

Elisabeth Dietrich
Margit Luisser
Jürgen Neuwirth
Mario Pitschmann
Walpurga Scheibstock
Johannes Schuh

Spannende Physik Band 3

Lehrbuch der Physik für die 4. Klasse
der (Neuen) Mittelschulen und AHS

Aktualisierte Auflage

Mit Illustrationen von Uwe Alfer und Angelika Kramer

© 2019 E. Weber Verlag GmbH, A 7000 Eisenstadt

Alle Rechte vorbehalten: Nachdruck sowie auszugsweise Vervielfältigung, Übertragung auf
Ton-, Bild- und Datenträgern nur mit Genehmigung des Verlages.

Inhaltsverzeichnis

Seite im Lehrbuch Seite im Arbeitsteil

Kapitel 1: Elektrizität bestimmt unser Leben

1. Elektrotechnik verändert die Gesellschaft	4	
2. Magnetismus	6	Seite 3
3. Magnetfeld und magnetische Influenz	8	Seite 4
4. Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters	10	Seite 5
5. Anwendungen von Elektromagneten	12	
6. Das Drehspul-Messgerät (Erweiterungsstoff)	14	
7. Der Elektromotor	15	Seite 6
8. Die elektromagnetische Induktion	16	Seite 7
9. Der Wechselstromgenerator	18	Seite 8
10. Der Transformator	20	Seite 9
11. Transformatoren in der Praxis	22	
12. Der Drehstrom	24	Seite 11
13. Der Weg der elektrischen Energie bis zum Verbraucher	25	Seite 12
14. Elektrische Energie für Haushalt und Industrie	26	Seite 13
15. Die Gefahren des elektrischen Stromes und sicherheitsbewusstes Handeln	28	Seite 15
16. Grundlagen der Elektrotechnik (Erweiterungsstoff)		
16.1. Halbleiter	30	Seite 16
16.2. Die Diode	32	Seite 17
16.3. Der Transistor	33	
16.4. Der Kondensator	35	Seite 18
16.5. Datenübertragung durch Funk	36	Seite 19
16.6. Mikrofon und Lautsprecher	38	Seite 20
16.7. Mobiltelefone	40	Seite 21
16.8. Informationsspeicherung	42	Seite 22
16.9. Mikroelektronik und Computertechnik	44	Seite 23

Kapitel 2: Die Welt des Sichtbaren

1. Lichtquellen und Lichtausbreitung	46	Seite 24
2. Schatten und Finsternisse	48	Seite 25
3. Reflexion des Lichtes	50	Seite 26
4. Bildentstehung am ebenen Spiegel	52	Seite 27
5. Der Hohlspiegel (Konkavspiegel)	54	Seite 28
6. Der Wölbspiegel (Konvexspiegel)	56	Seite 29
7. Die Lichtbrechung	58	Seite 30
8. Die Totalreflexion	60	Seite 31
9. Optische Linsen	62	Seite 32
10. Das menschliche Auge	64	Seite 33
11. Optische Geräte	66	Seite 34
12. Licht und seine Farbzusammensetzung	68	Seite 35
13. Farbmischungen	70	Seite 36
14. Körperfarben	72	Seite 37

Kapitel 3: Gekrümmte Wege auf der Erde und im Weltall

1. Kräfte und Bewegung	74	Seite 38
2. Der freie Fall	76	Seite 39
3. Gekrümmte Wege	78	Seite 40
4. Die Gravitation	80	Seite 41
5. Planeten und Satelliten	82	Seite 42
6. Der Weltraum (Erweiterungsstoff)	84	

Kapitel 4: Das radioaktive Verhalten der Materie

1. Atome und Isotope	86	Seite 43
2. Radioaktivität	88	Seite 44
3. Halbwertszeiten radioaktiver Stoffe	90	Seite 45
4. Die Gefahren der Radioaktivität	92	Seite 46
5. Nützliche Radioaktivität	94	Seite 47
6. Kernspaltung und Kernverschmelzung – Energie aus dem Atomkern	96	Seite 48
7. Kernreaktoren	98	Seite 49

Lernzielkontrollen 100

Lösungen Lernzielkontrollen 124

Das Lern- und Lehrpaket "Spannende Physik" besteht aus zwei Büchern. Im **Lehrbuch** werden die Wissensgrundlagen bereitgestellt und mit Versuchen und Rechercheaufgaben gemäß den Anforderungen der Inhaltsdimension des Kompetenzmodells Naturwissenschaften erarbeitet. Die im Lehrbuch dargestellten Inhalte orientieren sich am Lehrplan für die 4. Klasse Physik an AHS und (N)MS in der aktuellen Fassung. Im **Arbeitsbuch** werden die Inhalte mit nach den Anforderungsniveaus und Handlungsdimensionen des Kompetenzmodells gekennzeichneten Arbeitsaufgaben gefestigt und weiter ausgebaut.

In den Naturwissenschaften Physik, Biologie und Chemie sind Experimente ein wichtiger Teil der Forschung. Das heißt, dass auch du im Unterricht und zu Hause experimentieren darfst, um physikalische Vorgänge und Gesetze zu erforschen. Aber Achtung: Bevor du mit einem Experiment beginnst, solltest du genau planen, was du machen möchtest und wie du dein Experiment durchführst. Du musst wissen, welche Geräte und Materialien du brauchst und wo du gefahrlos experimentieren kannst.

Beachte daher bitte die folgenden Regeln:

1. Bei jedem Versuch, bei dem es vorgeschrieben ist, muss eine Schutzbrille getragen werden. Eine normale Brille oder Kontaktlinsen sind als Schutz nicht ausreichend!
2. Du solltest wissen, wo sich geeignete Sicherheitseinrichtungen (Feuerlöscher, Löschdecke) und der Erste-Hilfe-Kasten befinden.
3. Essen und Trinken sind im Labor und bei der Versuchsdurchführung verboten.
4. Zu deiner eigenen Sicherheit solltest du geeignete Kleidung tragen, die dich vor Verbrennungen oder anderen Verletzungen schützt.
5. Lange Haare stets nach hinten binden (Brandgefahr bei Versuchen mit offenem Feuer)
6. Offene Flammen müssen immer von gelagerten, leichtentzündlichen Stoffen ferngehalten werden.
7. Bei Versuchen, in denen Flüssigkeiten in Reagenzgläsern erhitzt werden, musst du immer die Öffnung des Glases vom Körper weg zeigen lassen und genügend Abstand zu anderen Personen halten. Das Reagenzglas muss schräg gehalten und langsam hin und her bewegt werden, damit der Stoff gleichmäßig erhitzt wird.
8. Nach jedem Versuch müssen dein Arbeitsplatz und deine Arbeitsgeräte gründlich gereinigt werden.
9. Vor jedem Versuch musst du dich über die Gefahren der verwendeten Stoffe und Materialien informieren. Gefahrensymbole helfen dir dabei, eventuelle Gefahren abzuschätzen.



entzündlich



ätzend



Gesundheitsgefahr



giftig



reizend



umweltgefährlich



Explosionsgefahr

In diesem Buch findest du viele Experimente, die du selbst durchführen sollst. Einige wenige Experimente, die nur von einer Lehrkraft als Schauversuch vorgezeigt werden sollen, sind eigens gekennzeichnet mit dem Hinweis LEHRVERSUCH „LV“.



Verwende eine Schutzbrille!



Mache dich mit den von dir verwendeten Messinstrumenten vertraut, bevor du einen Versuch durchführst.



Weißt du, wo du in deiner Schule Feuerlöscher und Erste-Hilfe-Kasten findest?

Experimente planen und durchführen

Als Grundlage für die Versuchsvorbereitung dient das Versuchsprotokoll. Wir haben für dich eine Vorlage zusammengestellt, die dir dabei helfen soll, Versuche zu planen und durchzuführen.

