein Motor mit einem Permanentmagneten betrieben wird, bearbeite a) und b), für einen Elektromagneten bearbeite b) und c).

### Arbeitsauftrag

- Pole das Magnetfeld durch Umdrehen des Permanentmagneten um und vergleiche die Drehrichtung des Rotors mit der aus V2.
- Pole die Stromrichtung durch Umstecken der beiden Anschlusskabel bzw. Umdrehen der Batterie um und vergleiche die Drehrichtung des Rotors mit der aus V2.
- Vergleiche die Drehrichtung deines Motors mit der deines Nachbarn. Bestimmt für beide Motoren die Wicklungsrichtung der Stator- und Rotorspulen. Erkläre so das Drehverhalten.

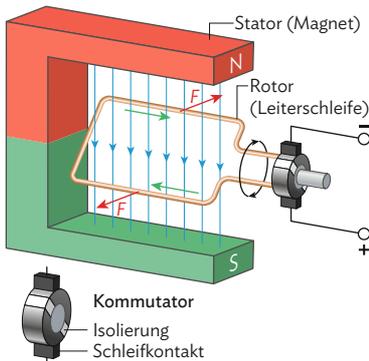
## V4 Exkurs: Optimierung eines Elektromotors: Drehzahl und maximales Drehmoment

Die Anzahl der Umdrehungen in einer bestimmten Zeit, die *Drehzahl*, wird üblicherweise in der Einheit  $\frac{1}{s}$  angegeben. Nur bei sehr langsamem Lauf wirst du sie direkt bestimmen können.

In der Praxis muss der Motor Lasten bewegen können. Ein gutes Maß dafür ist die Drehwirkung (*Drehmoment*  $M$ ) der Kraft  $F$ , die benötigt wird, um den Motor am Drehen zu hindern. Das Drehmoment  $M$  berechnet sich über  $M = F \cdot r$ . Dabei ist  $r$  der sogenannte Hebelarm, also der Abstand des Angriffspunktes der Kraft zur Drehachse.

### Arbeitsauftrag

- Filme den Motor mit einer Kamera, die einen „Slow-Motion-Modus“ besitzt, und bestimme die Drehzahl. Beachte dabei den Zeitlupenfaktor, den du über die Bildrate ermitteln kannst.
- Bringe auf der Drehachse eine festsitzende Rolle (Radius  $r$ ) an. Befestige an der Außenseite eine Schnur, die mit einem Kraftmesser verbunden ist, und miss die Kraft  $F$ , bei der sich der Motor gerade nicht mehr dreht. Berechne das Drehmoment und vergleiche in der Klasse.



**B1** Funktionsweise eines Elektromotors.

**i** Beachte die bekannten Symbole, die hier die Stromrichtung kennzeichnen für Pfeile:  $\odot$  aus der Zeichenebene heraus,  $\otimes$  in die Zeichenebene hinein.

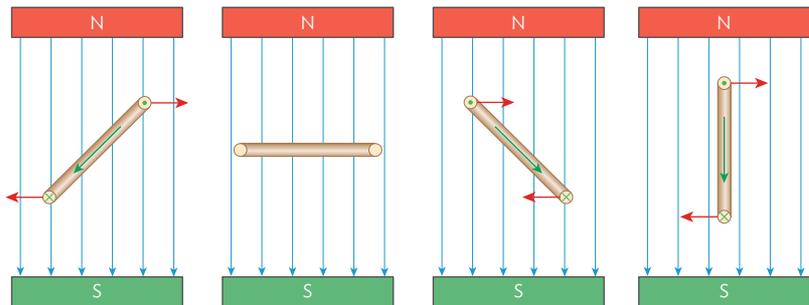
**i** Über den Mediencode gelangst du zu einer Simulation, die die Rotation der Leiterschleife veranschaulicht.



MC 67050-04

### Bestandteile und Funktionsweise eines Elektromotors

Ein Elektromotor besteht aus einem festen Teil, dem Stator, und einem drehbaren Teil, dem Rotor. Der Stator erzeugt ein Magnetfeld, entweder durch einen Permanentmagneten oder durch eine stromdurchflossene Spule (Elektromagnet). Auf den stromdurchflossenen Leiter des Rotors wirkt daher ein magnetisches Kräftepaar, das gemäß der Drei-Finger-Regel die Leiterschleife in B1 im Uhrzeigersinn dreht. Sobald die Leiterschleife bei der Rotation die waagrechte Position durchlaufen hat, muss der Strom umgepolt werden, damit das Kräftepaar die Leiterschleife weiterdrehen kann. Ein Bauteil, das das bewirkt, wird Kommutator genannt.



**B2** Funktionsweise eines Kommutators. Die Leiterschleife wird hier aus Richtung der Drehachse betrachtet. Im dritten Bild wird die Stromrichtung umgepolt.

Bevor der Rotor in B2 die waagrechte Position erreicht, schaltet der Kommutator den Strom aus und es wirkt keine magnetische Kraft mehr auf die Leiterschleife. Die rotierende Leiterschleife dreht sich aufgrund ihrer Trägheit allerdings weiter. Nach Überschreiten der waagrechten Position schaltet der Kommutator den Strom umgepolt wieder an, das magnetische Kräftepaar treibt den Rotor in der gleichen Drehrichtung weiter an.

Ein Gleichstrom-Elektromotor besteht in der Regel aus einem festen Stator (Erzeugung eines Magnetfeldes), einem drehbaren Rotor (stromdurchflossener Leiter) sowie aus einem Kommutator (Umpolung der Stromrichtung).

### Drehrichtung und Drehgeschwindigkeit

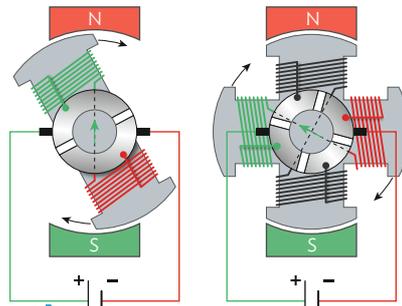
Beim Umdrehen der Stromrichtung oder der Magnetfeldrichtung kehrt sich die Richtung der magnetischen Kräfte und damit die Drehrichtung des Elektromotors um.

Durch die Verwendung eines stärkeren Permanentmagneten oder einer höheren Stromstärke durch den Elektromagneten wird die magnetische Kraft verstärkt und damit die Drehgeschwindigkeit des Rotors erhöht.

Die Richtungen des elektrischen Stroms und des magnetischen Felds bestimmen die Drehrichtung des Rotors. Ihre Stärken beeinflussen die Drehgeschwindigkeit.

### Bauform des Ankers

Um das Magnetfeld des Stators zu verstärken, wird der Rotor als Elektromagnet mit Eisenkern gebaut („Anker“, vgl. B3 links). Aufgrund seiner großen Trägheit kann die Stelle der Stromumpolung durch den Kommutator so besser überwunden werden als durch eine einzelne Leiterschleife. Dadurch verbessern sich die Laufeigenschaften des Elektromotors.



**B3** links: Rotor als Elektromagnet in Form eines Ankers.  
rechts: vierpoliger Anker.

**i** In der Praxis werden mehrpolige Anker verwendet. An der Stelle der Stromumpolung des einen Elektromagneten trägt der andere bestmöglich zum Antrieb der Drehung bei (vgl. B3 rechts).

### Methode

#### Funktionsweise technischer Geräte erklären und Argumentationsketten formulieren

Beim Erklären geht es darum, einen Sachverhalt so zu beschreiben, dass ihn eine andere Person verstehen kann. Wenn nichts anderes genannt ist, kannst du bei dieser Person an jemanden aus deiner Klasse denken – er oder sie hat also etwa deinen Kenntnisstand. Bei deinem Text solltest du auf folgende Dinge achten:

- Ziel der Erklärung angeben. „Dieser Text beschreibt die Funktionsweise eines Elektromotors.“
- Bestandteile des technischen Geräts nennen. „Ein Elektromotor besteht aus einem festen Stator, einem drehbaren Rotor sowie aus einem Kommutator.“
- Die wichtigsten Fachbegriffe verwenden und in einfachen, präzisen Sätzen formulieren.
- In einzelne Abschnitte gliedern; orientiere dich dabei an der zeitlichen Reihenfolge.
- Oft hilft eine Folge von Abbildungen, die genau diese Abschnitte darstellen (vgl. B2).
- Die einzelnen Abschnitte verbindest du in einer **Argumentationskette**. Sie besteht aus mehreren Aussagen, die jeweils durch eine Begründung miteinander verbunden sind.

**Aussage:** „Der Stator erzeugt ein Magnetfeld.“

**Begründung:** „Weil zwei Leiterstücke des Rotors senkrecht zum Magnetfeld verlaufen,“

**Aussage:** „wirken auf den stromdurchflossenen Leiter des Rotors magnetische Kräfte.“

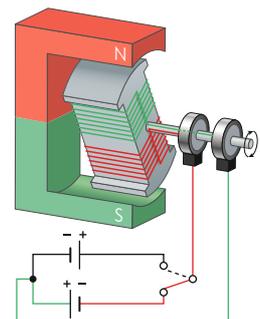
**Begründung:** „Weil die magnetischen Kräfte nach außen wirken (Drei-Finger-Regel),“

**Aussage:** „drehen sie die Leiterschleife im Uhrzeigersinn.“

### Arbeitsaufträge

- 1 | Führe die Argumentationskette aus der Methode fort. Schreibe dazu den Text des ersten Abschnitts von S. 26 nach dem angegebenen Muster um.
- 2 | Eine Argumentationskette lässt sich auch mit der Struktur „Wenn – dann – weil“ formulieren:  
„Wenn der Stator ein Magnetfeld erzeugt,“  
„dann wirken auf den stromdurchflossenen Leiter des Rotors magnetische Kräfte“  
„weil zwei Leiterstücke des Rotors senkrecht zum Magnetfeld verlaufen.“  
Schreibe deinen Text aus Nr. 1 in dieser Form um.

- 3 | a) Erkläre die Drehung des Elektromagneten bei der abgebildeten Schalterstellung und gib die Stellung an, bei der der Elektromagnet zur Ruhe kommt.  
b) Erkläre die Abläufe, um den Elektromagneten in dauerhafte Drehung zu versetzen.



↳ weitere passende Aufgaben:  
S. 46, Nr. 4



# 3 Induktion

## Versuche und Materialien zu Kapitel 3.1

### ► M1 Einstieg: Kabelloses Laden

Es gibt eine Reihe von mobilen Endgeräten, die sich kabellos laden lassen. Dabei wird über sich schnell ändernde magnetische Felder Energie übertragen. Der bekannteste technische Standard ist „Qi“ (ausgesprochen [ˈtʃiː], chinesisch für „Lebensenergie“). Das Laden funktioniert allerdings nur über sehr kurze Distanzen.



### Arbeitsauftrag

- Recherchiere technische Details zum kabellosen Laden.
- Sammele Vor- und Nachteile der kabellosen Ladungstechnologie. Überlege dir sinnvoll erscheinende Einsatzmöglichkeiten.
- Überschlage die Ladedauer eines Fahrradakkus von 625 Wh Ladekapazität, wenn man ihn mit einem Qi-Ladegerät von 10 W Ladeleistung laden wollte.

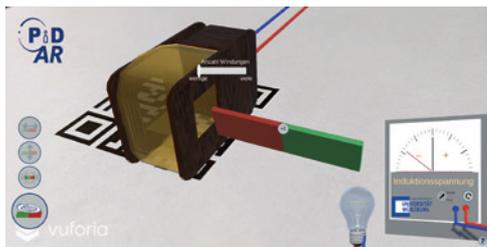
## Versuche und Materialien zu Kapitel 3.2

### ► M2 Lernaufgabe: Induktion in Augmented Reality

In dieser AR-App lässt sich das Phänomen der Induktion mithilfe deines Smartphones veranschaulichen. Der Magnet kann bewegt werden, was in der Spule zu einer Spannung führt. Das Leuchten der Lampe und das Voltmeter verdeutlichen die Wirkung der Spannung und ihre Stärke.

Über den Mediacode kommst du zum Download-Link der App sowie einer kurzen Anleitung:

**MC** P67050-09



### Arbeitsauftrag

- Halte deine Kamera nach dem Start der App vor den QR-Code. Bewege den Magneten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in die Spule. Die Auswirkung davon kannst du an der Lampe und dem Voltmeter sehen.
- Finde heraus, wie sich – mit den Möglichkeiten der Simulation – eine möglichst große Spannung erzielen lässt. Lass dir dazu auch das Magnetfeld anzeigen. Fasse deine Ergebnisse kurz zusammen.

## Versuche und Materialien zu Kapitel 3.3

### ► M3 Einstieg: Magnetische Schwebespielzeuge

Das auf dem Bild dargestellte Magnetspielzeug besteht aus zwei kurzen dickwandigen Aluminiumzylindern und einer sehr starken Magnetkugel. Lässt man die Kugel von oben in einen Zylinder fallen, schwebt sie – ohne die Innenwand zu berühren – langsam hindurch, statt frei zu fallen. Dadurch hat man genügend Zeit, den zweiten Zylinder unterhalb des ersten zu positionieren, sodass die Kugel dort hineinfällt und wiederum hindurchschwebt. Mit Kreativität und Geschicklichkeit lassen sich viele Variationen der Bewegungen von Kugel und Zylindern erzielen.



#### Arbeitsauftrag

- Einen vereinfachten Aufbau kannst du mit einer Kupferröhre und einem kleinen Neodym-  
 ✓ magneten realisieren. Versuche durch regelmäßiges Umdrehen den Magneten in der Röhre zu halten.
- Eine Variation des Geräts besteht darin, Kupfer- statt Aluminiumzylinder zu verwenden. Finde den Grund dafür, dass das Spiel dadurch deutlich weniger Geschicklichkeit erfordert.
- In Kap. 3.3 wird gezeigt, dass die Bewegung eines Magneten bremsende Kräfte verursachen kann. Erkläre, nachdem ihr das Kapitel im Unterricht besprochen habt, dass der Fall der Magnetkugel in dem Zylinder so stark verlangsamt wird.

### ► M4 Lernaufgabe: Exkurs - Physik des Schwebens

Ein Magnet kann frei schweben, wenn man ihn auf ein mit flüssigem Stickstoff gekühltes Metallstück legt. Im Metall entsteht dadurch ein ringförmiger Strom, ein sogenannter Wirbelstrom, dessen Magnetfeld dem des Magneten entgegengerichtet ist. Das Besondere ist, dass der Wirbelstrom im Metall nicht zum Erliegen kommt. Durch den flüssigen Stickstoff wird nämlich die Temperatur so niedrig gehalten, dass das Metall supraleitend ist, also praktisch keinen elektrischen Widerstand mehr besitzt. So bleiben der Wirbelstrom und sein Magnetfeld dauerhaft erhalten – der Schwebezustand hält an.



#### Arbeitsauftrag

- Suche im Internet nach Informationen zur „Supraleitung“ und trage die Informationen zu einer Mindmap zusammen.
- Recherchiere die Bereiche der Technik und Forschung, in denen supraleitende Materialien verwendet werden.
- Auch ohne Supraleitung kannst du dieses  
 ✓ Grundprinzip des Schwebens ausprobieren: Lege ein Stück glatte Alufolie auf einen Induktionsherd und schalte den Herd an. Der Herd erzeugt durch ein sich änderndes Magnetfeld in der Alufolie einen Wirbelstrom, dessen Magnetfeld die Alufolie etwas abheben lässt. Achtung: Das Experiment funktioniert ausschließlich bei Induktionsherden!

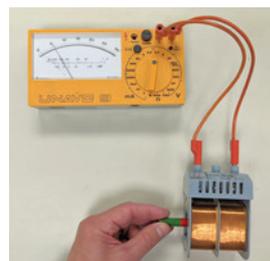


### V1 Abhängigkeit der Induktionsspannung

Michael Faraday entdeckte bereits im Jahr 1831, dass zwischen den Enden einer Spule eine Spannung erzeugt wird, wenn man einen Magneten relativ zur Spule bewegt oder dreht. Dieses Phänomen nannte er „Induktion“. Er stellte fest, dass die Induktionsspannung von verschiedenen Einflussgrößen abhängt.

In diesem Schülerexperiment sollst du untersuchen, von welchen Einflussgrößen („Parametern“) die Induktionsspannung abhängt und wie sich diese Abhängigkeiten beschreiben lassen. Elektrische Spannungen hast du in den letzten Jahren schon häufiger gemessen. Je nach Anwendung kann es sinnvoll sein, sich im Vorfeld darüber Gedanken zu machen, welches Messgerät du dafür verwenden möchtest. Grundsätzlich stehen drei Arten von Messgeräten zur Verfügung:

**1. Analoges Zeigermultimeter:** Diese etwas altmodisch wirkende Art erfordert zwar etwas Übung beim Ablesen, aber bei veränderlichen Spannungen kann die Bewegung des Zeigers leicht mit den Augen verfolgt werden. Der Zeiger reagiert ausreichend schnell auf Spannungsänderungen, für dieses Experiment wäre zudem ein Gerät mit Nullstellung in der Mitte hilfreich.