Protokoll

Thema:

Name:

Datum:

Aufgabe:	+ Formuliere eine Aufgabenstellung oder notiere die vorgegebene Aufgabenstellung! (mögliche Formulierungen (Operatoren): „Ich untersuche ...“, „Ich bestimme ...“)
Vorbereitung:	+ Sammele bekanntes Wissen zum Thema oder Sachverhalt! + Ordne und strukturiere das Wissen anschaulich! + Löse eventuell Aufgaben zur Vorbereitung! + Entwickle eine Vermutung oder formuliere eine experimentell prüfbare Einzelaussage (z. B. „Wenn-dann-Satz“) Plane das Experiment. Beachte Sicherheitsbestimmungen und Gefahrenpotentiale! (Skizzen/Schaltpläne/Messwerttabellen)
Geräte / Hilfsmittel: Arbeitsplatz	+ Was benötigst du alles? Wo führst du das Experiment durch? + Achte auf Vollständigkeit!
Durchführung:	+ Skizziere den Versuchsaufbau oder -ablauf! oder + Notiere stichwortartig den Versuchsablauf!
Führe das Experiment durch!	
Beobachtung/ Messwernerfassung:	Notiere Beobachtungen (alle Empfindungen, die mit deinen Sinnesorganen wahrnehmbar sind) und Messwerte!
Auswertung:	+ Werte die Messwerte/Beobachtung aus! (mit Diagrammen und Berechnungen) + Vergleiche mit der experimentell prüfbaren Einzelaussage! + Erfülle vorgegebene Aufgabenstellungen! (z. B. Reaktionsgleichungen aufstellen) + Formuliere ein Ergebnis! + Bewerte unter Berücksichtigung möglicher Fehler das Ergebnis! Ein zufälliger Fehler liegt dann vor, wenn Messwerte bei wiederholten Messungen trotz gleicher Bedingungen häufig unterschiedlich sind, ohne dass die Ursache im Nachhinein noch festgestellt werden könnte. Grund dafür können menschliche Fehler oder ungenaue Messgeräte sein. Ein systematischer Fehler wird in der Regel durch einen Fehler bei Planung, Aufbau oder Durchführung des Experimentes hervorgerufen. Man erkennt ihn daran, dass er wiederholbar ist. Das heißt, bei wiederholter Messung, auch unter leicht abgeänderten Bedingungen, ist der Fehler immer gleich groß. Stelle dir vor, du hast ein Lineal, bei dem die Millimeterstriche nicht genau im Abstand von einem Millimeter gesetzt sind. Dann kann dein Messergebnis natürlich nicht exakt sein und das Versuchsergebnis ist somit nicht genau.

Verwende diese Vorlage für deine eigenen Versuche im Laufe dieses Schuljahres. Vergleiche auch von Zeit zu Zeit deine Aufzeichnungen mit denen deiner Mitschülerinnen und Mitschüler.

Protokoll

Thema:

Name:

Datum:

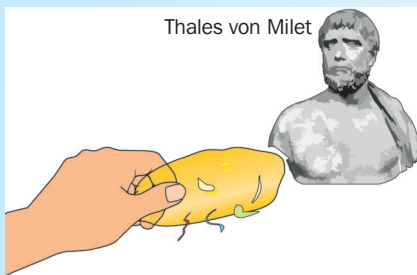
Aufgabe:	
Vorbereitung:	
Geräte / Hilfsmittel: Arbeitsplatz	
Durchführung:	
Beobachtung/ Messwertaufzeichnung:	
Auswertung:	

1. Elektrotechnik verändert die Gesellschaft

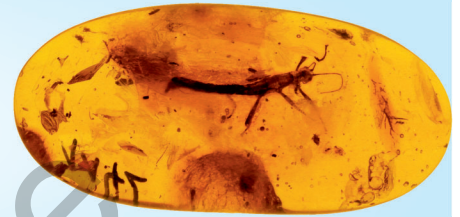
Zahlreiche elektrotechnische Erfindungen und Weiterentwicklungen haben unseren Alltag sicherer, komfortabler und abwechslungsreicher gemacht. Für uns Menschen wurde eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten geschaffen, aber auch das gesellschaftliche Zusammenleben wesentlich verändert. Man denke nur an die Übertragung von Daten und deren Speicherung oder an die zahlreichen Unterhaltungsmedien. Nicht nur Freizeit sondern auch die Berufswelt erfuhren dadurch starke Veränderungen.

Einige nachfolgend genannte Entwicklungen sollen dir zeigen, welche Bedeutung die technische Nutzung des elektrischen Stromes hatte und welche gesellschaftlichen Veränderungen mit dieser Nutzung einhergingen.

Die Anfänge



Hast du schon einmal beim Streicheln einer Katze oder beim Aussteigen aus dem Auto einen „elektrischen Schlag“ bekommen? Fallen dir noch andere ähnliche Beispiele ein? Diese Art der Elektrizität nennt man **Reibungselektrizität**. Sie wurde bereits sehr früh – um 590 v. Chr. – entdeckt. Der griechische Philosoph und Naturwissenschaftler Thales von Milet soll der Erste gewesen sein, der diese Reibungselektrizität bei Bernstein erkannt hat.



Ein Stück Bernstein

Von den Griechen der Antike wurde Bernstein als „**electron**“ bezeichnet. Der Begriff „**Elektrik**“ leitet sich davon ab. Suche im Internet nach Eigenschaften von Bernstein. Mache dazu Notizen in dein Heft.

Überlege dir mit einem Kamm aus Kunststoff und deinem Körper einen Versuch zur Reibungselektrizität!

Eine gezielte Anwendung der Elektrizität erfolgte erst am Beginn der Neuzeit nach 1600.

Der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke (1602–1686) erfand sogar eine Elektrysiermaschine (einfacher elektrostatischer Generator / Stromerzeuger). Diese ersten Elektrysiermaschinen wurden hauptsächlich zur Belustigung und Unterhaltung der Gesellschaft verwendet.

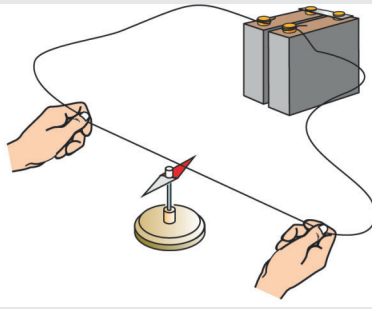


Der elektrische Kuss

Im 18. Jh. war der „**elektrische Kuss**“ sehr beliebt und diente als gesellschaftliches Amüsement.

Recherchiere im Internet, was man darunter versteht und welcher unbewussten Gefahr sich die Menschen dadurch aussetzten.

Um aus den elektrostatischen „Stromerzeugern“ der Neuzeit heutige moderne Generatoren zu entwickeln, bedurfte es noch sehr viel Forschungsarbeit. Neben der Stromerzeugung mit Generatoren gibt es aber auch andere Möglichkeiten der Stromerzeugung. Welche fallen dir dazu ein?



Entdeckung:

Fließt durch einen Leiter Strom, wird eine Magnethöhle abgelenkt.

1820 erkannte der Naturforscher Hans Christian Oersted (1777–1851) erstmals den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus. Diese Erkenntnis wurde von anderen Wissenschaftlern weiterentwickelt, was zu großartigen Ergebnissen führte.



Schrottbeseitigung durch Magnetkraft

Die Funktion von **Elektromotoren** (Stromverbraucher) und **Generatoren** (Stromerzeuger) beruht auf dem Zusammenhang zwischen elektrischem Strom und Magnetismus. Überlege dir Beispiele für Geräte, bei welchen elektrische Motoren zum Antrieb erforderlich sind.

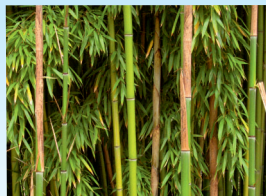
Entwicklung der Leuchtmittel:

Offene Flammen

- Kienspan
- Fackel
- Öllampe
- Wachskerzen
- Gaslicht

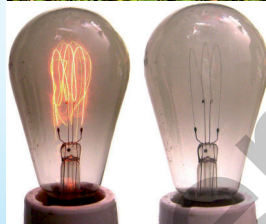
Elektrisches Licht

- Glühlampen mit verkohlter Bambusfaser
- Kohlefadenglühlampe
- Metallfadenglühlampe ...



wachsende Bambuspflanzen

(Bambusfasern wurden durch Verkohlung bei sehr hohen Temperaturen zu Glühfäden verarbeitet)

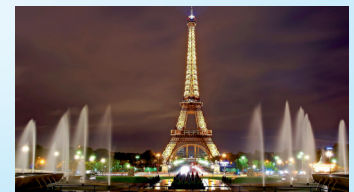


Kohlefadenglühlampen

(Glühfäden aus verkohlten Nähfäden oder Pflanzenfasern)

Moderne Leuchtmittel

Von den ersten Glühlampen, die Mitte des 19. Jhdts. erfunden wurden, bis zu den heutigen modernen Beleuchtungseinrichtungen wurde viel Entwicklungsarbeit geleistet.



Künstlerische Gestaltung mit Licht

In welchem Jahr wurde die erste elektrische Straßenbeleuchtung in Europa installiert? Recherchiere im Internet.