**2. Digitales Displaymultimeter:** Diese Art von Multimeter hast du sicherlich schon verwendet. Die Spannungswerte lassen sich hier besonders einfach ablesen, allerdings kannst du bei schnellen Spannungsänderungen nicht so gut erkennen, welcher Messwert der maximale oder der richtige war. Die Spannung sollte sich also für die Verwendung nicht zu schnell ändern.



**3. Elektronische Messwerterfassungssysteme:** Hier wird ein aktiver Messverstärker verwendet, um Spannungen zu messen. Sie sind komplizierter und teurer, aber mit ihnen lässt sich nicht nur der momentane Wert der Spannung bestimmen, sondern der gesamte Spannungsverlauf in einem vorgegebenen Zeitraum. Einzelwerte lassen sich auch nachträglich und in Ruhe ablesen; alle Daten können gespeichert und mit weiteren Programmen genauer bearbeitet werden.



### Methode

#### Messung von kleinen Spannungen

Bei den Experimenten, die du durchführst, treten meist sehr kleine Spannungen auf, die sich sehr schnell ändern. Die gezielte Wahl der Messmethode und der Messgeräte ist daher sehr wichtig:

- Zunächst muss immer ein kleiner Messbereich gewählt werden, um eine hohe Messempfindlichkeit zu erhalten.
- Da sich kleine Stromstärken oft leichter messen lassen als kleine Spannungen, kann man auch die Kurzschlussstromstärke messen, die durch die Spannung in einem Amperemeter bewirkt wird. Sie ist wegen des konstanten Innenwiderstands des Amperemeters proportional zur Spannung.
- Bei vielen Experimenten ist auch nicht der absolute Spannungswert entscheidend, sondern nur ein Vergleich der Spannungen bei verschiedenen Werten einer Einflussgröße.

## Arbeitsauftrag

- a) Finde zunächst durch kreatives Ausprobieren heraus, wie sich die Höhe der Induktionsspannung beeinflussen lässt, und benenne diese Parameter. Wenn du nicht weiter kommst, kannst du dir über die Medien-codes Anregungen holen. Diese bieten dir fünf aufeinander aufbauende Hilfestellungen, die du nach Bedarf nutzen kannst.



MC 67050-06



MC 67050-07



MC 67050-08



MC 67050-09



MC 67050-10

- b) Nachdem du deine Vorüberlegungen abgeschlossen und erste Vermutungen aufgestellt hast, solltest du deine Vermutungen nun als geeignete Je-Desto-Hypothese formulieren. Notiere dir für jede von dir vermutete Abhängigkeit vom jeweiligen Parameter eine Hypothese der Art: „Je ..., desto höher ist die Induktionsspannung.“ Näheres dazu findest du in den dir schon bekannten **Methoden** auf S. 220 und 222.
- c) Plane einzelne Experimente, mit denen sich die von dir aufgestellten Je-Desto-Hypothesen überprüfen lassen. Wichtig ist dabei, dass du die Auswirkungen verschiedener Parameter nicht vermischst, sondern sie getrennt voneinander untersuchst. Nur so kannst du sicherstellen, dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen und dadurch deine Messergebnisse verfälschen. Verändere deswegen immer nur einen Parameter, während du die anderen unverändert lässt. Nutze zur Messung der Induktionsspannung die **Methode** und die Erläuterungen auf S. 30.
- d) Erstelle ein strukturiertes Versuchsprotokoll („ZABMA“, vgl. **Methode** auf S. 219), einschließlich geeigneter Skizzen, und führe die Experimente durch.
- e) Überprüfe deine Hypothesen und fasse deine Ergebnisse in Je-Desto-Aussagen der Art zusammen: „Je ..., desto höher ist die erzeugte Induktionsspannung.“

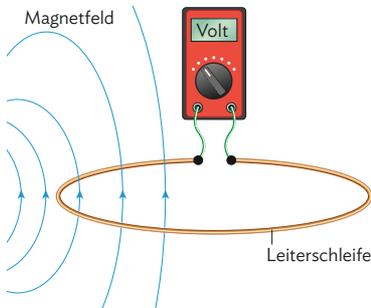
Wenn du dich noch ein wenig intensiver mit dem Thema beschäftigen willst, kannst du auch noch die folgenden beiden Arbeitsaufträge bearbeiten.

- f) Auf Seite 28 wurde in M2 eine Augmented-Reality-App vorgestellt. Nutze die dortige Anleitung, um deine experimentellen Ergebnisse auf digitalem Weg zu überprüfen. Den QR-Code, der dafür benötigt wird, findest du auch nochmal hier.
- g) Führe nun einen Stahlkern in die Spule ein. Erzeuge wieder eine Induktionsspannung und beobachte die Auswirkung des Stahlkerns. Überprüfe auch, ob deine bisherigen Hypothesen weiterhin Gültigkeit besitzen. Teste dann andere Materialien als Spulenkern und fasse deine Beobachtungen übersichtlich zusammen.



**!** Achte beim Verwenden starker Magnete (z. B. Neodymmagnete) darauf, dass sie nicht fallen oder auf andere magnetisierbare Gegenstände schlagen! Durch ihre Sprödigkeit könnten Teile absplitteln! Generell solltest du solche Magnete von Smartphones oder Uhren fernhalten, um diese nicht zu beschädigen!

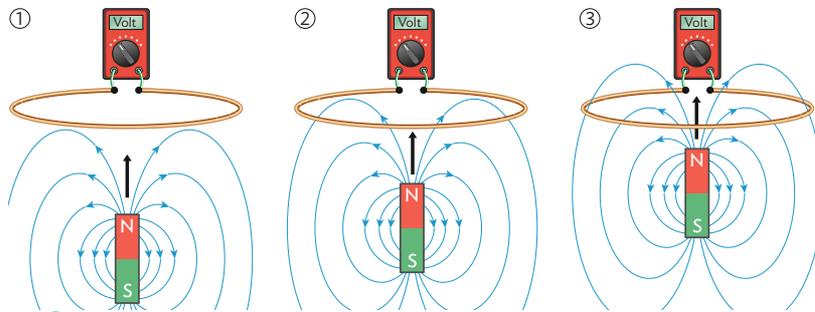
## 3.2 Erzeugen von Induktionsspannungen



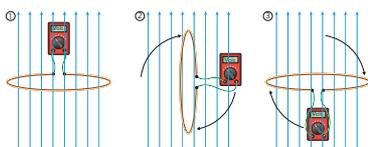
**B1** Modell für die Induktion: Magnetfeldlinien durchsetzen eine Leiterschleife.

### Induktionsspannung

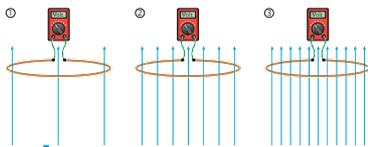
Um zu verstehen, welches physikalische Gesetz der Induktion zugrunde liegt, veranschaulichen wir das Magnetfeld wieder modellhaft mit Feldlinien und betrachten eine einzelne Windung einer Spule, eine sogenannte Leiterschleife (vgl. B1). Wir können feststellen, dass Induktionsspannung zwischen den Enden einer Spule immer dann erzeugt wird, wenn die Spule und der Stabmagnet in bestimmter Weise relativ zueinander bewegt werden. Im Feldlinienmodell ändert sich dadurch die Anzahl der Feldlinien, die die Leiterschleife durchsetzt (vgl. B2). Dabei ist es gleichgültig, ob das Magnetfeld, die Leiterschleife oder gar beide bewegt werden: In allen Fällen ändert sich das Magnetfeld in der Leiterschleife und es wird zwischen ihren Enden eine Spannung induziert.



**B2** Das Magnetfeld eines Stabmagneten taucht von unten in eine Leiterschleife ein. Die Anzahl der Feldlinien, die die Schleife durchsetzen, ändert sich dadurch.



**B3** Eine Leiterschleife dreht sich im Magnetfeld.



**B4** In dieser Leiterschleife wird das Magnetfeld stärker. Die Zahl der Feldlinien wächst.

Auch eine Drehbewegung kann zu einer Induktionsspannung führen. Wenn die Drehung die Zahl der Feldlinien, die die Leiterschleife durchsetzen, ändert, führt diese Drehung zu einer Induktionsspannung. In B3 dreht sich die Leiterschleife um eine Achse, die senkrecht zu den Feldlinien steht. Dabei wird zwischen den Enden der Leiterschleife eine Spannung induziert.

Es ist sogar möglich, eine Spannung zu induzieren, *ohne* dass sich etwas bewegt: Verändert man lediglich die Stärke des Magnetfelds, wird zwischen den Enden einer umschließenden Leiterschleife ebenfalls eine Spannung induziert (vgl. B4). Warum? Bei der Erklärung hilft wieder das Feldlinienmodell. Ein stärkeres Magnetfeld heißt, dass die Dichte der Feldlinien höher ist. Das wiederum bedeutet, dass sich die Anzahl der Feldlinien ändert und sich deshalb zwischen den Enden der Leiterschleife eine Induktionsspannung messen lässt.

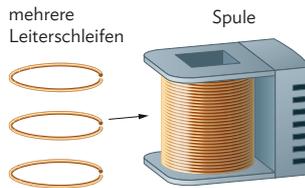
Wenn sich das Magnetfeld, das eine Leiterschleife durchsetzt, ändert, entsteht zwischen den Enden der Leiterschleife eine Induktionsspannung. Sie ist umso größer, je schneller sich das Magnetfeld ändert. Im Feldlinienmodell entsteht eine Induktionsspannung zwischen den Enden einer Leiterschleife genau dann, wenn sich die Anzahl der Feldlinien, die die Leiterschleife durchsetzen, ändert.

**i** Magnetfeldlinien sind nur ein Modell. Es hilft dabei, sich ein Magnetfeld besser vorstellen und es leichter visualisieren zu können (vgl. Kap. 1).

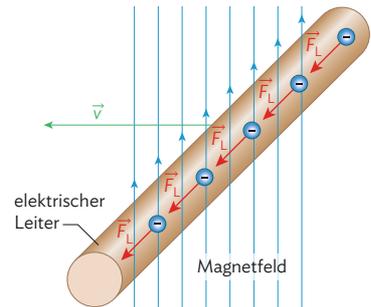
### Spezialfälle: Gerader Leiter und Spule

Für den Spezialfall, dass ein gerades Leiterstück senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfelds bewegt wird, kann man auch die Lorentzkraft als Erklärung für die Induktionsspannung heranziehen: Mit dem Leiter werden nämlich auch sämtliche freien Elektronen, die sich im Leiter befinden, bewegt. Bewegte Elektronen erfahren in einem Magnetfeld jedoch eine Kraft, die senkrecht zu den Feldlinien und der Bewegungsrichtung ist. Die Kraft bewirkt nach der „Drei-Finger-Regel“ eine Ladungstrennung längs des Leiters (vgl. B5), die als Induktionsspannung messbar ist.

Wenn wir viele Leiterschleifen zu Windungen einer einzigen Spule miteinander verbinden (vgl. B6), wird klar, warum viele Windungen eine hohe Induktionsspannung begünstigen: Der Effekt der Induktion wird verstärkt, weil viel mehr freie Elektronen daran beteiligt sind.



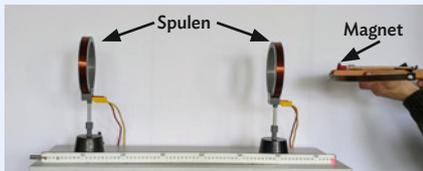
**B6** Die Kombination von Leiterschleifen ergibt eine Spule.



**B5** Ein gerader Leiter bewegt sich quer durch Magnetfeldlinien.

### Musteraufgabe

Bei diesem Experiment soll die Geschwindigkeit eines Armbrustpfeils gemessen werden, an dem ein kleiner Magnet befestigt ist. Der Pfeil wird durch die Öffnung zweier Spulen geschossen. Erkläre, wie diese Messung funktioniert und welche Größen dafür bestimmt werden müssen.

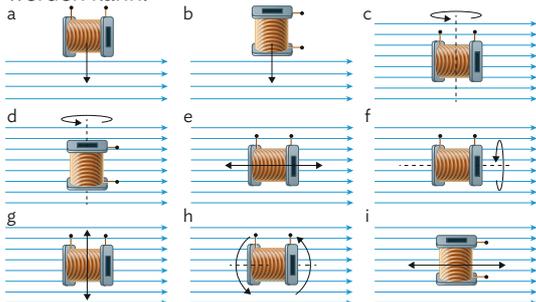


### Lösung

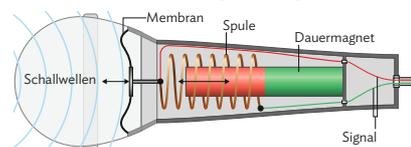
Taucht der Pfeil mit dem Magneten in die erste Spule ein, ändert sich im Inneren der Spule die Stärke des Magnetfelds und in der Spule wird eine Spannung induziert. Das Gleiche passiert in der zweiten Spule, wenn der Pfeil hindurchfliegt. Wenn nun die Zeit gemessen wird, die zwischen dem Auftreten der beiden Spannungsanstiege in den Spulen vergeht, kann mit dem Abstand der beiden Spulen voneinander die Geschwindigkeit des Pfeils bestimmt werden.

### Arbeitsaufträge

**1** Entscheide und begründe, bei welchen der Bewegungen einer Spule im Magnetfeld eine Spannung induziert wird, die an den Anschlüssen abgegriffen werden kann.



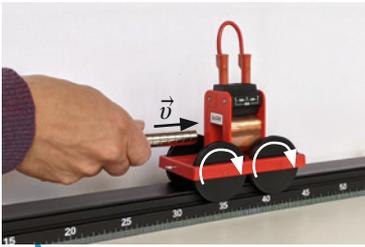
**2** a) Schallwellen sind periodische Luftdruckschwankungen. Ein Mikrofon wandelt Schallwellen in elektrische Spannungssignale um. Eine bewegliche Membran ist dabei mit einer ebenfalls beweglichen Spule verbunden. Erkläre anhand der Abbildung, wie der Schall zwischen den Enden der Spule eine Spannung erzeugt.



b) Erläutere, dass ein Mikrofon im Prinzip auch als Lautsprecher verwendet werden könnte.

weitere passende Aufgaben:  
S. 46, Nr. 6

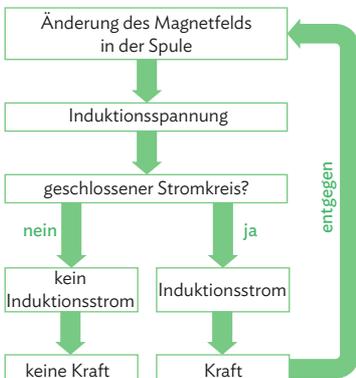
### 3.3 Grundlegende Induktionsphänomene



**B1** Der Magnet taucht in die Spule ein. Der Wagen rollt von ihm weg.



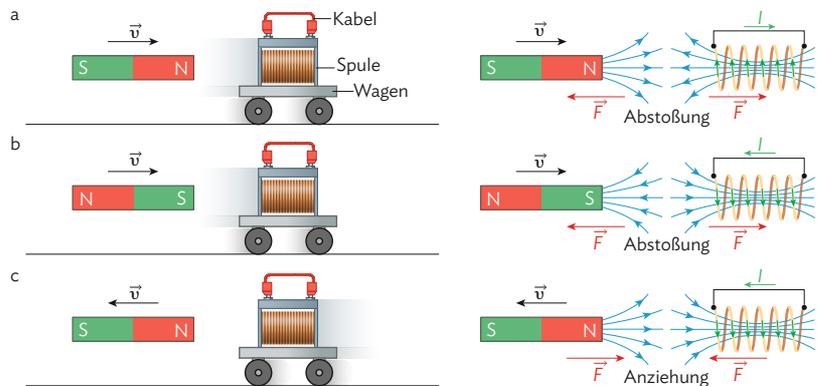
**B3** Analogie: Bewegt man den Honiglöffel, spürt man einen Widerstand entgegen der Bewegungsrichtung. Im ruhenden Fall gibt es keine Kraft



**B4** Wenn der Stromkreis geschlossen ist, wirkt der Induktionsstrom seiner Ursache entgegen.

#### Energieerhaltung bei der Induktion

Im abgebildeten Experiment (vgl. B1) liegt eine Spule mit vielen Windungen und verbundenen Enden auf einem leichtgängigen Wagen. Bewegt man einen starken Stabmagneten auf die Spule zu, beginnt der Wagen wegzurollen: Er weicht dem sich nähernden Magneten aus. Die abstoßende Kraft ist umso größer, je schneller man den Magneten auf die Spule zu bewegt, und sie ist unabhängig davon, welcher Pol in Richtung Spule zeigt (vgl. B2a+b). Wenn der Magnet jedoch im Innern der Spule ruht und man ihn rasch herauszieht, folgt der Wagen der Bewegung des Magneten. Hier muss es eine anziehende Kraft geben, die die Spule hinter dem Magneten her zieht (vgl. B2c).