Elektrizität wurde zunächst als reiner Lichtspender betrachtet. Elektrische Geräte gab es am Anfang des 20. Jh. kaum. Der elektrische Strom wurde im Volksmund daher als „das Licht“ bezeichnet. Licht war zunächst Luxusgut für reiche Bürger.



Kraftwerk Simmering – größtes Wärmekraftwerk Österreichs

Der „Einzug“ der Elektrizität wurde mit „Verminderung von Brandgefahr durch offene Flammen und Geruchsreduzierung“ beworben. Das erste öffentliche Elektrizitätswerk in Österreich wurde 1886 in Scheibbs (NÖ) errichtet.

Zunächst sah man nur die vielen Vorteile der Stromerzeugung in Elektrizitätswerken. Gefahren für Umwelt und Gesundheit durch Strom aus Kohlekraftwerken oder Wasserstauwerken wurden zunächst nicht wahrgenommen. Welche möglichen Probleme fallen dir dazu ein?

Das digitale Zeitalter

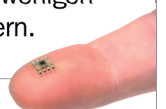
Kurz nach dem Jahr 2000 wurden erstmals mehr Informationen digital als analog gespeichert.

Die Nutzung von Elektrizität und Magnetismus macht auch die Errungenschaften im digitalen Zeitalter möglich.

Personal Computer und viele andere digitale Geräte erobern die Welt. Die Erfindung des **Mikrochips** machte dies möglich. Weltweite Kommunikationsnetze werden aufgebaut!

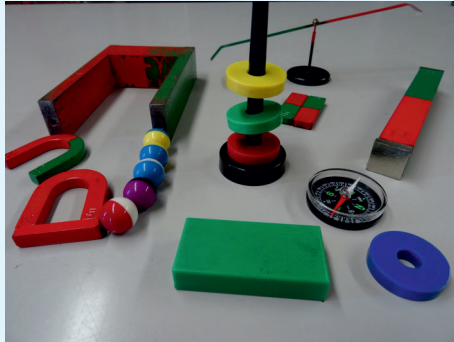
Ein Mikrochip enthält Schaltungen mit vielen Milliarden elektronischer Bauelemente auf nur wenigen Quadratmillimetern.

Welche digitalen Geräte / Medien kennst du?

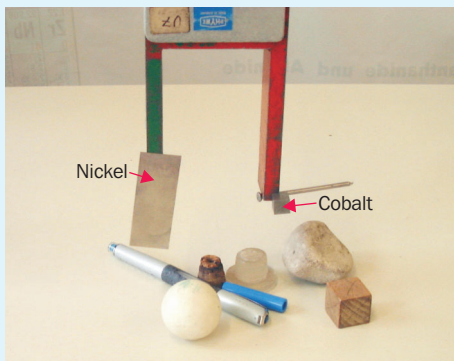




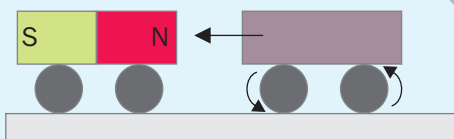
6.1. Magneteisenstein



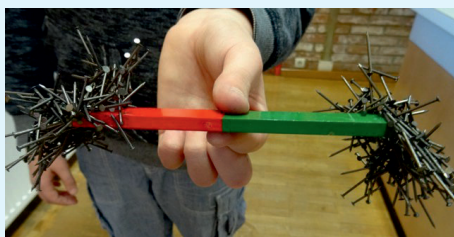
6.2. Verschieden geformte Magnete



6.3. Ein Magnet zieht nur Gegenstände aus Eisen, Nickel und Kobalt an.



6.4. Zwischen Magnet und Eisen besteht eine Wechselwirkung.



6.5. Ein Magnet hat die stärkste Anziehungskraft an seinen Polen.

2. Magnetismus

Beobachtung im Alltag

- Eine Kompassnadel stellt sich immer in die gleiche Richtung ein.
- An manchen Wandtafeln kann man mit bunten Knöpfen Papier befestigen.
- Manche Schrank- und Taschenverschlüsse schließen sich scheinbar von selbst.

Das Erz Magneteisenstein ist ein natürlicher Magnet. Seine „geheimnisvollen“ Kräfte kannte man schon im Altertum.

Heute stellt man Magnete künstlich aus Metallmischungen her. Diese können z. B. Eisen, Kobalt, Nickel, Vanadium, Chrom, Cer oder Aluminium enthalten. Magnete können unterschiedlich geformt sein. Es gibt Stabmagnete, Hufeisenmagnete, Ringmagnete, Magneten ... (Abb. 6.2.). Über den QR-Code bei Abbildung 6.1. findest du Informationen über die Geschichte der Magneten.

Wie wirken magnetische Anziehungskräfte?

V1: Nähere einen Stabmagneten an Gegenstände aus verschiedenen Materialien, z. B. Kugelschreiber, Münzen, Lineal, Holzstück, Kreide, Nagel, Stein (Abb. 6.3.).

Nicht alle Gegenstände werden von Magneten angezogen. Ein Magnet übt jedoch immer Kräfte auf andere Magnete aus und zieht Gegenstände aus Eisen (lat. ferrum) an. Auch Materialien wie Nickel, Kobalt und deren Legierungen (Metallmischungen) werden von einem Magneten angezogen. Deshalb werden solche Materialien auch als ferromagnetische Stoffe bezeichnet.

V2: Lege einen Eisennagel auf den Tisch. Nähere langsam von oben einen Stabmagneten. Was beobachtest du?

Bei V2 springt der Nagel hoch. Die magnetische Kraft wirkt also auch über eine Distanz, nimmt aber mit der Entfernung ab.

V3: Befestige mit einem Klebeband einen Stabmagneten auf dem Dach eines kleinen Spielzeugautos. Bringe in gleicher Weise auf einem ähnlichen Auto ein Eisenstück an, das etwa so groß ist wie der Stabmagnet (vgl. Abb. 6.4.). Stelle die beiden Autos so auf, dass der Abstand zwischen Magnet und Eisenstück ca. 5 cm beträgt. Halte nun das Auto mit dem Magneten fest und lasse das andere los. Das Auto mit dem Eisenstück bewegt sich. Nun hältst du das Auto mit dem Eisenstück fest und lässt das Auto mit dem Magneten los. Beobachte!

Die Anziehung zwischen Eisen und Magnet ist eine gegenseitige. Man spricht von **Wechselwirkung**.

Magnete ziehen Körper aus Eisen, Nickel und Kobalt an. Diese Anziehungskraft wirkt stets gegenseitig (Wechselwirkung) und auch aus der Entfernung. Sie nimmt jedoch mit der Entfernung ab.

Was sind Magnetpole?

V4: Lege einen Stab- oder einen Hufeisenmagneten in ein Häufchen kleiner Nägel und hebe den Magneten langsam hoch. Wo bleiben die meisten Nägel hängen?

Mit V4 erkennst du, dass die Nägel überwiegend an den beiden Enden des Magneten hängen bleiben (Abb. 6.5.). Diese Stellen mit der stärksten Anziehungskraft nennt man **Pole**. Man kann die beiden Magnetpole weder nach ihrem Aussehen noch nach der Stärke ihrer Anziehungskraft unterscheiden. Um einen Unterschied zu erkennen, muss man den Magneten beweglich machen.

V5: Hänge einen Stabmagneten an einem Faden so auf, dass er sich in der waagrechten Ebene frei drehen kann. Warte ab, bis der Magnet zur Ruhe kommt. Merke dir die Ausrichtung des Magneten! Lass den Magneten erneut drehen, zur Ruhe kommen und beobachte wieder die Ausrichtung!

Wie du mit V5 feststellen kannst, zeigen die Pole eines frei beweglichen Magneten immer in die gleiche Richtung. Sie richten sich am Magnetfeld der Erde aus. Ein Pol zeigt nach Norden. Er wird daher **Nordpol (N)** genannt. Der andere Pol zeigt in die südliche Richtung und wird daher **Südpol (S)** genannt. Dieser Effekt wird beim **Kompass** genutzt. Ein Kompass besteht aus einer leicht drehbaren Magnetnadel, die über einer Windrose angebracht ist (Abb. 7.3). Er wird z. B. in Schiffen zur Richtungsbestimmung benutzt.

Die beiden Stellen eines Magneten mit der stärksten Anziehungskraft nennen wir Magnetpole. Es gibt einen Nordpol und einen Südpol.