**B2** Verhalten des Wagens bei Bewegung des Stabmagneten.

Die Abstoßung zwischen Magnet und Wagen lässt sich mit folgender Kausalkette erklären:

1. Wenn man den Stabmagneten auf die Spule zu bewegt, entsteht zwischen den Enden der Spule eine Induktionsspannung.
2. Dadurch, dass das Kabel den Stromkreis schließt, bewirkt die Induktionsspannung einen Induktionsstrom.
3. Dieser Strom baut ein Magnetfeld auf, welches dem Magnetfeld des Stabmagneten entgegengerichtet ist.
4. So entsteht eine abstoßende Kraft, die den Wagen zurückweichen lässt.

Zieht man den Stabmagneten aus der Spule heraus, bewirkt die Induktionsspannung einen Induktionsstrom, dessen Magnetfeld gleichgerichtet zu dem des Stabmagneten ist. So entsteht eine anziehende Kraft, die den Wagen hinter dem Magneten her rollen lässt.

Der Induktionsstrom scheint immer die Bewegung, durch die er hervorgerufen wird, zu hemmen. Die Wirkung (Strom) bekämpft sozusagen ihre eigene Ursache (Änderung des Magnetfelds durch Bewegung). Der Grund für dieses Verhalten ist die Energieerhaltung: Der Induktionsstrom und das Magnetfeld, das ihn umgibt, beziehen ihre Energie aus der mechanischen Bewegung, welche dadurch gehemmt wird.

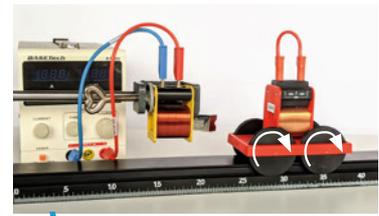
### Antrieb durch Magnetfelder

Die Energieerhaltung lässt sich auch in einem leicht veränderten Experiment demonstrieren, bei dem der zunächst ruhende Wagen ebenfalls beschleunigt wird (vgl. B5). Dies lässt sich schrittweise mit folgender Kausalkette (vgl. B6) erklären:

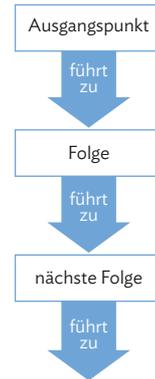
1. Fließt Strom in der linken Spule, wird dort ein Magnetfeld aufgebaut, das durch den Eisenkern noch verstärkt wird.
2. Diese Magnetfeldänderung führt in der rechten Spule auf dem Wagen zu einer Induktionsspannung.
3. Die Spannung wiederum führt zu einem Induktionsstrom, der so gerichtet ist, dass er seiner Ursache entgegenwirkt – also dem sich aufbauenden Magnetfeld des Elektromagneten.
4. So sind die beiden Magnetfelder entgegengerichtet und der Wagen wird abgestoßen.

Die kinetische Energie des Wagens entstammt der elektrischen Energie der feststehenden, stromdurchflossenen Spule. Aus Gründen der Energieerhaltung kann man also sagen, dass der Induktionsstrom mithilfe seines eigenen Magnetfelds immer versucht, die Änderung des äußeren Magnetfelds, der er ja seine Entstehung verdankt, zu verhindern.

Aus der Energieerhaltung folgt: Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er seine Ursache hemmt.



**B5** Der Elektromagnet wird eingeschaltet. Der Wagen rollt von ihm weg.

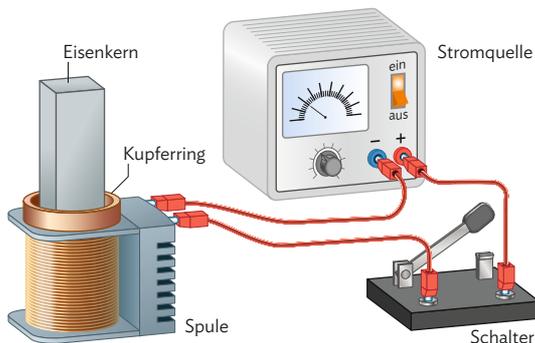


**B6** Struktur einer Kausalkette.

**i** Historisch nennt man diese Beobachtung die „Regel von Lenz“ (benannt nach EMIL LENZ, 1804-1865).

### Arbeitsaufträge

- 1** Ein Kupfering ruht, wie abgebildet, auf einer Spule mit Eisenkern. Sobald der Schalter umgelegt wird, fließt ein starker Strom durch die Spule.

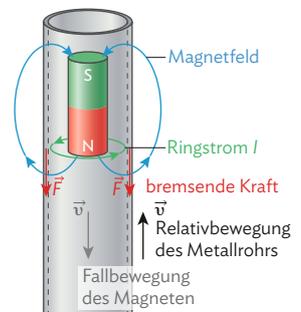


- a) Erkläre mit einer Kausalkette (vgl. B6), dass der Ring dabei nach oben katapultiert wird. Gehe auch auf das Prinzip der Energieerhaltung ein.
  - b) Überlege dir Verbesserungen, um den Ring besonders hoch fliegen zu lassen.
- 2** Zwei Metallringe befinden sich an den Enden eines drehbar gelagerten Arms. Der linke Ring ist geschlossen, der rechte ist unterbrochen. Taucht man

einen Stabmagneten in den linken Ring, dreht sich der Arm vom Magneten weg. Taucht man ihn rechts ein, passiert nichts. Erkläre mit einer Kausalkette (vgl. B6).

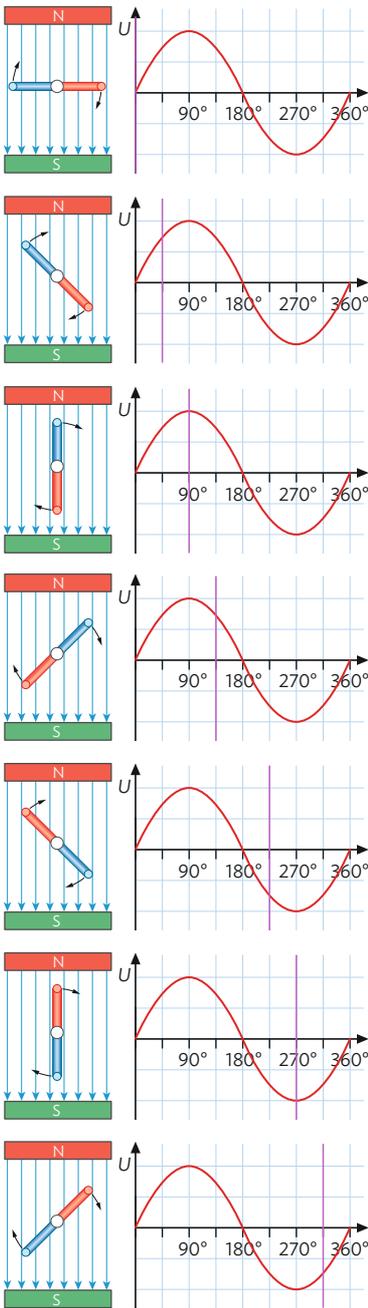


- 3** a) Die Skizze zeigt einen Neodymmagneten in einem Fallrohr (vgl. Kap. 3, M3a). Erkläre den verlangsamten Fall mithilfe einer Kausalkette (vgl. B6).



- b) In einem abgewandelten Experiment verwendet man ein Metallrohr, das der Länge nach aufgesägt wurde (siehe Querschnittsabbildung). Erkläre mit einer Kausalkette den ungebremsten Fall des Magneten.



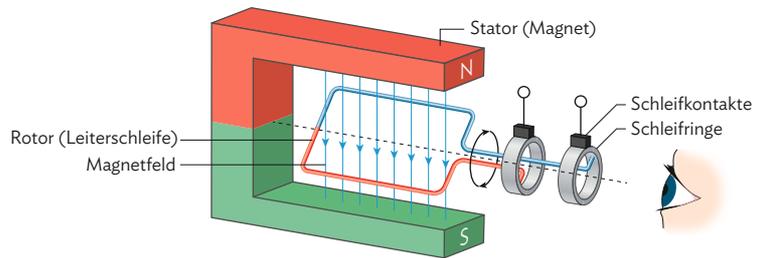


**B2** Der Drehwinkel der Spule (beginnend bei 0° in liegender Position) ändert sich kontinuierlich. Dadurch wird eine sinusförmige Wechselspannung induziert.

## Funktionsweise eines Generators

Neue physikalische Erkenntnisse führen immer zu neuen technischen Errungenschaften. Nach der Entdeckung der Induktion durch Michael Faraday 1831 wurden Generatoren entwickelt, die durch kontinuierliche Drehbewegungen elektrische Spannung erzeugen können. Sie bilden bis heute die Grundlage der Elektrizitätsversorgung.

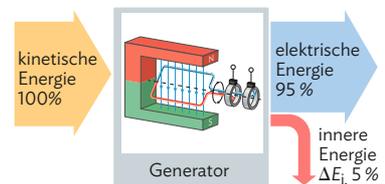
Ein Generator einfachster Art besteht aus einem starren Magnetfeld (Stator) und einer drehbar gelagerten Spule (Rotor). Wenn man die Spule dreht, ändert sich die Anzahl der magnetischen Feldlinien in der Spule, so dass zwischen ihren Enden eine Spannung induziert wird (vgl. B1), die über Schleifkontakte abgegriffen wird.



**B1** Durch die Drehung der Spule ändert sich die Anzahl der Feldlinien, die die Spule durchsetzen. In B2 ist die so erzeugte Induktionsspannung in Abhängigkeit vom Drehwinkel dargestellt. Die Spulenposition ist dort aus der Perspektive des hier eingezeichneten Beobachters gezeichnet.

## Generator als Energiewandler

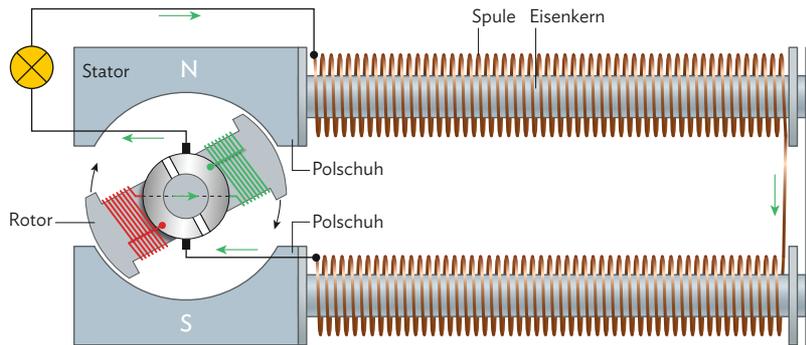
Du hast schon den Elektromotor als Energiewandler kennengelernt (vgl. Kap. 2.4). Er wandelt elektrische Energie in kinetische Energie um. Das Ziel ist, dass sich etwas bewegt. Der Generator besitzt genau die umgekehrte Funktion. Hier ist das Ziel die elektrische Energie. Wind, fließendes Wasser oder strömender Wasserdampf besitzen kinetische Energie und setzen Turbinen in Bewegung. Diese geben die Energie in Form von Rotationsenergie an den Generator weiter, der sie in elektrische Energie umwandelt. Ein Teil davon wird jedoch in innere Energie umgewandelt. Der Wirkungsgrad, den du bereits in Klasse 9 kennengelernt hast, gibt an, wie effizient die Energieumwandlung ist (vgl. B3).



**B3** Energieflussdiagramm eines Generators.

## Selbstverstärkendes Magnetfeld

Generatoren mit einem Permanentmagneten können keine hohen Leistungen bereitstellen, weil die Magnete nicht beliebig stark hergestellt werden können. Werner von Siemens kam 1866 auf die Idee, stattdessen Elektromagnete zu verwenden, die mit einem Teil des Stroms betrieben werden, den der Generator selbst erzeugt (vgl. B4).



**B4** | Dynamoelektrisches Prinzip.

Die Funktion lässt sich mit folgender Kausalkette erklären:

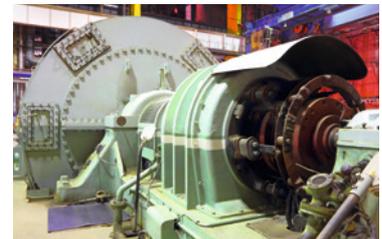
1. Eine bewegliche Spule ist auf einem Eisenkern aufgewickelt („Doppel-T-Anker“) und rotiert zwischen zwei anfänglich nur schwach magnetisierten Polschuhen (vgl. B4).
2. Dabei entsteht Induktionsspannung, die am Kommutator abgegriffen wird. Aus der Wechselspannung wird dadurch eine Gleichspannung.
3. Es fließt nun Gleichstrom durch den Elektromagneten, weil der Stromkreis geschlossen ist. Dadurch werden die Polschuhe stärker magnetisiert und das Magnetfeld zwischen den Polschuhen wird stärker.
4. Die Induktionsspannung erhöht sich. Das führt zu einer höheren Stromstärke im Elektromagneten, bis eine Sättigungsgrenze erreicht ist und der Generator in vollem Betrieb arbeitet.

Siemens nannte diese Rückkopplung „dynamoelektrisches Prinzip“. Dieses Prinzip ermöglichte die Elektrifizierung der Welt im 19. Jahrhundert und führte zur Entwicklung des am stärksten verbreiteten Generatortyps in Großkraftwerken (vgl. B5).

**i** Ein Polschuh ist ein ferromagnetischer Metallaufsatz, der das Feld eines Magneten verlängert und die Feldlinien in einer definierten Form heraustreten lässt.

**i** Struktur einer Kausalkette, vgl. B6, S. 35.

**i** Zum Kommutator siehe Kap. 2.4 (S. 26).



**B5** | Generator in einem Kraftwerk.

## Arbeitsaufträge

- 1 | Man hat festgestellt, dass man Generatoren verbessern kann, wenn die Spulen einen Eisenkern („Anker“) enthalten. Begründe diese experimentelle Beobachtung.
- 2 | Ein solcher Handgenerator erzeugt beim Drehen der Kurbel eine Spannung, die an den Anschlüssen auf der linken Seite abgegriffen werden kann. Verbindet man beide Anschlüsse mit einem Kabel, fließt ein Kurzschlussstrom durch den Generator und man spürt beim Drehen einen starken Widerstand. Erkläre dieses Phänomen mit einer



Kausalkette (vgl. S. 35, B6). Verwende dazu die Fachbegriffe Spule, Induktionsspannung, geschlossener Stromkreis, Induktionsstrom, entgegengerichtetes Magnetfeld, Kraft.

- 3 | Die Induktionsspannung ist nicht dann am größten, wenn die Anzahl der Magnetfeldlinien, die die Spule durchsetzen, am größten ist, sondern wenn die Änderung der Anzahl der Magnetfeldlinien am größten ist.
  - a) Erkläre anhand der Abbildung B2 den sinusförmigen Verlauf der Induktionsspannung während einer Drehung der Spule im Magnetfeld.
  - b) Beschreibe die Veränderung des Spannungsverlaufs, wenn sich die Spule doppelt so schnell drehen würde.