Wie verhalten sich die magnetischen Pole zueinander?

Ein Sprichwort besagt: „Gegensätze ziehen sich an.“ Dass dies auch für Magnete gilt, zeigt der nächste Versuch.

V6: Nähere dem Nordpol einer Magnetnadel abwechselnd beide Pole eines Stabmagneten. Wiederhole den Versuch mit dem Südpol der Magnetnadel!

V6 lässt erkennen, dass gleichnamige Pole (N und N bzw. S und S) einander abstoßen, während ungleichnamige Pole (N und S) einander anziehen. Beim **Kompass** wird genau diese anziehende und abstoßende Wirkung der Magnetpole zueinander genutzt.

Wo befindet sich der magnetische Nordpol der Erde?

Wie du in V6 gesehen hast, stellt sich ein frei beweglicher Magnet immer in die Nord-Süd-Richtung ein. Der Grund dafür ist, dass die Erde ein Magnetfeld besitzt und sich wie ein riesiger Stabmagnet verhält. Den Pol eines frei beweglichen Magneten, der nach Norden zeigt, nennen wir Nordpol. Da sich ungleichnamige Pole anziehen, wird der Nordpol von Magneten gerade vom magnetischen Südpol der Erde angezogen und der Südpol unseres Stabmagneten vom magnetischen Nordpol der Erde. Der magnetische Nordpol der Erde liegt also am geografischen Südpol und umgekehrt (Abb. 7.2., siehe auch S. 9).

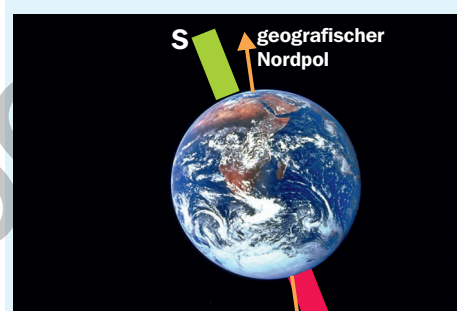
Gleichnamige Magnetpole stoßen einander ab. Ungleichnamige Magnetpole ziehen einander an. Der magnetische Nordpol der Erde liegt am geografischen Südpol.

Gut zu wissen ...

- Zugvögel orientieren sich bei ihren weiten Flügen am Magnetfeld der Erde (Abb. 7.4.).
- Bei der Erscheinung der Polarlichter spielt das Erdmagnetfeld eine Rolle.
- Magnete können unser Leben komfortabel machen: Schnapper an Schranktüren, magnetische Pinnwände, magnetische Halterungen ...
- Magnete befinden sich in Computern, Fernsehern, Radios, Türklingeln ...



7.1. Schwebende Magnetringe zeigen die abstoßenden Kräfte zwischen den gleichnamigen Polen.



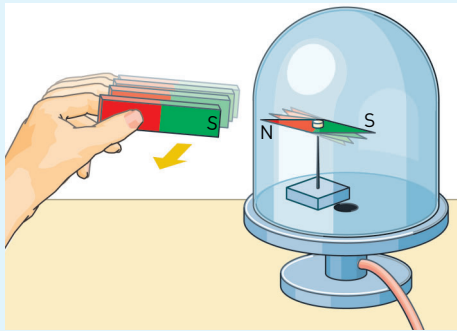
7.2. Der magnetische Südpol der Erde liegt in der Nähe des geografischen Nordpols und umgekehrt.



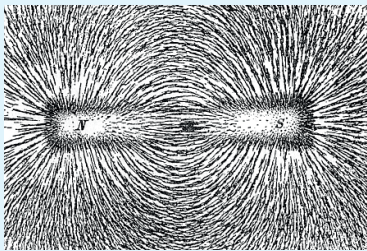
7.3. Kompass: Dreht man das Gehäuse so lange bis die Markierung „N“ mit dem Nordpol der Magnetnadel übereinstimmt, dann zeigt die Windrose die Himmelsrichtungen an.



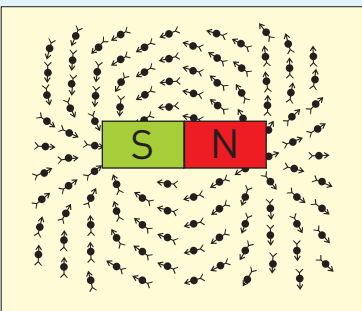
7.4. Zugvögel nehmen das Magnetfeld der Erde wahr.



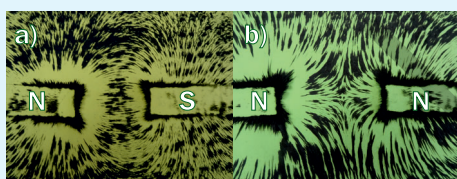
8.1. Zur Beeinflussung der Magnetnadel mit einem Magneten ist weder ein direkter Kontakt noch ein dazwischenliegendes Medium erforderlich.



8.2. Feldlinien eines Stabmagneten

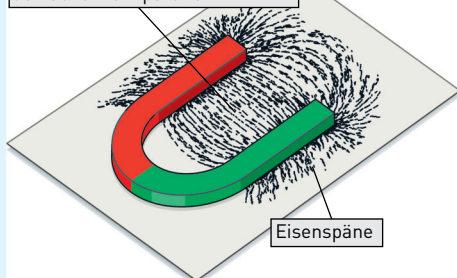


8.3. Die kleinen Magnetnadeln richten sich entlang der magnetischen Feldlinien aus.



8.4. a) Ungleichnamige Pole – Feldlinien verlaufen von Pol zu Pol
b) Gleichnamige Pole – Feldlinien scheinen einander wegzudrängen

Die Feldlinien verlaufen zwischen den Schenkeln parallel.



8.5. Zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten liegen die Feldlinien parallel und gleich dicht. Ein solches Feld nennt man homogen.

3. Magnetfeld und magnetische Influenz

Beobachtung im Alltag

- Manchmal hängt sich eine Schraube an einen Schraubenzieher an, ohne dass sie vorher von diesem berührt wurde.
- Es kommt vor, dass ein eigentlich unmagnetischer Eisennagel plötzlich andere Nägel an sich ziehen kann.

Was versteht man unter dem Begriff Magnetfeld?

V1: Bringe einen Magneten in die Nähe einer kleinen Magnetnadel. Beobachte! Platziere dann die Magnetnadel unter der Glasglocke einer Vakuumpumpe und sauge die Luft aus der Glocke ab (Abb. 8.1.). Nähere den Magneten erneut! Hat die Luft Einfluss auf das Verhalten der Magnetnadel gehabt?

In beiden Fällen wird die Magnetnadel nur durch Annäherung des Magneten bewegt. Um die Magnetnadel zu bewegen, ist weder ein direkter Kontakt mit dem Magneten noch ein dazwischen liegendes Medium, wie z. B. Luft, notwendig (Abb. 8.1.). Die Anziehungskraft eines Magneten auf andere Magnete und ferromagnetische Stoffe wirkt auch über eine Entfernung. Die Wirkung nimmt jedoch mit der Entfernung ab. Die nächsten Versuche sollen die Umgebung um einen Magneten veranschaulichen.

V2: Lege eine Glasplatte oder ein Stück Karton über einen Stabmagneten. Bestreue die Platte mit Eisenspänen. Beobachte! (Abb. 8.2.) Stelle auch kleine Magnetnadeln auf die Glasplatte und beobachte deren Ausrichtung! (Abb. 8.3.)

Die Eisenspäne und die Magnetnadeln richten sich entlang von Linien um den Magneten aus. Diese Linien bezeichnet man als **magnetische Feldlinien**. Sie zeigen an, dass magnetische Kräfte vorhanden sind und in welche Richtung diese Kräfte wirken. Überall dort, wo magnetische Feldlinien sind, wirken magnetische Kräfte. Den **Wirkungsbereich** bezeichnet man als **Magnetfeld**.

Dicht beisammen liegende Feldlinien bedeuten ein starkes Kraftfeld. Hier sind die magnetischen Kräfte sehr groß. In Abb. 8.2. erkennt man, dass die magnetischen Kräfte an den Magnetpolen am größten sind. Die Feldlinien gehen im Inneren des Magneten weiter. Sie sind stets geschlossen! Die Richtung der Magnetfeldlinien ist so festgelegt, dass sie außerhalb des Magneten vom Nord- zum Südpol verläuft.

V3: Veranschauliche das magnetische Feld im Bereich zwischen zwei Stabmagneten mit gleichen und mit verschiedenen Polen durch Eisenspäne (Abb. 8.4.).

Mit Hilfe der Eisenspäne kann man nicht nur das Magnetfeld eines Stabmagneten „sichtbar“ machen.

V4: Veranschauliche das Magnetfeld eines Hufeisenmagneten mit Hilfe der Eisenspäne. Beobachte besonders das Magnetfeld zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten! (Abb. 8.5.)

Zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten liegen die Feldlinien parallel und gleich dicht. Die magnetischen Kräfte sind dort an jeder Stelle gleich groß. Ein solches gleichförmiges Feld nennt man ein **homogenes Feld**.

Den räumlichen Wirkungsbereich eines Magneten nennt man **Magnetfeld**. Dabei wird jedem Raumpunkt des Wirkungsbereiches eine bestimmte Stärke und Richtung der magnetischen Kraft zugeordnet. Das magnetische Feld kann durch die magnetischen Feldlinien sichtbar gemacht werden.

Was versteht man unter der magnetischen Influenz?

Eisen wird in der Nähe eines Magneten selbst magnetisch. Man kann diesen Effekt noch verstärken, indem man mit einem der beiden Pole eines Magneten ca. 15–20-mal in dieselbe Richtung über das Eisenstück streicht (Abb. 9.1.). Der folgende Versuch erklärt, was beim Magnetisieren eines Eisenstückes passiert.

V5: Fülle feine Eisenspäne in eine Proberöhre. Verschließe die Röhre und streiche mit einem Pol eines Stabmagneten an ihr entlang (wie oben beschrieben!). Beobachte die Eisenfeilspäne! Nähere die Röhre nun vorsichtig dem N-Pol und dann dem S-Pol einer beweglichen Magnetnadel. Was geschieht?

Die Eisenspäne werden bei V5 magnetisiert und richten sich zum Großteil in jene Richtung, in die der Magnet bewegt wird, aus. Die Röhre mit den Eisenspänen wirkt magnetisch. Durch die anziehende und abstoßende Wirkung kannst du mit Hilfe der Magnetnadel sogar die Pole der Röhre bestimmen. Durch Schütteln wird die Ordnung der Späne wieder zerstört. Die Röhre wird wieder unmagnetisch. Auch die Magnetisierung einer Stricknadel kann man so erklären. Stell dir vor, die Stricknadel besteht aus lauter kleinen einzelnen Magneten. In der unmagnetischen Stricknadel sind diese **Elementarmagnete** ungeordnet. Beim Magnetisieren richten sich diese wie die Eisenspäne in V5 aus. Die Nadel wird magnetisch (Abb. 9.1.).

Bei der Magnetisierung eines Eisenstückes werden dessen Elementarmagnete durch den Einfluss eines Magneten geordnet. Diesen Vorgang nennt man „magnetische Influenz“.

Wie sieht das Magnetfeld der Erde aus?

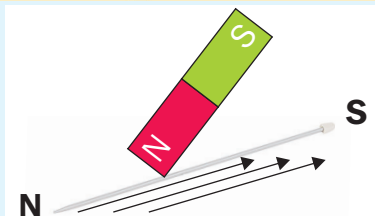
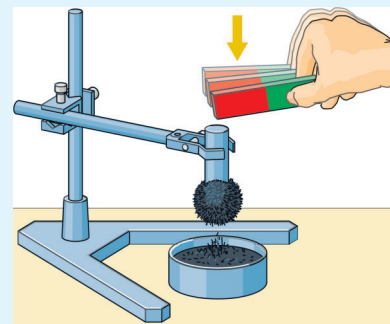
Das Magnetfeld der Erde entspricht dem Magnetfeld eines Stabmagneten (Abb. 9.3.). Wie wir gesehen haben, liegt der magnetische Nordpol am geografischen Südpol und umgekehrt. Dies gilt jedoch nur annähernd. Der magnetische Südpol liegt etwa 1 500 km vom Nordpol der Erde entfernt. Daher zeigt eine Kompassnadel nie genau in Richtung des geografischen Nordens. Diese Abweichung der Magnetnadel nennt man **Deklination** oder **Missweisung**.

Nicht nur wir Menschen nutzen das Erdmagnetfeld zur Richtungsbestimmung mit dem Kompass. Auch Tiere wie zum Beispiel Meeresschildkröten, Haie und Zugvögel nutzen das Erdmagnetfeld zur Orientierung. Das geschieht durch ferromagnetische Substanzen in ihren Organen.

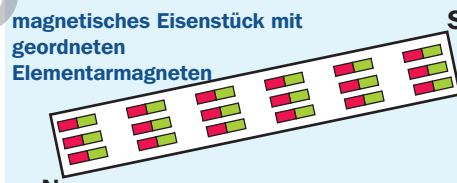
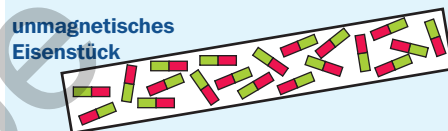
Das Magnetfeld der Erde entspricht dem Magnetfeld eines Stabmagneten. Die geografischen und magnetischen Pole der Erde fallen nicht genau zusammen. Die daraus resultierende Abweichung einer Kompassnadel nennt man Deklination.

Gut zu wissen ...

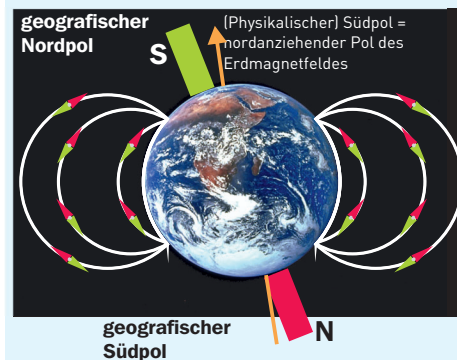
Das Erdmagnetfeld schützt uns auch vor der kosmischen Strahlung, z. B. dem Sonnenwind. Dieser besteht aus energiereichen geladenen Teilchen aus der Sonne. Bei sehr starken Sonnenwinden kann ein Teil dieser geladenen Teilchen in hohe Schichten der Atmosphäre eindringen und dabei den Funkverkehr stören oder Erscheinungen wie Polarlichter hervorrufen.



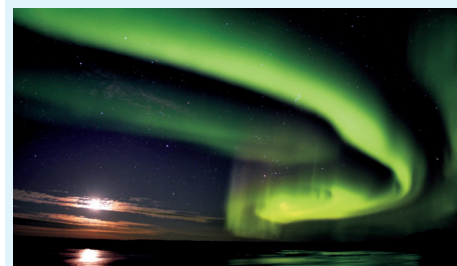
9.1. Magnetisierung eines Eisenstücks (a) und einer Stricknadel (b)



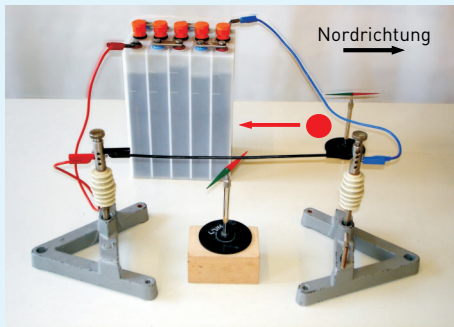
9.2. Elementarmagnete als Modelldarstellung in unmagnetischem und magnetischem Eisen



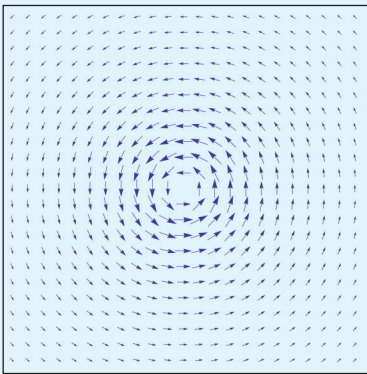
9.3. Das Magnetfeld der Erde entspricht dem Magnetfeld eines Stabmagneten. Die magnetischen und geografischen Pole der Erde fallen nicht genau zusammen.



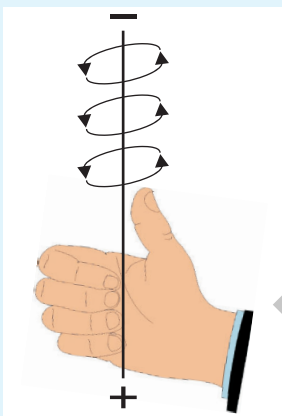
9.4. Polarlichter



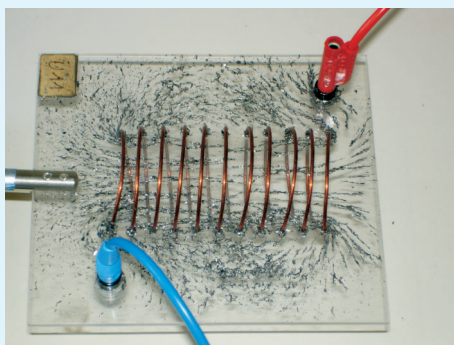
10.1. Versuch nach Oersted: Nachweis, dass elektrischer Strom ein Magnetfeld erzeugt.