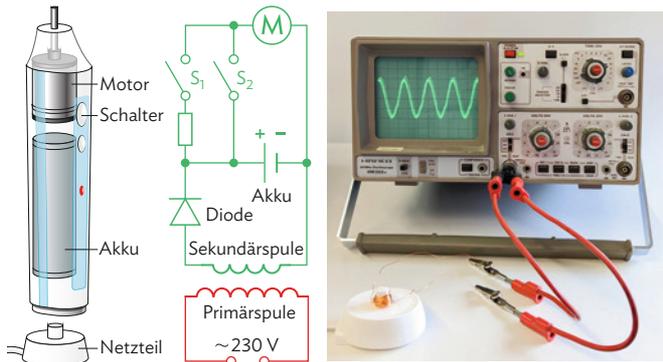
↳ weitere passende Aufgaben:  
S. 46, Nr. 7; S. 47, Nr. 10; S. 49, Nr. 15



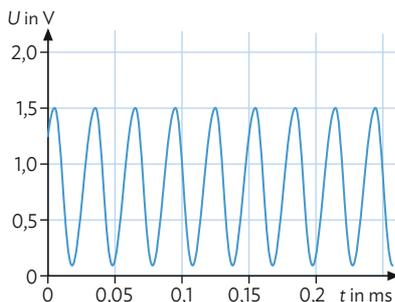
# 4 Technische Anwendungen

## Versuche und Materialien zu Kapitel 4.1

### ► M1 Lernaufgabe: Elektrische Zahnbürste



Elektrische Zahnbürsten werden zumeist induktiv geladen, weil es hier keine offenen Kontakte gibt, durch die Wasser eindringen kann. Oben ist eine passende Schaltskizze abgebildet. Das Wechselfeld der Primärspule induziert in der Sekundärspule eine Wechselspannung. Die Diode, die den Stromkreis schließt, ist eine Art Ventil (vgl. Kap. 13.3). Sie sorgt dafür, dass der Strom nur in eine Richtung fließt, also zu Gleichstrom wird. Dieser lädt dann den Akku auf. Gleichzeitig verhindert die Diode, dass der Akku über die Sekundärspule entladen wird. Mit den Schaltern  $S_1$  und  $S_2$  lässt sich bei diesem Modell die Rotationsgeschwindigkeit des Bürstenkopfes in zwei Stufen variieren. Die meisten Ladegeräte haben einen kleinen Eisenstift, auf den die Zahnbürste zum Laden gestellt wird. Legt man eine aus lackiertem Kupferdraht gewickelte Spule ( $N > 60$ ) über den Eisenstift, lässt sich eine Spannung erzeugen (vgl. Foto oben). Da

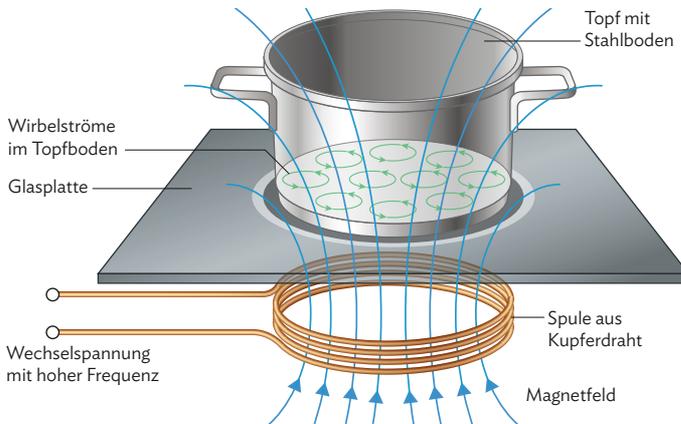


die Wechselfrequenz sehr hoch ist, benötigt man zur Messung dieser Spannung jedoch ein Oszilloskop, ein digitales Messgerät mit Hochfrequenzdiode oder ein analoges Messgerät.

### Arbeitsauftrag

- Erkläre mit einer Kausalkette die Entstehung von Wechselspannung und Stromfluss in der Sekundärspule.
- Erkläre, dass sich der Motor bei unterschiedlicher Stellung der Schalter  $S_1$  und  $S_2$  unterschiedlich schnell dreht.
- Lies aus dem Diagramm unten die Zeitdauer zwischen zwei Spannungsspitzen der Induktionsspannung ab („Schwingungsdauer“). Ermittle daraus die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Das ist die sogenannte „Frequenz“ (1 Schwingung pro Sekunde = 1 Hertz = 1 Hz). Vergleiche diesen Wert mit der Frequenz von 50 Hz, die an einer Steckdose anliegt. Stelle eine Vermutung darüber an, dass die Frequenz bei der Zahnbürste so hoch gewählt wird.
- Bestimme mit einem Energiekostenmessgerät die Leistung, die das Ladegerät während des Experiments aufnimmt. Miss über einen zusätzlichen Widerstand an der Spule die Spannung und die Stromstärke. Bestimme daraus die Leistung und so den Wirkungsgrad (vgl. B3 auf S. 36) des Ladegeräts.

## ► M2 Lernaufgabe: Induktionsherd



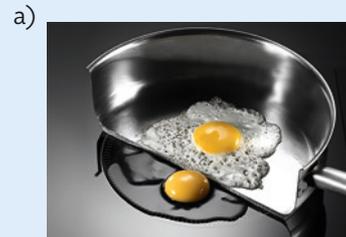
Ein Induktionsherd besteht im Wesentlichen aus einer Kupferspule mit geringem elektrischen Widerstand, die sich direkt unterhalb der Glaskeramik befindet. An die Kupferspule wird eine hochfrequente Wechselspannung angeschlossen, die zu einem Wechselstrom und dadurch zu einem Wechselmagnetfeld führt.

Das Magnetfeld ist so gerichtet, dass es über die Glaskeramik herausragt, sodass es einen auf die Platte gestellten Topf durchdringt. Für einen Induktionsherd muss der Topf aus einem ferromagnetischen Material bestehen, damit das Magnetfeld der Spule stärker gebündelt und so effizienter genutzt wird. Durch das schnell variierte Wechselmagnetfeld der Spule entstehen durch Induktion im Topfboden kleine ringförmige Ströme (vgl. Abbildung), sogenannte Wirbelströme, deren Richtung sich ebenfalls ständig umkehrt. Diese starken Wirbelströme erhitzen den Topfboden aufgrund des elektrischen Widerstands des Topfmaterials.

Fast ein Drittel der Heizleistung des Induktionsherds kommt jedoch durch das ständige Ummagnetisieren des Topfbodens zustande: In unserer Modellvorstellung kommt es durch das Wechselfeld zu einem schnellen „Umklappen“ der Elementarmagnete, was zur Umwandlung der elektrischen Energie in innere Energie führt. Diese Energie bleibt dann im Topfboden gespeichert, seine Temperatur steigt.

Ein dritter Effekt tritt hinzu: Die induzierten Wirbelströme bilden ihrerseits Magnetfelder aus, die ihrer Ursache entgegenwirken (Regel von Lenz). Bei den hohen Frequenzen, mit denen Induktionsherde arbeiten, führt das dazu, dass das Magnetfeld der Spule in die untere Schicht des Topfbodens „gedrängt“ wird und die Wirbelströme nur in einer wenigen Millimeter dicken Schicht fließen können (Skinneffekt). Diese Verkleinerung des Strömungsquerschnitts erhöht den elektrischen Widerstand und damit die Heizleistung.

## Arbeitsauftrag



Über die Kante einer zersägten Pfanne auf einem Induktionsherd wird ein Ei aufgeschlagen (vgl. Foto). Beschreibe und erkläre die Beobachtung auf dem Bild mit physikalischen Fachbegriffen.

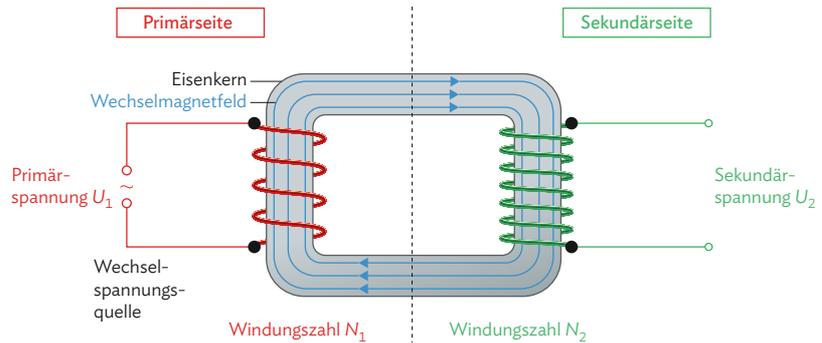
- b) Überlege dir die Vorteile eines Induktionsherds gegenüber einem klassischen Ceranfeld, bei dem das Kochgeschirr über Heizplatten erhitzt wird. Sammle durch eine Recherche weitere Vor- und Nachteile und stelle diese tabellarisch dar. Entscheide, ob du generell zum Kauf eines Induktionsherds raten würdest, wenn du alle Argumente abwägst.
- c) Induktionsherde arbeiten mit Wechselströmen von sehr hoher Frequenz (20-100 kHz, vgl. M1c). Manche Menschen sorgen sich um die elektromagnetische Strahlung, die von Induktionsherden ausgeht. Beurteile durch eine Recherche, ob diese Ängste aus physikalischer Sicht gerechtfertigt sind.



**B1** Das Herzstück von Schaltnetzteilen für Smartphones ist ein Transformator.

### Das Prinzip eines Transformators

Viele Geräte, wie etwa Smartphones, Computer, Monitore oder LEDs, benötigen eine festgelegte Spannung. Technisch lässt sich das mithilfe von Transformatoren erreichen. Sie sind ein weiteres Beispiel dafür, wie die physikalische Entdeckung der Induktion zu einem technischen Nutzprodukt führt. Im Wesentlichen bestehen sie aus zwei Spulen, die einen Eisenkern umschließen (vgl. B2).



**B2** Funktionszeichnung eines unbelasteten Transformators.

Folgende Kausalkette erklärt, wie damit Spannung übertragen wird:

1. An die Primärspule wird die Wechselspannung  $U_1$  angelegt, deshalb fließt in ihr Wechselstrom.
2. Der Wechselstrom erzeugt ein sich ständig änderndes Magnetfeld („Wechselmagnetfeld“).
3. Der Eisenkern verstärkt das Magnetfeld und verlängert es in die Sekundärspule hinein.
4. Zwischen den Enden der Sekundärspule entsteht durch das Wechselmagnetfeld eine Induktionsspannung  $U_2$ .

Ein Transformator funktioniert nur mit Wechselspannung, weil eine dauerhafte Induktionsspannung eine dauerhafte Magnetfeldänderung benötigt.

### Energieübertragung beim Transformator

Damit an der Sekundärseite „2“ elektrische Energie abgeführt werden kann, muss an der Primärseite „1“ elektrische Energie zugeführt werden. Da der Energieerhaltungssatz gelten muss, lässt sich schreiben:  $E_1 = E_2$ . Division beider Seiten durch  $\Delta t$  ergibt eine Leistungsgleichung:

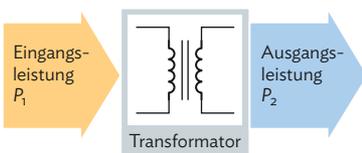
$$E_1 : \Delta t = E_2 : \Delta t$$

$$P_1 = P_2$$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Wir sehen, dass aus Gründen der Energieerhaltung das Verhältnis der Spannungen am Transformator umgekehrt zum Verhältnis der Stromstärken sein muss. Das gilt jedoch nur für einen „idealen“ Transformator, bei dem man Umwandlungen in innere Energie vernachlässigt.



**B3** Was reinkommt, muss auch herauskommen.

**i**  $\Delta t$  ist die Zeitspanne, während der der Strom fließt.

### Übersetzung beim idealen Transformator

Wovon das Verhältnis der Spannungen und Stromstärken beim Transformator tatsächlich abhängt, soll durch ein Experiment untersucht werden. Dazu werden Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen verwendet und jeweils die Spannung  $U_1 = 5,0\text{ V}$  an die Primärseite angelegt (vgl. B4). Ein Messgerät auf der Sekundärseite misst die Induktionsspannung  $U_2$ . Die Messwerte in der Tabelle zeigen, dass das Verhältnis der Windungszahlen dem Verhältnis der Spannungen entspricht, wenn man die Umwandlung in innere Energie berücksichtigt.

Im nächsten Schritt werden die Stromstärken untersucht. Dazu werden die Spulen an der Sekundärseite jeweils durch einen elektrischen Widerstand  $R$  („Lastwiderstand“) geschlossen (vgl. B5). Amperemeter messen die Stromstärken auf beiden Seiten. Wieder werden die Windungszahlen der beteiligten Spulen variiert. Die Primärspannung wird jeweils so gewählt, dass die Primärstromstärke immer  $I_1 = 0,10\text{ A}$  beträgt. Die Messwerte in der Tabelle zeigen, dass das Verhältnis der Windungszahlen ungefähr dem umgekehrten Verhältnis der Stromstärken entspricht. Auch hier findet eine Umwandlung in innere Energie statt, die umso geringer ausfällt, je höher der Lastwiderstand ist, also je geringer die Stromstärke auf der Sekundärseite ist. Ist der Lastwiderstand sehr, sehr groß (das Voltmeter im ersten Versuchsteil gehört dazu), spricht man vom unbelasteten, andernfalls von einem belasteten Transformator.

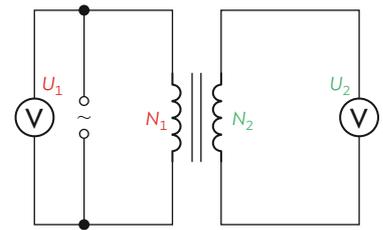
Beim idealen Transformator gilt für die Verhältnisse der Windungszahlen  $N$ , Spannungen  $U$  und Stromstärken  $I$  von Primär- und

Sekundärseite:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$        $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

Diese Gesetzmäßigkeiten gelten nur näherungsweise, weil ein idealer, verlustfreier Transformator in der Praxis nicht realisierbar ist.

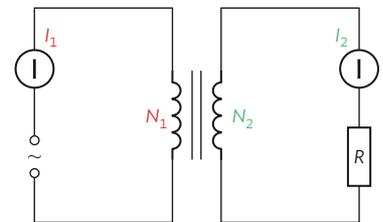
### Musteraufgabe

Ein Transformator in einem Umspannwerk soll die Spannung von 30 kV auf die Haushaltsspannung von 230 V transformieren. Berechne die notwendige Windungszahl der Sekundärspule, wenn man von einem idealen Transformator ausgeht und die Primärwindungszahl 6000 beträgt.



$N_1$	600	600	1200	1200
$N_2$	600	1200	600	300
$U_1$	5,0 V	5,0 V	5,0 V	5,0 V
$U_2$	4,5 V	9,0 V	2,2 V	1,1 V

B4 | Schaltskizze und reale Messwerte für die Spannungsübersetzung eines unbelasteten Transformators.



$N_1$	600	600	1200	1200
$N_2$	600	1200	600	300
$I_1$	0,10 A	0,10 A	0,10 A	0,10 A
$I_2$	0,09 A	0,05 A	0,19 A	0,36 A

B5 | Schaltskizze und reale Messwerte für die Stromübersetzung eines belasteten Transformators.

### Lösung

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot U_2}{U_1} = \frac{6000 \cdot 230\text{ V}}{30\,000\text{ V}} = 46$$

### Arbeitsaufträge

- Erstelle eine kurze Folienpräsentation oder ein Erklärvideo über den Aufbau und die Funktionsweise eines Transformators.
- Erkläre mithilfe der Energieerhaltung, dass die Übersetzung von Spannung und Stromstärke beim Transformator gerade umgekehrt ist.
- Kabellose Ladesysteme nach dem Qi-Standard (vgl. M1, S. 28) besitzen in der Ladebasis eine Spule mit 20 Windungen, durch die beim Laden eines Smartphones ein Strom von 1,25 A fließt. Die Ausgangsleistung liegt bei 15 W, die Ladespannung soll 5,0 V betragen. Ermittle die Windungszahl der Spule, die im Smartphone eingebaut sein muss.

↳ weitere passende Aufgaben:  
S. 46, Nr. 2, 3, 8, 9; S. 47, Nr. 11; S. 48, Nr. 12, 13; S. 49, Nr. 16

### Die zweite industrielle Revolution

Die elektrodynamischen Erfindungen von Generatoren, Motoren und Transformatoren läuteten eine neue Epoche der Technisierung ein. Zuvor war die Dampfmaschine im 18. und 19. Jahrhundert das Herzstück der Industrialisierung und hatte die Arbeitswelt in Webereien, Spinnereien und in der Kohle- und Stahlproduktion revolutioniert. Dampfbetriebene Lokomotiven ermöglichten eine ungeahnte Mobilität, wo zuvor nur Schiffe oder Pferdefuhrwerke zur Verfügung standen.

Mit dem Elektromotor verfügte man Ende des 19. Jahrhunderts jedoch über eine ungleich praktischere Technik, um Arbeitsprozesse zu erleichtern und zu automatisieren. Die Eigenschaften des Elektromotors waren denen der Dampfmaschine deutlich überlegen. So konnte die Drehzahl schnell verändert und Motoren für jede Leistung und jeden Arbeitseinsatz passend und sogar mobil gebaut werden. Aber nicht nur elektrische Werks- und Produktionsmaschinen, sondern auch elektrische Beleuchtung, Elektrogeräte im Haushalt, Radio und Telefon fanden zunehmende Verbreitung. Die Elektrifizierung, also die flächendeckende elektrische Versorgung, führte zu einer Transformation der Lebens- und Arbeitswelt, sodass man von der „zweiten industriellen Revolution“ spricht.



**B1** Werbeplakat für landwirtschaftliche Maschinen aus den 1930er Jahren.

### Beispiel Waschmaschine

Zum aufwendigsten Teil der Hausarbeit gehörte immer das manuelle Wäschewaschen. Die Arbeit, die im 19. Jahrhundert noch einen vollen Arbeitstag für zwei Personen kostete, erledigte eine Waschmaschine mit Elektromotor und -heizung in einem Bruchteil der Zeit (vgl. B2 und B3). Die Vollautomatisierung des Waschvorgangs im 20. Jahrhundert setzte große zeitliche Ressourcen frei, wovon vor allem die Hausfrauen profitierten, da ihnen damals das Wäschewaschen zukam. Die freie Zeit konnte in andere Bereiche investiert werden, etwa in Bildung. Die Waschmaschine hat nach Meinung von Soziologen mindestens so viel zur Emanzipation der Frau beigetragen wie die Pille, die zur Empfängnisverhütung eingesetzt wird.