10.2. Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter



10.3. So kann man die Richtung der magnetischen Feldlinien um einen geraden Leiter bestimmen.



10.4. Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Im Inneren der Spule ist das Magnetfeld sehr stark (sehr dichte und parallel verlaufende Feldlinien).

4. Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

Beobachtung im Alltag

- Die Magnetnadel in einem Kompass ist dauernd magnetisch.
- Hubmagnete bei Kränen können sehr hilfreich sein beim Transport von Eisenschrott. Auch in Stahlwerken leisten sie gute Dienste.

Was entdeckte der Physiker Hans Christian Oersted?

Am 21. Juni 1820 teilte Hans Christian Oersted der Welt seine bedeutsame Entdeckung mit: „Jeder elektrische Strom erzeugt ein Magnetfeld!“ Bis dahin betrachtete man Magnetismus und Elektrizität als zwei voneinander unabhängige Naturphänomene.

Erst der Versuch von Oersted zeigte, dass der elektrische Strom untrennbar mit Magnetismus verbunden ist. Oersted machte seine Entdeckung zufällig. Er beobachtete, dass eine Kompassnadel in der Nähe eines Leiters beim Einschalten des Stromes die Richtung änderte.

V1 (Versuch nach Oersted): Spanne einen Kupferdraht (Durchmesser ca. 0,2 mm) von ca. 50 cm Länge in Nord-Süd-Richtung. Orientiere dich dabei an einer beweglichen Magnetnadel, die du unter den Kupferdraht stellst (Abb. 10.1.). Schließe den Kupferdraht für kurze Zeit an eine Gleichstromquelle (z. B. 12 V / Autobatterie) an. Beobachte die Magnetnadel beim Ein- und Ausschalten des Stromes! Wiederhole den Versuch mit etwas höherer/niedrigerer Stromstärke!

In V1 wird die Magnetnadel bei Stromfluss aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt. Eine höhere Stromstärke verursacht eine stärkere Ablenkung der Magnetnadel.

V2: Versuchsanordnung von V1 – Lass jedoch den Strom durch Vertauschen der Stromanschlüsse in die andere Richtung fließen. Beobachte!

Die Richtungsänderung der Magnetnadel bei V2 lässt darauf schließen, dass das Magnetfeld bei Änderung der Stromrichtung ebenfalls seine Richtung ändert.

Ein stromdurchflossener Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben. Das Magnetfeld ist umso stärker, je höher die Stromstärke ist. Es ändert seine Richtung, sobald der Strom in die entgegengesetzte Richtung fließt.

Wie sieht das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters aus?

V3: Führe einen geraden Leiter senkrecht durch einen Karton, in den du zuvor ein Loch gemacht hast. Verbinde eine Gleichstromquelle (z. B. 12 V / Autobatterie) mit den Enden des Drahtes. Nach dem Einschalten des Stromes bestreue den Karton mit Eisenspänen und klopfe leicht gegen den Karton. Wie sieht das Magnetfeld eines stromdurchflossenen geraden Leiters aus? (Abb. 10.2.)

V3 zeigt, dass sich die Eisenspäne um den Leiter herum entlang konzentrischer Kreise ausrichten. Die magnetischen Feldlinien sind geschlossen. Sie liegen in einer Ebene zum dazu senkrechten Leiter. Bringt man kleine Magnetnadeln in die Nähe des stromdurchflossenen Leiters, richten sich auch diese entlang der konzentrischen Kreise aus (Abb. 10.2.). Die Richtung der magnetischen Feldlinien stellt man fest, indem man mit dem Daumen der rechten Hand in Richtung der technischen Stromrichtung (+ → -) zeigt. Die anderen Finger der rechten Hand zeigen dann in die Richtung des Magnetfeldes (Abb. 10.3.).

Die magnetischen Feldlinien um einen geraden stromdurchflossenen Leiter haben die Form konzentrischer Kreise.

Wie sieht das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule aus?

Das Magnetfeld eines geraden Leiters ist auch bei hoher Stromstärke nicht groß. Stärkere Magnetfelder kann man mit Hilfe von Spulen erzeugen. In einer Spule wird ein isolierter Draht zu vielen nebeneinander liegenden Windungen gewickelt. Eine solche stromdurchflossene Spule ist ein Elektromagnet.

V4: Nimm einen Karton als Unterlage und stelle mit Hilfe eines dicken Kupferdrahtes eine Spule wie in Abb. 10.4. her. Schließe eine Gleichstromquelle (z. B. 12 V / Autobatterie) an die Enden des Drahtes an. Nach dem Einschalten des Stromes bestreue den Karton mit Eisenspänen und klopfe leicht gegen den Karton. Beschreibe das Magnetfeld der stromdurchflossenen Spule! Kennst du bereits ein ähnliches Feldlinienbild?

Das Feldlinienbild einer Spule (Abb. 10.4.) gleicht dem eines Stabmagneten. Man kann die Richtung der Feldlinien einer Spule mit Hilfe der Rechten-Hand-Regel bestimmen. Dazu umfasst man die Spule so, dass die Finger der rechten Hand in die technische Stromrichtung zeigen. Der Daumen zeigt dann zum Nordpol der Spule. (Abb. 11.1.)

Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule gleicht dem eines Stabmagneten.

Wovon hängt die Kraft eines Elektromagneten ab?

Durchläuft der Strom die einzelnen Windungen der Spule, addieren sich die Magnetfeldlinien der einzelnen Drahtstücke. Daher ist das Magnetfeld eines Elektromagneten deutlich stärker als das eines einzelnen Drahtes. Durch Unterbrechung des Stromflusses kann ein Elektromagnet wieder ausgeschaltet werden. Er verliert dann seine magnetische Kraft.

V5: Nähere eine Magnetnadel einer stromdurchflossenen Spule soweit, dass die Magnetnadel gerade abgelenkt wird. Schiebe nun in die Mitte der Spule ein Eisenstück (Weicheisen). Was fällt dir auf? (Abb. 11.2.)

V5 lässt erkennen, dass das zusätzliche Eisenstück (Weicheisenkern) ein stärkeres Magnetfeld bewirkt, da die Magnetnadel stärker abgelenkt wird.

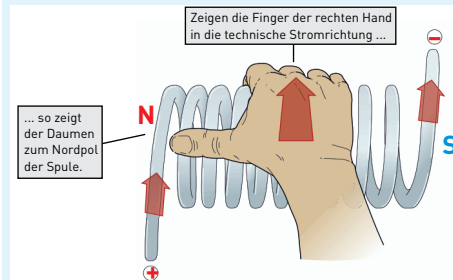
Erklärung: Wird der Weicheisenkern ins Innere der Spule eingebracht, richten sich seine Elementarmagnete entlang des Magnetfeldes der Spule aus. Der Eisenkern wird selbst zum Magneten und verstärkt so das Magnetfeld der Spule.

V6: Wiederhole den Versuch von V5 mit Spule samt Eisenkern, jedoch mit etwas größerer Stromstärke. Was fällt dir auf? Achtung: Beachte die Maximalwertangabe für die Stromstärke auf der Spule!

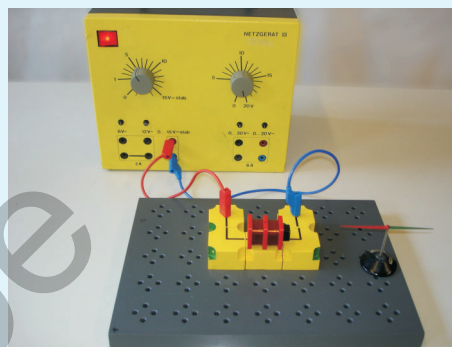
So kannst du einen Elektromagneten selber bauen:

V7: Wickle isolierten Kupferdraht um einen Eisennagel und verbinde die Enden des Drahtes mit einer Batterie (Abb. 11.3.). Beobachte die Büroklammer!

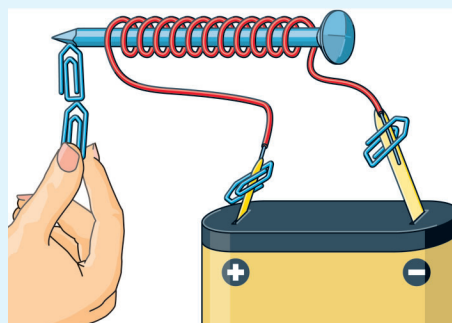
Die magnetische Kraft einer stromdurchflossenen Spule kann mit einem Eisenkern verstärkt werden und wächst mit der Anzahl der Windungen sowie durch Erhöhung der Stromstärke.



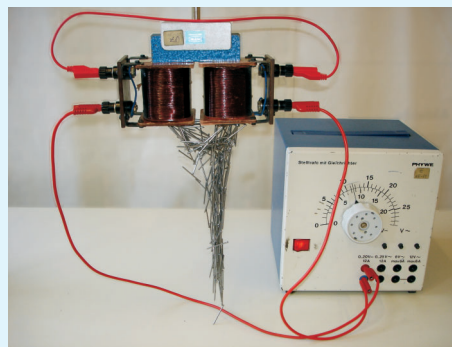
11.1. Mittels der Rechten-Hand-Regel kann man die Richtung der Feldlinien einer Spule bestimmen.



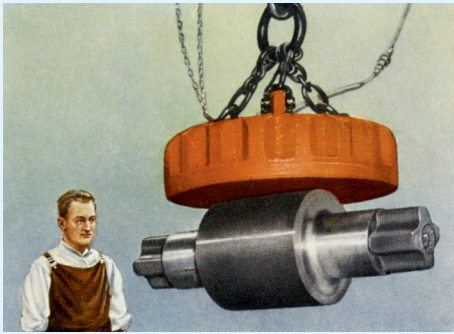
11.2. Ein Eisenkern verstärkt das Magnetfeld in der Spule.



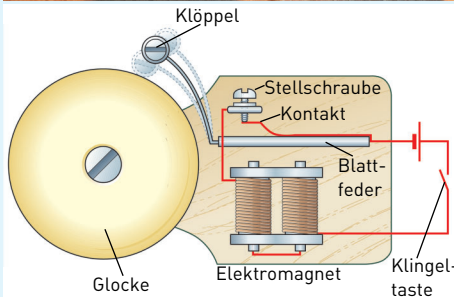
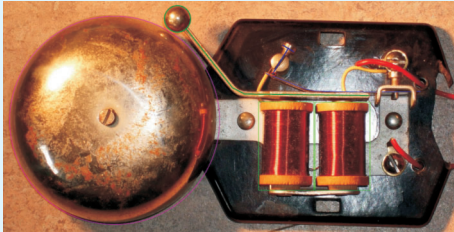
11.3. So kann man einen einfachen Elektromagneten selbst herstellen.



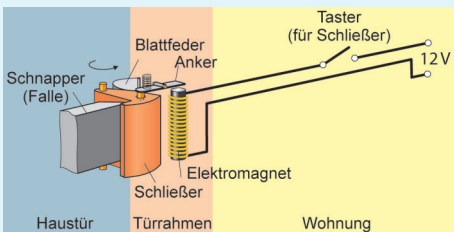
11.4. Die Kraft eines Elektromagneten mit einem nicht geschlossenen Eisenkern wird besonders stark, wenn anhaftende Eisenteile den Eisenkern schließen.



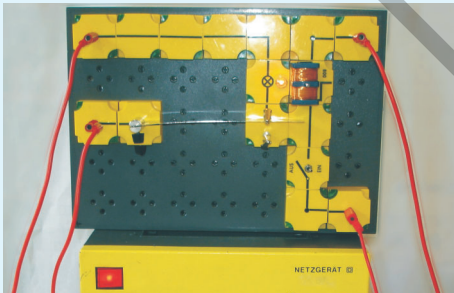
12.1. Darstellung eines Lasthebemagneten



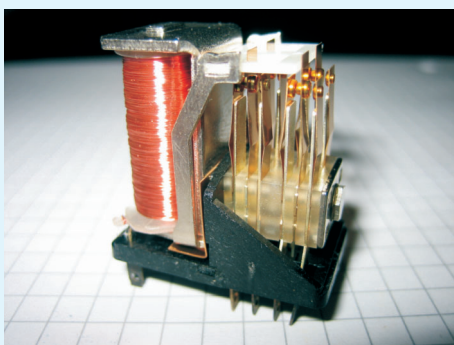
12.2. Innenleben und Skizze einer elektrischen Klingel.



12.3. Elektromagnetischer Türöffner



12.4. Modell eines Relais



12.5. Das Relais

5. Anwendungen von Elektromagneten

Beobachtung im Alltag

- Leitungsschutz- und FI-Schalter schalten sich bei Gefahr durch Strom automatisch aus.
- Ohne Magnetkräne wäre manche Arbeit sehr mühevoll.
- Beim Öffnen der Verriegelung gibt ein elektrischer Türöffner ein typisches Summen von sich.

Der Lasthebemagnet

Lasthebemagnete (Abb. 12.1.) sind unerlässlich für so manche Transportarbeiten in Betrieben. Mit speziellen Elektromagneten können ferromagnetische Körper mit einer Masse von mehreren Tonnen gehoben werden.

Die elektrische Klingel

Ähnlich wie der Gong ist auch die elektrische Klingel aufgebaut (Abb. 12.2). Bei Betätigung des Tasters wird der Stromkreis geschlossen. Der Strom fließt über die Blattfeder, den Kontakt und die Stellschraube (Unterbrecher) zur Spule mit einem Eisenkern. Dieser Elektromagnet zieht die Blattfeder an. Der daran befestigte Klöppel schlägt an die Glocke. Durch das Wegbewegen der Feder von der Kontaktstelle wird der Stromkreis unterbrochen und der Elektromagnet wieder ausgeschaltet. Die Feder mit Klöppel schnell in ihre Ausgangsposition zurück. Der Unterbrecherkontakt wird wieder geschlossen, der beschriebene Vorgang beginnt von Neuem.

Der elektromagnetische Türöffner

Auch im elektrischen Türöffner (Abb. 12.3.) befindet sich ein Elektromagnet. Er löst bei Betätigung die Verriegelung im Schloss. Beim elektromagnetischen Türöffner verwendet man allerdings den im Haushalt üblichen **Wechselstrom**. Dieser ändert 100-mal pro Sekunde die Stromrichtung. Damit ändert auch der Elektromagnet 100-mal pro Sekunde die Ausrichtung seiner Pole. Die Verriegelung wird also rhythmisch angezogen. Daher hört man das charakteristische Summen des Öffners.

Das elektromagnetische Relais

Elektromagnete werden auch für **elektromagnetische Schalter** verwendet. Ein sogenanntes **Relais** dient dazu, einen Stromkreis mit Hilfe eines schwächeren zweiten Stromkreises zu schließen oder zu öffnen. Ein Versuch soll dir die Funktionsweise des Relais verdeutlichen.

V2: Baue die Versuchsanordnung nach Abb. 12.4. auf. Befestige die Blattfeder so, dass beim Einschalten des rechten Stromkreises (Steuerstromkreis) die Blattfeder vom Elektromagneten angezogen wird und die Krokoklemme unterhalb der Glühlampe berührt. Erkläre, was beim Ein- und Ausschalten des Steuerstromkreises geschieht!

Schließt man mittels eines Schalters den **Steuerstromkreis**, so zieht ein Elektromagnet eine Blattfeder an. Diese schließt den Kontakt in einem zweiten Stromkreis, dem **Arbeitsstromkreis** (Abb. 12.4.). Im Arbeitsstromkreis können beträchtliche Stromstärken oder Spannungen auftreten. Man kann also mit Hilfe einer schwachen Stromquelle im Steuerstromkreis einen zweiten Stromkreis, den Arbeitsstromkreis, ein- und ausschalten. Das Relais findet z. B. Anwendung bei Alarmanlagen, beim Starter des Autos, beim FI-Schalter oder bei der Magnetisierung.

Die Magnetsicherung

Suche dir im Internet ein Modell einer Magnetsicherung (Suchworte „Modell Magnetsicherung“). Schau es dir an und überlege gemeinsam mit deinen Mitschülerinnen und Mitschülern, nach welchem Prinzip dieses Modell funktionieren könnte. Zu welchem Schluss kommst du? Kannst du die nachfolgende Aussage bestätigen?