**B2** Waschfass aus dem 19. Jahrhundert. Das wöchentliche Wäschewaschen benötigte einen vollen Arbeitstag zweier Personen.



**B3** Eine der ersten Waschmaschinen mit elektrischem Antrieb aus dem Jahr 1929.

## Der „Stromkrieg“

Um die elektrische Energie an den Kunden zu bringen, bedurfte es einer Infrastruktur. Es war klar, dass nicht jeder Haushalt einen eigenen Generator betreiben konnte. Thomas Edison, der schon die Entwicklung der Glühlampe entscheidend vorangetrieben hatte, eröffnete 1882 in New York ein von Dampfmaschinen betriebenes Zentralkraftwerk mit sechs Generatoren. Es lieferte 110 V Gleichspannung und versorgte über oberirdisch verlaufende Kupferleitungen Gebäude in Manhattan mit elektrischer Energie, darunter das der New York Times. Der Strom diente vor allem dem Betrieb von Glühlampen, die in einem Monopol ausschließlich über Edison bezogen werden konnten. Der Nachteil der Gleichstromtechnik ist, dass der Strom nicht über weite Strecken geleitet werden kann, da dazu eine hohe Stromstärke nötig ist, was gleichbedeutend mit einer hohen Verlustleistung ist.

Nikola Tesla hingegen setzte stattdessen auf Wechselstrom und Transformatoren. Auf Hochspannung gebracht lässt sich die Energie auch über weite Strecken transportieren, da die durch die Transformation niedrig gehaltene Stromstärke nur zu geringen thermischen Verlusten in den Kupferleitungen führt. Tesla entwickelte 1888 dazu einen voll funktionsfähigen Wechselstromelektromotor. Der Industrielle George Westinghouse erwarb Teslas Patente und stieg mit dem Bau von Wechselstromkraftwerken, -netzen und -motoren zum größten Konkurrenten Edisons auf. Am Ende eines „Stromkrieg“ genannten zähen Kampfes um die Vorherrschaft der Elektrifizierung setzte sich die Wechselstromtechnik trotz der ursprünglich stärkeren Verbreitung der Gleichstromtechnik durch.

**i** Die aufgrund der Umwandlung in innere Energie hervorgerufene Verlustleistung durch einen elektrischen Leiter lässt sich mit  $P = U \cdot I = R \cdot I^2$  ausdrücken. Am Quadrat sieht man, dass sie empfindlich von der Höhe der Stromstärke abhängt.



**B4** | Nikola Tesla mit einer drahtlos leuchtenden Glühlampe (1890).

## Arbeitsaufträge

- 1 | Die „zweite industrielle Revolution“ erfasste alle Bereiche der Industrie, aber auch des alltäglichen Lebens. Wähle ein elektrisches Gerät des 19. oder frühen 20. Jahrhunderts, dessen Erfindung, ähnlich wie die Waschmaschine, eine bedeutende Auswirkung auf das Leben eines Menschen der damaligen Zeit hatte. Recherchiere nähere Informationen darüber und stelle das Beispiel ausführlich vor.
- 2 | Informiere dich im Internet, wie vor der Erfindung der Waschmaschine Wäsche gewaschen wurde, und stelle die Arbeitsschritte mitsamt ihrem Zeitbedarf schriftlich zusammen. Nimm unter Verwendung der Informationen von S. 42 Stellung zum Zitat des Wirtschaftswissenschaftlers Chang Ha-Joon (Cambridge Universität): „Die Waschmaschine war revolutionärer als das Internet.“
- 3 | a) Informiere dich über den „Stromkrieg“ und seine Protagonisten und fasse die zentralen Inhalte zusammen. Gehe dabei auf die physikalischen Vor- und Nachteile in der Auseinandersetzung ein. Wähle für deine Ergebnisse eine visualisierende Darstellungsform (z. B. Mindmap).  
b) Diskutiere an diesem Beispiel den Zusammenhang von technischem Fortschritt und wirtschaftlichen Interessen. Finde Parallelen zur Gegenwart und nenne geeignete Beispiele.  
c) Der „Stromkrieg“ wurde auch filmisch umgesetzt, etwa in „Edison – ein Leben voller Licht“ (2017) oder „Tesla“ (2020). Stelle einen Film zu dem Thema im Unterricht vor. Charakterisiere die handelnden Personen und untersuche die filmischen Mittel, mit denen die Hauptaussagen des Films gestützt werden.

### Technischer Fortschritt – Segen oder Fluch?

Der Rückblick auf die Erfindungen des 19. Jahrhunderts macht deutlich, wie technologische Fortschritte gesellschaftliche Veränderungen auslösen können. Aber letztlich sind es immer Menschen, die mit ihren je unterschiedlichen Motiven Technik entwickeln und beeinflussen, wie der „Stromkrieg“, aber etwa auch die Entwicklung des Automobils zeigen. Der folgende Sachtext geht genauer auf diese Thematik ein.

### Die Gesellschaft beeinflusst technische Entwicklung

[...] Neue Technik fällt nicht vom Himmel, sondern wird von Menschen gemacht. [...] Zu jeder Innovation gab und gibt es immer Alternativen; und die Entscheidung, welche dieser Alternativen sich letztlich durchsetzt folgt keiner technischen, sondern einer sozialen Logik.

### Soziale Konstruktion von Technik

Ein gutes Beispiel für diese soziale Logik ist die Geschichte des Elektroautos: Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war der Elektromotor die meistverbreitete Antriebsform, bis er vom Verbrennungsmotor verdrängt wurde. Rein technisch sprach viel für den Elektromotor. Es gab hinreichend technische Expertise und industrielles Know-how in der aufstrebenden Elektroindustrie. Trotzdem setzte eine Allianz unterschiedlicher Interessengruppen schließlich den Verbrennungsmotor durch. Neben den wohlhabenden Städtern [...] profitierten vor allem Landwirte und Landärzte von der mobilen Kraftquelle.[...]

Durch diese Schlüsselentscheidungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde ein soziotechnischer Pfad angelegt, der sich schrittweise verfestigt hat. Das große Beharrungsvermögen dieses Pfades war jedoch kein Naturgesetz, sondern wurde immer wieder „sozial konstruiert“, also durch Entscheidungen zementiert. In den Nachkriegsjahren wurden beispielsweise die deutschen Autobahnen auf Kosten der Bahn ausgebaut, deren Vermögen dafür „geplündert“ wurde. Man hätte die Weichen damals auch anders stellen und beispielsweise das Bahnnetz ausbauen können.

Heute erleben wir eine Renaissance des Elektroautos, das als ein Baustein einer nachhaltigen Verkehrswende betrachtet wird. Scheinbar versteinerte Pfade können also aufgebrochen werden, wenn die von ihnen erzeugten Probleme dazu führen, dass die gesellschaftliche Akzeptanz sinkt und wichtige Akteursgruppen ihre Unterstützung entziehen.[...] Und so entstehen Alternativen, die das Potenzial haben, den Verbrennungsmotor abzulösen – vorausgesetzt, sie können sich auf ein breites Netzwerk starker Akteure stützen. Welche dieser Alternativen sich im Bereich Mobilität und Verkehr langfristig durchsetzen wird und welche Rolle dabei der Elektromotor spielen wird, ist noch offen.[...]



B1 Ein Elektroauto aus dem Jahr 1901.



B2 Ladevorgang eines modernen Elektroautos.

### Technikfolgenabschätzung – ein Blick in die Zukunft

Wie das Beispiel zeigt, lenkt die Techniksoziologie den Blick auf die sozialen Prozesse der Technikonstruktion und trägt so zu einem vertieften Verständnis der Wechselwirkung von Technik und Gesellschaft bei. Zudem zeigt sie Gestaltungsoptionen auf. Es macht Sinn, bereits im frühen Stadium technischer Innovationen intensiv über mögliche gesellschaftliche Folgen von Technik nachzudenken. Hier setzt die Technikfolgenabschätzung an: Sie entwickelt – unter Beteiligung von Experten und Laien – Zukunftsszenarien und versucht, mögliche Chancen und Risiken neuer Technik zu antizipieren (etwa das Recycling-Problem der Batterien von Elektroautos).[...]

Aufgrund negativer Erfahrungen der Vergangenheit (z. B. Kernkraft) haben wir gelernt, dass es wenig Sinn macht, den Verheißungen der Technikentwickler blind zu trauen und blauäugig immer wieder auf den nächsten technischen Trend aufzuspringen. Moderne Gesellschaften haben Verfahren entwickelt, mit Technikentwicklung behutsam umzugehen und die Menschen nicht zu überfordern.[...] Wenn wir diese Verfahren der Technikfolgenabschätzung beispielsweise beim Elektroauto, aber auch beim autonomen Auto systematisch anwenden, können wir dafür sorgen, dass künftige Innovationen ein Segen und kein Fluch für die Menschheit werden.

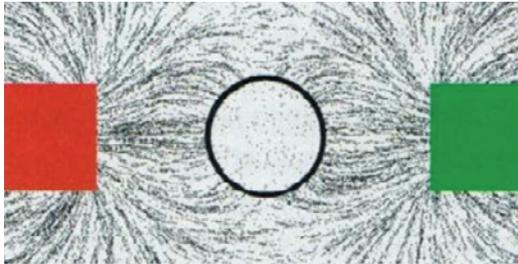
© Johannes Weyer (08.03.2017), zuletzt aufgerufen am 20.07.2022,  
<https://www.bpb.de/themen/medien-journalismus/netzdebatte/243905/technischer-fortschritt-fluch-oder-segen/>

### Arbeitsaufträge .....

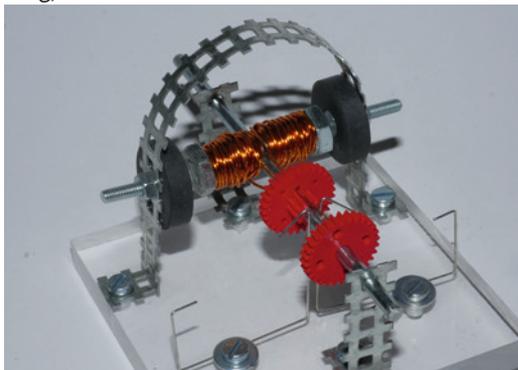
- 1 | Der Text stellt dar, dass nicht nur die Technik die Gesellschaft beeinflusst, sondern die Gesellschaft auch die technische Entwicklung. Fasse die auf S. 44 beschriebene Entwicklung des Automobilantriebs zusammen und erläutere dabei die Wechselbeziehung von Technik und Gesellschaft.
- 2 | Autonom fahrende Autos werden in naher Zukunft Teil des Straßenverkehrs. Schon 2016 hat das Verkehrsministerium eine Kommission eingesetzt, um die ethischen Fragen selbst fahrender Autos zu klären: Wie soll das Auto für Entscheidungsszenarien programmiert sein, wenn Menschenleben in Gefahr sind? Soll das Auto lieber der jungen Mutter oder dem älteren Herrn ausweichen? Dem Einzelnen oder der Gruppe? Lassen sich Menschenleben überhaupt wie Güter abwägen? Hier ist die Gesellschaft gefragt, um technische Entwicklung zu beeinflussen.  
 Verfasse in der Rolle eines Mitglieds der Kommission im Verkehrsministerium eine persönliche Stellungnahme zu diesem Thema.
- 3 | Erläutere den Begriff „Technikfolgenabschätzung“, wie er im Text auf S. 45 verwendet wird. Recherchiere anschließend eine weitere Definition im Internet und veranschauliche sie an einem Beispiel. Visualisiere deine Ergebnisse (z. B. Mindmap, Concept Map, Folienpräsentation, Erklärvideo).
- 4 | Im Text wird geschrieben: „Es macht Sinn, bereits im frühen Stadium technischer Innovationen intensiv über mögliche gesellschaftliche Folgen von Technik nachzudenken.“
  - a) Sammle Beispiele möglicher zukünftiger technischer Erfindungen, bei denen du große Auswirkungen auf die Gesellschaft erwartest.
  - b) Gehe auf ein Beispiel näher ein und stelle die verschiedenen Interessen zusammen, die hier kollidieren könnten.
  - c) Formuliere Vorschläge, um die verschiedenen Interessen im Beispiel in Einklang zu bringen.
  - d) Stelle Kriterien zusammen, nach denen sich die Entwicklung neuer Techniken deiner Meinung nach orientieren sollte.

## Basisaufgaben

- 1 | Erkläre die Abschirmung des Magnetfeldes der beiden Stabmagneten durch einen hohlen Eisenzylinder und zeichne ein Feldlinienbild, bei dem du auch die Richtungen einträgst.

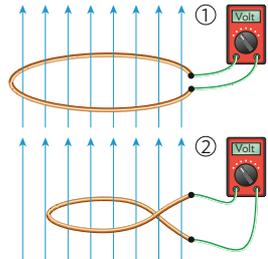


- 2 | Der Generator eines Wasserkraftwerks erzeugt eine Spannung von 27 kV. Diese soll für das Übertragungsnetz auf 380 kV transformiert werden. Zur Verfügung steht ein Transformator mit einer Primärwindungszahl von 216 Windungen. Berechne die Windungszahl auf der Sekundärseite.
- 3 | An der Primärspule des Ladenetzteils einer elektrischen Zahnbürste (vgl. S. 38) liegt eine Spannung von 10 V an. Sie besitzt 600 Windungen. Der in der Zahnbürste enthaltene Akku ist für 1,2 V ausgelegt. Bestimme die Windungszahl der Sekundärspule in der Zahnbürste.
- 4 | Du siehst hier einen einfachen Elektromotor aus einem Bausatz aufgebaut. Beschreibe seine Funktionsweise unter Verwendung der Begriffe Stator, magnetische Feldlinie, Rotor, stromdurchflossene Spule, magnetische Kraft, Stromrichtung, Kommutator.

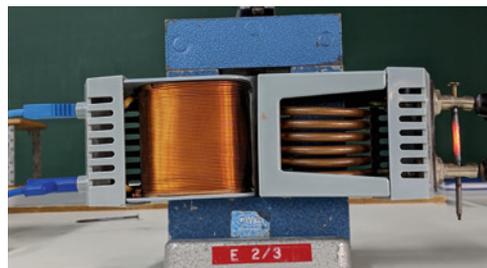


- 5 | Nenne die Kraft, die auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt. Gib die Bedingung an, die erfüllt sein muss, damit die Kraftwirkung auf den Leiter maximal ist.

- 6 | Eine Kabelschleife wie die abgebildete wird von einem Magnetfeld durchsetzt. Beschreibe und erkläre die Veränderung, die man am Voltmeter beobachten kann, wenn die Schleife enger gezogen (oder auseinander gezogen) wird.



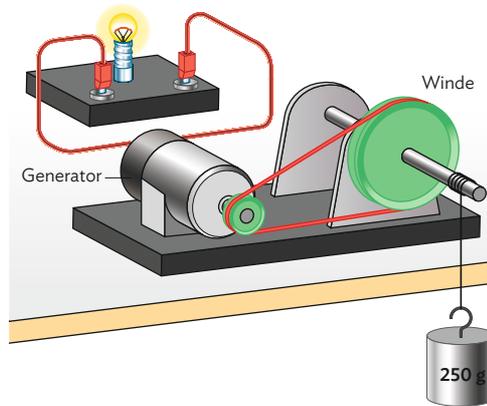
- 7 | Suche im Internet nach verschiedenen Arten von Fahrraddynamos und vergleiche anhand ihrer Kenngrößen ihre Vor- und Nachteile. Bewerte sie im Vergleich zu einer akkubetriebenen Fahrradbeleuchtung.
- 8 | Für die Halogenbeleuchtung einer Zimmerdecke soll die Netzspannung von 230 V auf 12 V heruntertransformiert werden. Wähle ein geeignetes Spulenpaar für den Transformator. Gehe von einem idealen Transformator aus.
- 9 | Ein Transformator besitzt auf der Primärseite 600, auf der Sekundärseite 6 Windungen. Die Enden der Sekundärspule sind mit einem Nagel kurzgeschlossen, der einen Widerstand von 10 mΩ besitzt. Berechne die Stromstärke, die durch den Nagel fließt, wenn an der Primärseite Netzspannung (230 V) liegt. Erkläre, dass der Nagel schmilzt (vgl. Foto)



## Zusammenfassende Aufgaben

### 10 | Wirkungsgrad beim Generator

Um den Wirkungsgrad  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  eines Generators zu bestimmen, wird folgendes Experiment durchgeführt: Eine herabsinkende Last ( $m = 250 \text{ g}$ ) wickelt einen Faden ab, der über eine Winde mit der Achse des Generators verbunden ist und sie dadurch in Drehung versetzt. Der Generator betreibt eine Glühlampe, an der Spannung und Stromstärke gemessen werden. Die Last sinkt innerhalb von  $3,1 \text{ s}$  um die Strecke von  $1,0 \text{ m}$  hinunter. Die Spannung an der Lampe beträgt  $4,3 \text{ V}$ , die Stromstärke  $136 \text{ mA}$ .



- Berechne aus diesen Angaben den Wirkungsgrad des Generators.
- Wenn der Stromkreis zur Lampe unterbrochen wird, sinkt die Last deutlich schneller nach unten. Erkläre diese experimentelle Beobachtung mithilfe der Induktion und des Energieerhaltungssatzes.

### 11 | Metalldetektor

In sensiblen Bereichen, wie etwa an Flughäfen, werden Metalldetektoren eingesetzt, um verborgene metallische Gegenstände zu lokalisieren. Oft bestehen sie aus einer Sende- und einer Empfängerspule, zwischen denen man hindurchläuft. Die Sendespule sendet ein Wechsellmagnetfeld aus, das in der Empfängerspule eine Wechselspannung induziert. Befindet sich nun ein Metallgegenstand zwischen den Spulen, werden in ihm Wirbelströme erzeugt. Diese Wirbelströme bilden Magnetfelder aus, die nach der Regel von Lenz dem Sendemagnetfeld entgegengesetzt sind und es schwächen. In der Empfängerspule wird deshalb eine geringere Spannung induziert, was den Alarm auslöst.

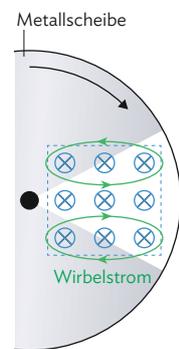
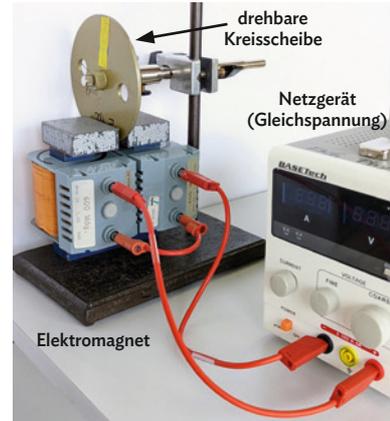


- Fertige die beschriftete Skizze eines Metalldetektors an, die folgende Elemente enthält: Sendespule; Empfängerspule; Magnetfeld; Wechselspannung; Metallgegenstand; Wirbelströme; Alarm.
- Körperscanner verwenden ein weiter entwickeltes, bildgebendes Verfahren, um Waffen oder Sprengstoff erkennen zu können. Informiere dich über die Funktionsweise eines Körperscanners und über seine ethischen Probleme. Nimm kritisch Stellung.

## 12 | Wirbelströme

Die bremsende Wirkung des Induktionsstroms kann man sich technisch zunutze machen, etwa bei Crosstrainern. Das abgebildete Experiment zeigt eine Metallscheibe, die zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten rotiert und dabei berührungsfrei abgebremst wird.

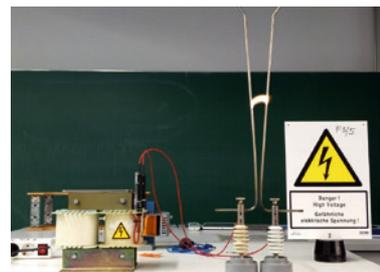
Betrachten wir ein Segment der Scheibe, dessen oberer Teil in das Magnetfeld eintritt, und dessen unterer Teil aus dem Magnetfeld austritt (vgl. Zeichnung): An beiden Stellen ändert sich die Anzahl der durchsetzenden Feldlinien – die Bedingung für Induktion. Die Elektronen in diesen Bereichen beginnen, sich in der Ebene der Scheibe auf einer geschlossenen Bahn zu bewegen. Man spricht von einem Wirbelstrom. Der Wirbelstrom im oberen Bereich ist dabei so gerichtet, dass sein Magnetfeld dem des Elektromagneten entgegengerichtet ist, sodass es zu einer bremsenden Kraft kommt. Der Eintritt des Segments ins Magnetfeld wird erschwert. Im unteren Teil ist der Wirbelstrom so gerichtet, dass der Austritt erschwert wird. Hier erzeugt der Wirbelstrom ein Magnetfeld, dessen Linien parallel zu denen des Elektromagneten verlaufen.



- Bestätige mit der Drei-Finger-Regel der rechten Hand, dass die Wirbelströme im Magnetfeld eine bremsende Kraft erfahren. Überprüfe zusätzlich mit der Rechte-Faust-Regel, dass das Magnetfeld, das die Wirbelströme erzeugen, am höchsten und am tiefsten Punkt antiparallel bzw. parallel zum äußeren Magnetfeld ist.
- Überlege dir Vor- und Nachteile einer Wirbelstrombremse. Ergänze deine Überlegungen mit einer Internetrecherche.
- Suche im Internet nach Anwendungen von Wirbelstrombremsen. Wähle eine Anwendung aus, übernehme eine aussagekräftige Skizze in dein Heft und ergänze sie mit einer kurzen Erklärung.

## 13 | Hochspannungstransformator

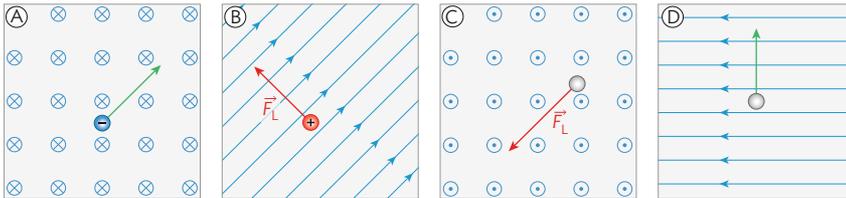
Ein Hochspannungstransformator kann so hohe Spannungen erzeugen, dass zwischen zwei Metallbügeln, die mit der Sekundärseite verbunden sind, ein Funkenüberschlag erzeugt wird (vgl. Abbildung). Berechne die Spannung an der Sekundärseite ( $N_2 = 7600$ ), wenn an der Primärseite ( $N_1 = 200$ ) die Netzspannung von 230 V anliegt.



**!** Mache das Experiment auf keinen Fall nach! Es besteht Lebensgefahr!

### 14 | Leiter im Magnetfeld

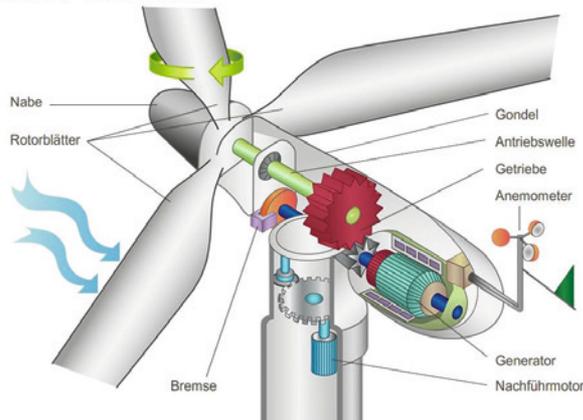
- a) Begründe, ob folgende Aussage stimmt, und korrigiere sie gegebenenfalls im Heft.  
 „Ein gerader, stromdurchflossener Leiter besitzt ein Magnetfeld, welches schlauchförmig um ihn herum aufgebaut ist.“
- b) Übertrage die folgenden Skizzen in dein Heft und ergänze die fehlenden Größen. In jeder Skizze sollen am Ende folgende Größen eindeutig erkennbar sein: Magnetfeldrichtung; Bewegungsrichtung des Ladungsträgers; Richtung der Lorentzkraft; Art des Ladungsträgers (– oder +).



### 15 | Funktionsweise eines Windrads

Windräder wandeln die Bewegungsenergie des Windes in elektrische Energie um und gelten als eine der ökologischsten Möglichkeiten, um unseren Energiebedarf zu decken. Hier ist der Rotor und das Maschinenhaus („Gondel“) eines Dreiflügelwindrads abgebildet.

Windrad – Innenansicht



<https://medienportal.siemens-stiftung.org/100668>, © Siemens Stiftung 2017, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international

Schreibe für eine Gemeinderatssitzung einen physikalisch präzisen Text zur Funktionsweise eines Windrads, der alle abgebildeten Elemente schrittweise erläutert. Informiere dich im Internet über Bedeutung und Funktion der Bauteile, die dir unbekannt sind.

### 16 | Realer Transformator

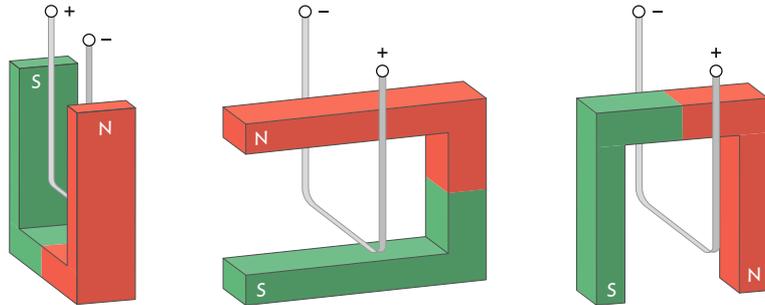
Tatsächlich gibt es keinen idealen Transformator. Ein Netzteil hat typischerweise einen Wirkungsgrad von etwa  $\eta = 75\%$ . Das bedeutet, dass die Leistung an der Sekundärseite nur 75% der Eingangsleistung der Primärseite beträgt:  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ . Berechne bei einem realen Transformator die Eingangsleistung, die nötig ist, um einen Taschenlampenakku mit 2,0 A zu laden, wenn die Sekundärspannung 5,0 V und die Eingangsspannung 230 V beträgt. Berechne auch die nötige Eingangsstromstärke.



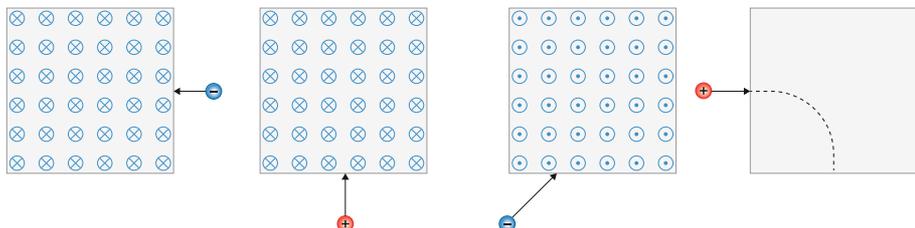
**Selbsttest-Checkliste**

- ✓ Bearbeite die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleiche deine Lösungen mit den Lösungsskizzen auf Seite 190-193.
- ✓ Bewerte nun deine Lösungen selbst mit den Symbolen 😊, 😐 oder ☹️.

- 1 a) Beschreibe exemplarisch am magnetischen Feld die grundlegenden Eigenschaften eines Feldes und beschreibe kurz das Feldlinienmodell.  
 b) Zeichne die Feldlinienbilder eines Stab- und eines Hufeisenmagneten sowie einer stromdurchflossenen Spule.  
 Nenne und beschreibe jeweils die Bereiche, in denen das Magnetfeld stärker und schwächer ist und in denen ein homogenes Feld herrscht.  
 c) Beschreibe kurz die Entstehung des Magnetfelds der Erde. Erstelle eine Skizze des Magnetfelds der Erde und trage dort auch die Magnetpole ein. Vergleiche anschließend mit dem Feld eines Stabmagneten.
  
- 2 a) Das Bild zeigt ein Leiterstück, das sich in verschiedenen Positionen im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten befindet. Das Leiterstück wird wie angegeben an die Pole einer Stromquelle angeschlossen. Überlege dir jeweils die Richtung der Lorentzkraft. Trage deine Ergebnisse mithilfe aussagekräftiger Skizzen im Heft ein und beschreibe kurz die Regel, die du bei der Bestimmung der Richtung angewendet hast.



- b) Die nachfolgenden Bilder zeigen jeweils ein geladenes Teilchen, das in ein Magnetfeld fliegt. Übertrage die Zeichnung in dein Heft und zeichne bei den ersten drei Bildern die weitere Flugbahn der Teilchen ein.  
 Im vierten Bild soll das Teilchen nach unten abgelenkt werden. Überlege dir die dafür notwendige Orientierung des Magnetfelds. Erkläre deine Lösung und vervollständige anschließend das vierte Bild im Heft.



- 3** Du hast im Schülerexperiment einen Elektromotor gebaut.
- Beschreibe den Aufbau und erkläre die Funktionsweise eines Elektromotors. Erstelle dafür auch eine aussagekräftige Skizze, die das Grundprinzip veranschaulicht.
  - Erläutere verschiedene Möglichkeiten, einen Elektromotor zu optimieren. Gib dazu zunächst eine Eigenschaft an, die verbessert werden soll, und dann eine entsprechende Veränderung.
- 4** Mithilfe eines Hufeisenmagneten soll in einer Leiterschleife eine Induktionsspannung erzeugt werden.
- Beschreibe verschiedene Versuchsmöglichkeiten, um in diesem Fall eine Induktionsspannung zu erzeugen.
  - Formuliere allgemeine Je-desto-Aussagen über die Abhängigkeit der Induktionsspannung von verschiedenen Größen.
  - Verfasse einen kurzen Text, der mithilfe eines Hufeisenmagneten und einer Leiterschleife die prinzipielle Funktionsweise eines Generators erklärt. Vergleiche anschließend das Funktionsprinzip eines Generators mit dem eines Elektromotors.
  - Nenne eine bahnbrechende technische Entwicklung aus dem 19. Jahrhundert und beschreibe die Auswirkungen, die der technische Fortschritt im Bereich des Elektromagnetismus auf die gesellschaftliche Entwicklung hatte.
- 5**
- Beschreibe den Aufbau und erkläre das Funktionsprinzip eines Transformators.
  - Begründe mithilfe des Energiekonzepts, dass bei einem Transformator nicht gleichzeitig die Spannung und die Stromstärke hochtransformiert werden können.
  - Für ein Elektrospielzeug ist es notwendig, dass die Netzspannung von 230 V auf 10 V heruntertransformiert wird. Der Transformator besitzt auf der Primärseite 1150 Windungen und soll als ideal angenommen werden.  
Bestimme die Windungszahl  $N_2$  auf der Sekundärseite und berechne die Stromstärke  $I_2$ , wenn die Primärstromstärke  $I_1 = 20 \text{ mA}$  beträgt.

### Auswertungstabelle

Ich kann...	Hilfe
<b>1</b> am Beispiel des Magnetfeldes die grundlegenden Eigenschaften eines Feldes beschreiben und kenne die Feldlinienbilder eines Stabmagneten, eines Hufeisenmagneten, einer stromdurchflossenen Spule sowie der Erde.	S. 12 ff
<b>2</b> die Drei-Finger-Regel zur Bestimmung von Strom-, Magnetfeld- und Krafrichtung anwenden.	S. 20 ff
<b>3</b> den Aufbau und die Funktionsweise eines Elektromotors erklären.	S. 24 ff
<b>4</b> verschiedene Experimente zur Erzeugung von Induktionsspannungen durchführen. Ich weiß, von welchen Größen die Induktionsspannung abhängt und ich kann die prinzipielle Funktionsweise eines Generators erklären sowie die gesellschaftlichen Auswirkungen technischer Fortschritte im 19. Jahrhundert beschreiben.	S. 28 ff S. 42 ff
<b>5</b> den Aufbau und die Funktionsweise eines Transformators als technische Anwendung des Elektromagnetismus erklären.	S. 40 ff

## Magnetfeld

Die Veränderung des Raumes durch einen Magneten beschreiben wir mit der Vorstellung, dass im Raum um den Magneten ein magnetisches Feld herrscht: Ein Probekörper richtet sich im Magnetfeld aus. Immer dann, wenn in einem Raumbereich Kraftwirkungen auf Gegenstände zu beobachten sind, sagt man: „Dort herrscht ein physikalisches Feld.“

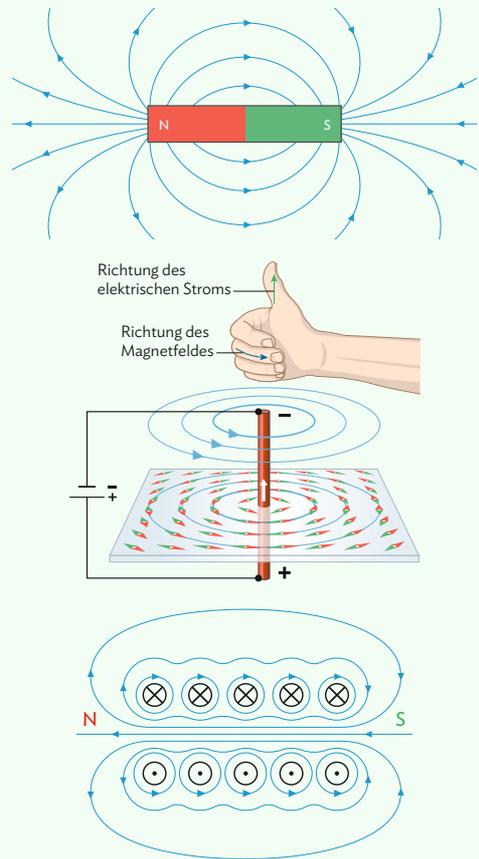
Feldlinien veranschaulichen uns die Struktur eines Feldes; sie dienen aber nur als Modell. Magnetenadeln richten sich tangential zu den Feldlinien aus. Feldlinien schneiden sich nie. Außerhalb von Permanentmagneten verlaufen die Feldlinien vom Nord- zum Südpol.

Ist die Kraft auf eine Magnetenadel in einem Raumbereich stets gleich groß und hat sie stets dieselbe Richtung, so sprechen wir von einem homogenen Magnetfeld.

Schließen wir die rechte Faust so um den Draht einer stromdurchflossenen Spule, dass der abgespreizte Daumen in die Stromrichtung zeigt, so geben die Finger die Magnetfeldrichtung an (Rechte-Faust-Regel).

Innerhalb einer stromdurchflossenen Spule ist das Magnetfeld homogen, außerhalb gleicht es dem eines Stabmagneten.

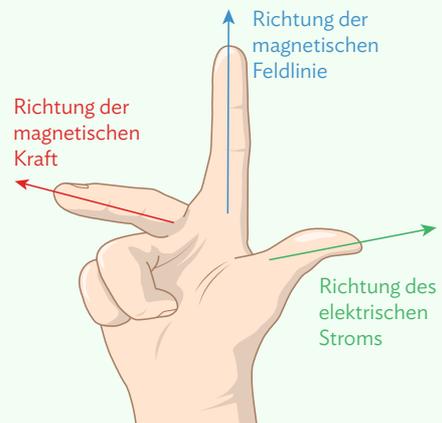
Das Magnetfeld der Erde ähnelt dem eines Stabmagneten. Es entsteht im Erdinneren durch elektrische Ströme.



## Kraft auf Ströme

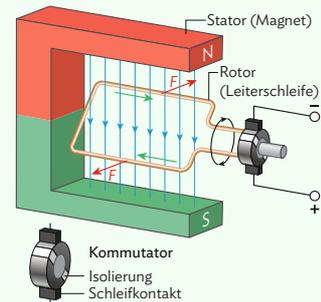
Auf bewegte Ladungen wirkt im Magnetfeld eine Kraft, die Lorentzkraft. Mithilfe der Drei-Finger-Regel der rechten Hand kann Stromrichtung (Daumen), Magnetfeldrichtung (Zeigefinger) und Krafrichtung (Mittelfinger) angezeigt werden. Bei Umpolung der Stromrichtung bzw. des Magnetfeldes wirkt die magnetische Kraft in die entgegengesetzte Richtung. Für eine bewegte negative Ladung zeigt der Daumen entgegen der Bewegungsrichtung!

Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld setzt sich zusammen aus den Lorentzkräften auf alle sich im Leiter bewegenden Elektronen.



## Elektromotor

Ein Gleichstrom-Elektromotor besteht in der Regel aus einem festen Stator (Erzeugung eines Magnetfeldes), einem drehbaren Rotor (stromdurchflussener Leiter) sowie aus einem Kommutator (Umpolung der Stromrichtung). Die Richtungen des elektrischen Stroms und des magnetischen Felds bestimmen die Drehrichtung des Rotors. Ihre Stärken beeinflussen die Drehgeschwindigkeit.



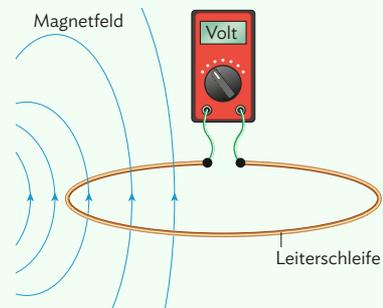
## Induktion

Wenn sich die Ausdehnung oder die Stärke eines Magnetfelds in einer Leiterschleife ändert (wenn sich also die Anzahl der Feldlinien ändert, die die Leiterschleife durchsetzen), entsteht in der Leiterschleife eine Spannung. Diese Spannung heißt Induktionsspannung.

Die Induktionsspannung einer Spule ist umso größer, je...

- schneller sich das Magnetfeld ändert.
- mehr Windungen die Spule hat.

Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er seine Ursache hemmt.



Ein Eisenkern in der Spule erhöht die Induktionsspannung ebenfalls.

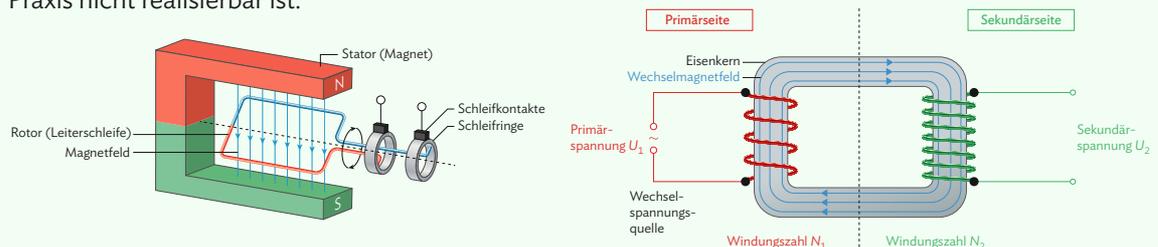
## Generator und Transformator

Ein Generator einfachster Art besteht aus einem starren Magnetfeld (Stator) und einer drehbar gelagerten Spule (Rotor). Wenn man die Spule dreht, ändert sich die Anzahl der magnetischen Feldlinien in der Spule, sodass zwischen ihren Enden eine Spannung induziert wird.

Ein Transformator besteht im Wesentlichen aus zwei Spulen, mit deren Hilfe eine Spannung in eine andere umgewandelt werden kann. Beim idealen Transformator gilt für die Verhältnisse der Windungszahlen  $N$ , Spannungen  $U$  und Stromstärken  $I$  von Primär- und Sekundärseite:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

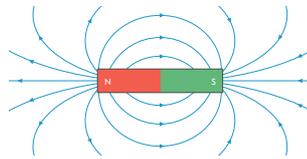
Diese Gesetzmäßigkeiten gelten nur näherungsweise, weil ein idealer, verlustfreier Transformator in der Praxis nicht realisierbar ist.



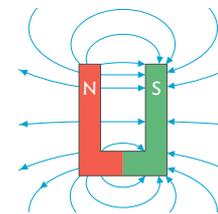
- 1 a) Immer dann, wenn in einem Raumbereich Kraftwirkungen auf Gegenstände zu beobachten sind, sagt man: „Dort herrscht ein physikalisches Feld.“ Diese Gegenstände müssen nicht in direktem Kontakt miteinander stehen, um sich beeinflussen zu können. Mit dem Konzept eines physikalischen Feldes gibt es einen „Vermittler“. Das Magnetfeld ist ein Kraftfeld. Die Eigenschaften eines Magnetfelds lassen sich modellmäßig durch ein Feldlinienbild veranschaulichen. Eine kleine Magnetnadel richtet sich in diesem Feld entlang der Feldlinien aus.

Außerhalb von Permanentmagneten verlaufen die Feldlinien vom Nord- zum Südpol. Je stärker das Feld ist, desto dichter werden die Feldlinien gezeichnet. Ist das Feld homogen, so verlaufen die Feldlinien parallel. Die Feldlinien schneiden sich nicht.

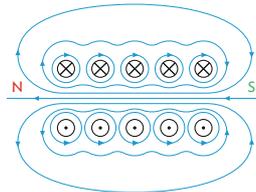
b) Stabmagnet:



Hufeisenmagnet:

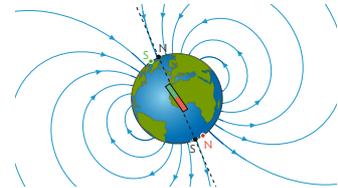


Stromdurchflossene Spule:

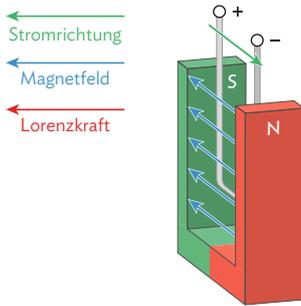


Nah an den Magnetpolen ist das Feld stärker, je weiter man von den Polen entfernt ist, umso schwächer ist das Feld. Ein homogenes Feld findet man zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten sowie im Inneren der stromdurchflossenen Spule.

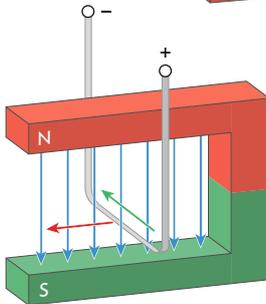
- c) Das Erdmagnetfeld entsteht im Inneren der Erde: Aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen dem heißen inneren Erdkern und dem kühleren Erdmantel steigt wiederholt Eisen auf, kühlt ab und sinkt wieder ab. Dabei wird es durch die Rotation der Erde auf Spiralbahnen gelenkt. Elektrische Ströme auf diesen Bahnen erzeugen schließlich das Magnetfeld. In seiner Struktur ähnelt das Magnetfeld der Erde dem Magnetfeld eines Stabmagneten. Die Magnetfeldlinien verlaufen vom geographischen Südpol zum geographischen Nordpol. Die magnetischen Pole stimmen nicht genau mit den geographischen Polen überein. Die Magnetfeldlinien verlaufen in der Regel nicht parallel zur Erdoberfläche, sondern zeigen je nach Breitengrad unter einem bestimmten Winkel in Richtung Erdoberfläche.



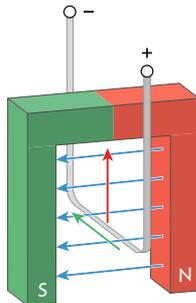
- 2 a) Die Lorentzkraft lässt sich mit der Drei-Finger-Regel der rechten Hand bestimmen. Dabei werden Daumen, Zeigefinger und Mittelfinger so gehalten, dass sie jeweils senkrecht zueinander stehen. Dreht man die Hand dann so, dass der Daumen in die Stromrichtung zeigt (hier: von + nach -) und der Zeigefinger in Richtung des Magnetfelds (von Nordpol zum Südpol), dann zeigt der Mittelfinger die Richtung an, in die die Lorentzkraft wirkt.



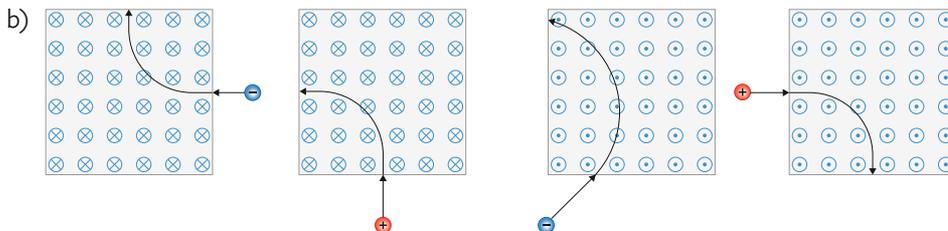
Keine Lorentzkraft, weil die Stromrichtung genau parallel zu den Feldlinien des Magnetfelds verläuft.



Die Lorentzkraft zeigt nach links.

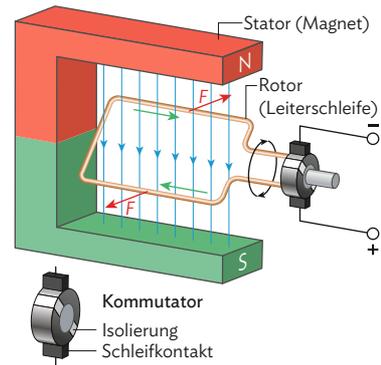


Die Lorentzkraft zeigt nach oben.



Anwendung der Drei-Finger-Regel für das vierte Bild:  
Die rechte Hand muss so gehalten werden, dass der Daumen nach rechts und der Mittelfinger nach unten zeigt. Damit zeigt der Zeigefinger und damit das Magnetfeld aus der Ebene heraus.

- 3 a) Ein Elektromotor besteht aus einem festen Teil, dem Stator, und aus einem drehbaren Teil, dem Rotor. Der Stator erzeugt entweder durch einen Permanentmagneten oder einen Elektromagneten ein Magnetfeld. Dieses bewirkt im stromdurchflossenen Teil des Rotors ein Kräftepaar (Lorentzkraft), das eine Drehbewegung des Rotors zur Folge hat. Damit der Rotor eine vollständige und dauernde Drehbewegung ausführt, muss der Strom zum richtigen Zeitpunkt umgepolt werden. Dazu dient der Kommutator.

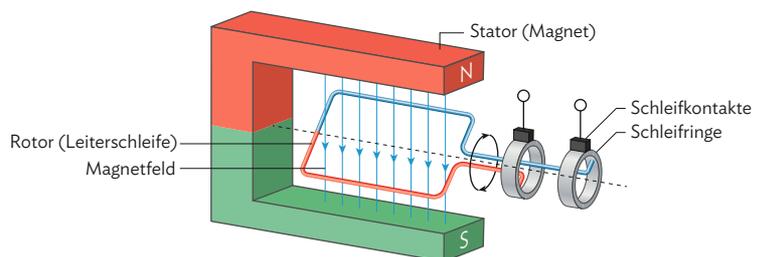


- b) Die Drehrichtung lässt sich durch Umpolen der Stromrichtung im Rotor oder durch Vertauschen der Magnetpole des Stators verändern. Die Drehgeschwindigkeit lässt sich durch Verstärkung des Stroms im Rotor oder durch Verstärkung des Magnetfelds im Stator erhöhen.

- 4 a) Eine Induktionsspannung wird in den folgenden Fällen in der Leiterschleife erzeugt:
- Annähern des Magneten an die Querschnittsfläche der Leiterschleife.
  - Annähern der Querschnittsfläche der Leiterschleife an den Magneten.
  - Hineinbewegen der Leiterschleife in den Zwischenbereich der beiden Magnetpole.
  - Herausbewegen der Leiterschleife aus dem Zwischenbereich der beiden Pole.
  - Drehen der Leiterschleife im Magnetfeld.
  - Drehen des Magneten vor der Querschnittsfläche der Leiterschleife.
- b) Eine Induktionsspannung wird in einer Leiterschleife erzeugt, wenn sich die Ausdehnung oder die Stärke des Magnetfelds in der Leiterschleife ändert. Je schneller sich diese Ausdehnung (zeitlich betrachtet) ändert, desto größer ist die Induktionsspannung. Je schneller sich die Stärke des Magnetfelds in der Leiterschleife ändert, desto größer ist die Induktionsspannung. Verwendet man eine Spule statt einer Leiterschleife, so gilt: Je mehr Windungen die Spule besitzt, desto größer ist die Induktionsspannung.

- c) Mögliche Lösung:

Der Hufeisenmagnet liefert das notwendige Magnetfeld. Die Leiterschleife wird so zwischen den Polen des Magneten platziert, dass sich beim Drehen dauernd die Stellung der Querschnittsfläche zu den Magnetfeldlinien ändert. Dreht



man nun die Leiterschleife, so wird zwischen den Enden eine Spannung induziert. Diese wird mithilfe von Schleifkontakten abgegriffen.

Generator und Elektromotor funktionieren nach dem identischen Prinzip, indem sie die Wirkung der Lorentzkraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld ausnutzen. Beim Motor sorgt sie dafür, dass die Leiterschleife aufgrund der Kraft auf die bewegten Ladungsträger rotiert, während beim Generator die Rotation z. B. mechanisch hervorgerufen wird und so aufgrund der Lorentzkraft eine Induktionsspannung entsteht.

- d) Hier sind verschiedene Lösungen möglich. Generell hat das Ausnutzen der Lorentzkraft bzw. in Folge dessen der Induktion dazu geführt, dass elektrische Energie in mechanische umgewandelt werden konnte und umgekehrt. Die so entwickelten Elektromotoren haben nicht nur stark zur Mobilität beigetragen, sondern konnten auch viele industrielle Prozesse revolutionieren. Besonders stark lässt sich der Einfluss bei normalen Haushalten beobachten: Elektrische Beleuchtung und Maschinen wie Radio und Telefon konnten sich nur aufgrund dieser Fortschritte so weit verbreiten. Anhand der Waschmaschine sieht man, dass sich der Alltag für viele Menschen enorm vereinfacht hat und dadurch mehr Zeit für andere Aktivitäten war, wie zum Beispiel für eine bessere Bildung.

- 5 a) Ein Transformator besteht aus zwei Spulen, die durch einen geschlossenen Eisenkernring miteinander verbunden sind. Diese Spulen nennt man Primär- und Sekundärspulen.

Legt man an die Primärspule eine Wechselspannung  $U_1$  an, so erzeugt diese ein sich dauernd änderndes Magnetfeld, das, durch den Eisenkern verstärkt, zur Sekundärspule geleitet wird und diese durchsetzt. Dadurch wird in der Sekundärspule eine Wechselspannung  $U_2$  induziert. Die beiden Spannung  $U_1$  und  $U_2$  verhalten sich dabei wie die Windungszahlen  $N_1$  und  $N_2$ , die Stromstärken  $I_1$  und  $I_2$  verhalten sich umgekehrt wie die Windungszahlen.

- b) Aufgrund der Energieerhaltung kann die elektrische Energie, die man auf der Sekundärseite erhält, nicht größer sein als die Energie, die man auf der Primärseite einsetzt. Im Idealfall gilt:  $E_1 = E_2$ .

Die elektrische Energie ist definiert als Produkt aus Leistung und Zeitspanne  $\Delta t$ .

Deshalb gilt für die Leistungen im Idealfall ebenfalls die Gleichung  $P_1 = P_2$ .

Folglich gilt:  $U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$ .

Wäre es nun möglich, gleichzeitig die Spannung und die Stromstärke hochzutransformieren, so würde  $P_2$  größer als  $P_1$  werden, was der Energieerhaltung widersprechen würde.

- c) Es gilt:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Daraus ergibt sich:  $N_2 = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = 1150 \cdot \frac{10 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 50$ .

Es gilt:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$

Daraus ergibt sich:  $I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 20 \text{ mA} \cdot \frac{230 \text{ V}}{10 \text{ V}} = 0,46 \text{ A}$

## A

$\alpha$ -Strahlung	114, 140
$\alpha$ -Teilchen	114, 140
$\alpha$ -Zerfall	115, 117, 122, 140
AAA-Regel	132, 133, 141
abgeschlossenes System	58, 72
Actio = Reactio	62, 64, 73
Anfangsgeschwindigkeit	83, 106
Anhalteweg	77
Anker	27
Anreicherung	124
Antineutrino	115, 117
Argumentationskette	27
Atomkern	116, 140

## B

$\beta$ -Strahlung	114, 140
$\beta$ -Teilchen	114
$\beta$ -Zerfall	115, 117, 140
Bahngeschwindigkeit	92, 107
Becquerel	112
Beschleunigung	
– negative	80, 98, 106
– positive	80, 98, 106
Beschleunigungsarbeit	96, 107
bewegte Ladung	22
binomische Formel	96
Breadboard	144
Bremsweg	77
Brennelement	124

## C

$\gamma$ -Strahlung	114, 115, 140
C-14 Methode	130, 141
chemisches Element	114
Curie	111, 112

## D

Dauermagnet	14, 21
Diode	38, 144, 150, 189
– Kennlinie	151
Dosimeter	113
Dotierung	149, 156, 189
Drahtschleife	16
Drehwinkel	36
Drei-Finger-Regel	20, 21, 22, 23, 52
Druckwasserreaktor	125, 186
Durchlassrichtung	150, 189
dynamoelektrisches Prinzip	37

## E

Edison	43
effektive Dosis	132, 141
Eigenleitung	148
Einstein	120

Eisenfeilspäne	15
Eisenkern	16, 27, 37
elektrischer Leiter	16
Elektroauto	44
Elektromagnet	16, 26
Elektromotor	24, 26, 42, 53
Elektron	114
Elektronenkanone	23
Elementarladung	116
Elementarmagnet	14
Energieerhaltung	34, 35, 59, 61, 96
Energieflussdiagramm	36
Energiewandler	36
Erdmagnetfeld	17
exponentieller Zerfall	128

## F

Fadenstrahlrohr	23
Fallbeschleunigung	86, 107
Faraday	30, 36
Feld	14, 52
Feldlinienmodell	15, 32, 52
ferromagnetischer Stoff	14
Fläche	
– Dreieck	80
– Trapez	80
Fotodiode	151
– Kennlinie	151
freie Ladungen	23
freier Fall	86, 107
– t-x-Diagramm	86, 107

## G

Geiger-Müller-Zählrohr	112, 113
Generator	36, 53
genetische Schäden	132, 141
gerader Leiter	33
Gesamtimpuls	58, 59, 72
Geschwindigkeit	78
Geschwindigkeitsänderung	92, 107
Geschwindigkeitspfeil	92, 107
Gleichstrom	38

## H

Halbleiter	144, 148, 189
– n	149, 150, 189
– p	149, 150, 189
Halbwertszeit	128, 141
Hauptgruppe	148, 189
Helium	114, 115
homogenes Magnetfeld	15, 16, 52
Hufeisenmagnet	15, 20

## I

Impuls	58, 59, 72
Impulserhaltung	59, 60, 61, 72
Impulserhaltungssatz	59, 60, 61, 64, 72
Impulspfeil	58, 72
Induktion	30, 53
Induktionsherd	39
Induktionsspannung	30, 32, 53
industrielle Revolution	42
induzieren	32
innere Energie	36, 40
ionisierende Wirkung	113
Isotop	114

## K

Kausalkette	34, 35, 37, 40
Kernkraftwerk	125
Kernladungszahl	114, 115, 140
Kernreaktor	124, 141
Kernspaltung	123, 124
Kernumwandlung	115, 140
Kettenreaktion	124, 141
Kommutator	26, 53
Komponenten	92
konstante Beschleunigung	80, 106, 107
– Bewegungsfunktion	83, 84, 96, 106, 107
– Geschwindigkeit	84, 106
– Ort	83, 106
– t-v-Diagramm	80, 98, 106, 107
– t-x-Diagramm	80, 106
konstante Geschwindigkeit	78, 106
– Bewegungsfunktion	82, 106
– Ort	82, 106
– t-v-Diagramm	79, 106
– t-x-Diagramm	78, 106
Koordinatenschreibweise	92
Kräftegleichgewicht	65, 73
Kristallgitter	148

## L

Ladungsträger	22
– positiv	22
– negativ	22
Lastwiderstand	41
Leiterschleife	26, 32, 33, 36, 53
Lenz, Regel von	35, 39
Leuchtdiode	145
Lichtgeschwindigkeit	120
Loch	148, 189
Lorentzkraft	22, 23, 52

## M

Magnet	14
Magnetfeld	14, 15, 21, 52
Magnetfeldlinie	16
Magnetfeldrichtung	15, 16, 20, 22, 52

magnetische Kraft	20, 21, 52	Rekombination	150, 156, 189	– belasteter	41
Magnetnadel	14, 15, 32, 52	Relativitätstheorie, spezielle	120	– idealer	40, 41, 53
Massendefekt	121, 122, 140	Rotor	26, 36, 37, 53	– realer	49
Masseneinheit, atomare	122, 140	Rutherford	114, 116	– unbelasteter	41
Massenzahl	114, 115, 140			– verlustfreier	41
Massenzunahme	120	<b>S</b>		Transistor	152, 156, 189
Messwerterfassungssystem	30	Satz des Pythagoras	92, 107	– npn	156, 189
Moderator	124, 141	Schleifkontakt	26, 52	– pnp	156, 189
<b>N</b>		Sekundärseite	40, 41, 53	– Basis	152, 157, 189
Nebelkammer	113	Sekundärspannung	40, 41	– Kollektor	152, 157, 189
Neutrino	115	Sekundärspule	40, 41	– Emittter	152, 157, 189
Neutron	114, 116	Sekundärstromstärke	41	– Wassermodell	157
Neutronenmasse	116	Sievert	132, 141	Tschernobyl	118
Newtonsches Gesetz	62, 64	somatische Schäden	132, 141	<b>U</b>	
Nukleon	116, 140	Spannungsübersetzung	41	Umpolung	26, 27
Nuklid	112, 114, 140	Sperrichtung	150, 189	Unipolarmotor	19
Nulleffekt	112	Sperrschicht	150, 156, 189	Uran	112, 123
Nutzwertanalyse	99	Spule	16, 33, 52	Ursache	34, 35
<b>O</b>		– Windung	33		
Ordnungszahl	114, 140	Stabmagnet	15, 16, 17, 32, 34	<b>V</b>	
<b>P</b>		Startort	82, 106	Valenzelektron	148
Parabel	80, 106	Stator	36, 37	<b>W</b>	
Parameter	30	Steigung	78, 106	waagrechtter Wurf	90, 92, 107
Permanentmagnet	14, 52	Steuerstab	124, 141	Waschmaschine	42
Pfeiladdition	58	Stoß	58	Wechselspannung	36
Photon	114	– eindimensionaler	60, 72	Wechselstrom	39, 40
p-n-Übergang	150, 189	– elastischer	60, 61, 72	Wechselwirkungsgesetz	63, 64, 65, 73
Pol	14, 15	– inelastischer	61	Wechselwirkungskraft	65, 73
– Nordpol	14, 15, 17, 52	– nichtzentraler	67, 69	Windungszahl	40, 41
– Südpol	14, 15, 17, 52	– unelastischer	61, 72	Wirbelstrom	48, 162
Polschuh	37	– vollkommen unelastischer	61, 72	Wirkungsgrad	36, 47, 49
Positron	114	Strahlenbelastung		<b>Z</b>	
Primärseite	40, 41, 53	– künstliche	133	Zerfallsgesetz	128, 141
Primärspannung	40, 41	– natürliche	112, 133	Zerfallsgleichung	115
Primärspule	40, 41	Strahlenschutz	132	Zerfallskurve	128
Primärstromstärke	41	Strahlung		zurückgelegte Strecke	78
Probekörper	14, 52	– $\alpha$	114, 140	zweidimensionaler Stoß	58, 72
Proton	114, 116	– $\beta$	114, 140		
Protonenmasse	116	– $\gamma$	114, 115, 140		
<b>Q</b>		– kosmische	112		
Quark	116, 140	– radioaktive	112		
– Down	116, 140	– terrestrische	112		
– Up	116, 140	Streuzentrum	116		
Q-Wert	122, 140	stromdurchflossener Leiter	20, 22		
<b>R</b>		Stromkrieg	43		
radioaktive Strahlung	112	Stromrichtung	16, 20		
Radioaktivität	110, 112, 140	Stromübersetzung	41		
Radiokarbonmethode	130, 141	Symbolschreibweise	114		
Radionuklid	112	<b>T</b>			
Reaktionsweg	77	Taster	146		
Rechte-Faust-Regel	16, 52	Tesla	43		
		Tochterkern	122, 124		
		Trägheitssatz	62		
		Transformator	40, 41, 53		

AdobeStock / ARochau - S. 71, 198; - / Fotoimpressionen - S. 136; - / Dario Lo Presti - S. 113; - / Albert Lozano-Nieto - S. 113; - / rechnerkunst.de - S. 95; - / UT - S. 78; © Airbus - S. 179; bpk-Bildagentur - S. 44; Bundesamt für Strahlenschutz - S. 112; Rainer Dietrich, Schweinfurt - S. 24, 46, 143, 149 [2], 158, 163, 166 [2], 174 [2]; - / Programm Magnetpendel, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Universität Würzburg - S. 173; Susanne Dührkoop, Ingolstadt - S. 148 [2]; Stephan Feuerfeil, Großheirath - S. 19; Frank Finkenberg, Würzburg - S. 24, 28, 29 [2], 30 [3], 33, 34, 35, 38, 46, 48 [2]; <https://fritzing.org> - S. 158, 159 [2], 161; Getty Images Plus / Creatas - S. 47; - / iStock Editorial, Rudimencial - S. 162; - / iStockphoto, 007ea8\_930 - S. 179; - / iStockphoto, aapsky - S. 11, 28; - / iStockphoto, AlexLMX - S. 134; - / iStockphoto, Biletskiy\_Evgeniy - S. 10, 12, 135; - / iStockphoto, Blackzheep - S. 28; - / iStockphoto, Evgeny Bagautdinov - S. 40; - / iStockphoto, Natt Boonyatecha - S. 23; - / iStockphoto, Joseph Calomeni - S. 63; - / iStockphoto, Carmian - S. 143, 170; - / iStockphoto, Circle Creative Studio - S. 87; - / iStockphoto, Comstock Images - S. 97; - / iStockphoto, CUTWORLD - S. 112; - / iStockphoto, Darkdiamond67 - S. 163; - / iStockphoto, dennisrdw - S. 134; - / iStockphoto, dianazh - S. 34; - / iStockphoto, diane39 - S. 75, 88; - / iStockphoto, dottedhippo - Cover, S. 56, 134; - / iStockphoto, Dr\_Microbe - S. 132; - / iStockphoto, DragonImages - S. 66; - / iStockphoto, dzika\_mrowka - S. 121; - / iStockphoto, Evgeny555 - S. 71, 198; - / iStockphoto, fotosuper - S. 54, 56; - / iStockphoto, FS-Stock - S. 66; - / iStockphoto, FXQuadro - S. 105; - / iStockphoto, Hramovnick - S. 37; - / iStockphoto, jotily - S. 127; - / iStockphoto, Ladislav Kubeš - S. 10, 18, 143; - / iStockphoto, Lüthliita - S. 178; - / iStockphoto, Sven Loeffler - S. 44; - / iStockphoto, luisirspphoto - S. Cover; - / iStockphoto, mariusz\_prusaczyk - S. 131; - / iStockphoto, michelangeloop - S. 55, 62; - / iStockphoto, mihtiander - S. 66; - / iStockphoto, mik38 - S. 185; - / iStockphoto, M-Production - S. 164; - / iStockphoto, Donald Miralle - S. 90; - / iStockphoto, oksix - S. 143; - / iStockphoto, panoram - S. 137; - / iStockphoto, pippee - S. 15; - / iStockphoto, rlat - S. 93; - / iStockphoto, Robert Roka - S. 71, 198; - / iStockphoto, RobertCrum - S. 63; - / iStockphoto, shironosov - S. 143, 184; - / iStockphoto, Stacy\_Pospelova - S. 100; - / iStockphoto, Stock Depot - S. 187; - / iStockphoto, supergenijalac - S. 75, 94; - / iStockphoto, thakengsak - S. 144; - / iStockphoto, thamerpic - S. 173; - / iStockphoto, tommaso79 - S. 67; - / iStockphoto, utah778 - S. 108, 110; - / iStockphoto, vladacanon - S. 68; - / iStockphoto, vlastas - S. 109, 118; - / iStockphoto, Wlad74 - S. 125, U4; - / iStockphoto, x4wiz - S. 97; - / iStockphoto, yevtony - S. 74, 76; - / iStockphoto, zlikovec - S. 109, 126; GSC International / Jessica Acheson - S. 35; Lisa Hepp, Hallstadt - S. 66; IFW Dresden - S. 143, 162; Rüdiger Janner, Heilsbronn - S. 164, 166, 167; Wilhelm Lotz, Marburg - S. 42 [2]; Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Archivah - S. 110, 138; - / Alamy Stock Photo, Steve bly - S. 94; - / Alamy Stock Photo, BrazilPhotos - S. 187; - / Alamy Stock Photo, Paul Doyle - S. 155; - / Alamy Stock Photo, GL Archive - S. 121; - / Alamy Stock Photo, IanDagnall Computing - S. 43, 111; - / Science Faction, Library of Congress - S. 120; picture-alliance / dpa - S. 118; - / epa PA - S. 130, 141; - / Peter Endig - S. 183; - / Tobias Kleinschmidt - S. 124; - / Süddeutsche Zeitung Photo, Heddergott, Andreas - S. 124; - / Gladys Chai von der Laage - S. 143, 168; - / Xinhua News Agency, Liu Junxi - S. 143, 188; Stefan Richtberg, CC BY 3.0 DE - S. 19; Wolfgang Riffelmacher, Roth - S. 89; Science Photo Library / EYE OF SCIENCE - S. 143, 179; - / IBM Research - S. 182 [2]; - / Kaulitzki, Sebastian - S. 179; - / Science Source, Alexandre Dotto - S. 12; - / Winters, Charles D. - S. 12; Shutterstock / ersin ergin - S. 11, 38, 39; - / khak - S. 142, 144; - / Wongsakorn Napaeng - S. 145; <https://medienportal.siemens-stiftung.org/100668>, © Siemens Stiftung 2017, lizenziert unter CC BY-SA 4.0 international - S. 49; Frederik Töpfer, Bamberg - S. 126, 164; [www.coastersandmore.de](http://www.coastersandmore.de) / Jochen Peschel - S. 162; [www.wikimedia.org](http://www.wikimedia.org) - S. 113; Stefan Wildner, Fürth - S. 71.



67050

ISBN 978-3-661-67050-8



9 783661 670508