„Kommt es in einer Magnetsicherung zu einem Kurzschluss, steigt die Stromstärke im Stromkreis stark an. Dadurch wird auch das Magnetfeld der Spule mit Eisenkern stärker. Dieses Magnetfeld reicht nun aus, um die Blattfeder an sich zu ziehen. Der Messingstreifen schnell nach unten. Der Stromkreis wird unterbrochen.“

Elektromagneten findet man z. B. beim elektrischen Gong, der elektrischen Klingel, der Autohupe, beim elektrischen Türöffner und dem Relais (Alarmanlagen, Starter von Autos, FI-Schalter oder Magnetsicherung).

Magnetschwebbahnen

Bei einer Magnetschwebbahn sind im Fahrweg und im Zug sehr starke Elektromagnete angebracht. Bei Stromdurchfluss erzeugen diese Magnete eine abstoßende Wirkung zwischen Fahrweg und Zug. Die Bahn schwebt dann über den Schienen (Abb. 13.4.). Der Abstand des Fahrzeuges zu den Schienen beträgt dabei gleichbleibend ca. 10 bis 15 cm. Stellt man den Strom ab, steht die Bahn wieder auf den Schienen. Damit der Zug vorwärts kommt, gibt es verschiedene Antriebssysteme, die ebenfalls mit Elektromagneten funktionieren.

Bei einer Magnetschwebbahn gibt es keine bremsende Reibung, weil Bahn und Schienen einander nicht berühren. Die Folgen der Abnutzung sind gering. Es entstehen keine Abgase und weniger Lärm. Eine Magnetschwebbahn kann sehr rasch beschleunigen und erreicht somit schnell hohe Geschwindigkeiten (Abb 13.5.).

Fleißig geforscht wird auch an Magnetschwebautos. Sie könnten sich in der Zukunft emissionsfrei über elektromagnetische Straßennetze schwebend fortbewegen.



13.5. Auf einer Teststrecke erreichte der „JR-Maglev“ eine Höchstgeschwindigkeit von 603 km/h.



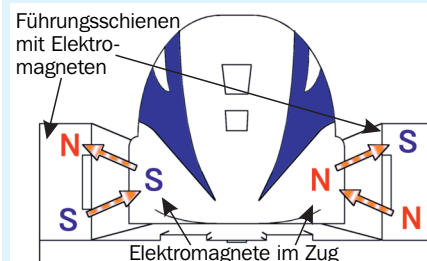
13.1. Leitungsschutzschalter



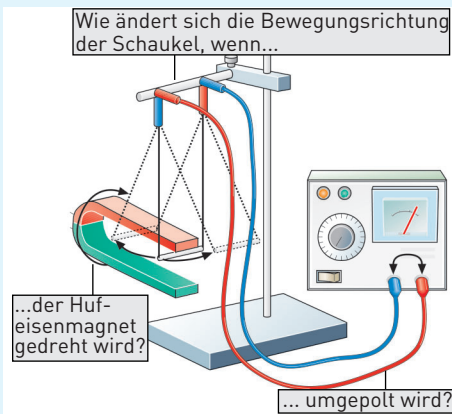
13.2. Der FI-Schalter sollte regelmäßig durch Drücken des Knopfes auf seine Funktion überprüft werden.



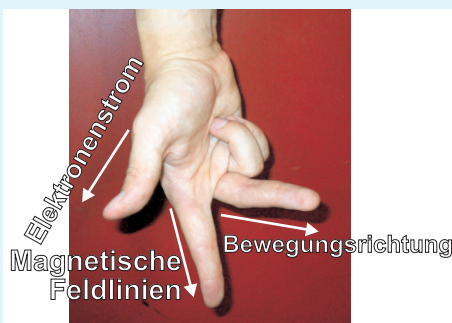
13.3. Sicherungskasten



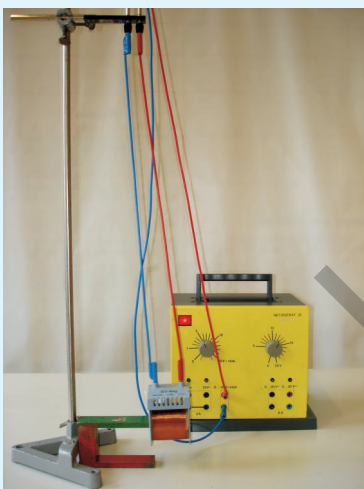
13.4. Schwebesystem bei der japanischen Magnetschwebbahn „JR-1“ (Magnetic Levitation).
„Levitation ... freies Schweben“



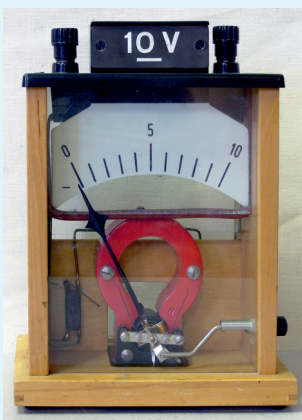
14.1. Auf einen stromführenden Leiter wirkt in einem Magnetfeld eine Kraft – die Lorentz-Kraft.



14.2. So bestimmt man die Richtung der Lorentz-Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld.



14.3. Kraftwirkung auf eine stromdurchflossene Spule im Magnetfeld.



14.4. Drehspul-Messgerät

6. Das Drehspul-Messgerät

Wie verhält sich ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld?

Was passiert, wenn man einen stromdurchflossenen Leiter in das Magnetfeld eines Hufeisenmagneten bringt?

V1: Hänge einen Leiter (oder ein längeres Kabel) zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten wie eine Schaukel (Abb. 14.1.). Schließe die Leiterschaukel an eine Gleichstromquelle an. Beobachte! Ändere die Stromrichtung durch die Leiterschaukel. Was geschieht? Drehe nun den Hufeisenmagneten und damit die Richtung des Magnetfeldes um 180° . Was passiert?

In V1 wird der Leiter beim Einschalten des Stromes angezogen oder abgestoßen. Auf den stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wird also eine Kraft ausgeübt. Man nennt sie nach ihrem Entdecker (Hendrik Anton Lorentz) die **Lorentz-Kraft**. Die Richtung dieser Kraft und damit der Bewegung des stromdurchflossenen Leiters ändert sich zum einen mit der Stromrichtung und zum anderen mit der Polung des Magnetfeldes. Sie verläuft aber stets senkrecht zur Stromrichtung und senkrecht zum Magnetfeld. Man kann die Richtung, in die sich der Leiter bewegt, mit Hilfe der Drei-Finger-Regel der rechten Hand vorhersagen: Lass den ausgestreckten Daumen der rechten Hand in die technische Stromrichtung ($+ \rightarrow -$) zeigen, den Zeigefinger in die Richtung des Magnetfeldes ($N \rightarrow S$). Der Mittelfinger zeigt dann die Richtung an, in welche die Lorentz-Kraft wirkt und sich somit der Leiters bewegt (Abb. 14.2.).

Daumen, Zeige- und Mittelfinger sind dabei rechtwinklig zueinander auszustrecken.

Ein stromdurchflossener Leiter wird in einem Magnetfeld in Bewegung versetzt (Lorentz-Kraft).

Wie funktioniert ein Drehspul-Messgerät?

Statt der Leiterschaukel kann auch eine Spule in das Magnetfeld eines Hufeisenmagneten gebracht werden. Eine Spule wird viel stärker angezogen oder abgestoßen als eine Leiterschaukel (Abb. 14.3.).

V2: Hänge eine Spule leicht drehbar an ein Stativ (Abb. 14.4.). Bringe den Hufeisenmagneten so an, dass sich die Spule zwischen den beiden Polen des Magneten befindet. Schließe nun die Spule an eine regelbare Stromquelle und drehe diese langsam hoch. Was geschieht?

Die Abhängigkeit der Größe der Kraft auf einen stromführenden Leiter nutzt man zur Messung der elektrischen Stromstärke mit einem Drehspul-Messgerät. Die stromführende Spule besitzt ein Magnetfeld, ähnlich dem eines Stabmagneten. Sie versucht daher, sich im Magnetfeld des Hufeisenmagneten auszurichten (Abb. 14.4.). Dabei verdrillen sich aber die Zuleitungen und erzeugen eine rücktreibende Kraft. Die Spule stellt sich so ein, bis Magnetkraft und rücktreibende Kraft gleich groß sind. Ist der Strom größer, verdreht sich die Spule mehr. Befestigt man an der Spule einen Zeiger, kann dieser auf einer geeigneten Skala die Stromstärke anzeigen. Drehspul-Instrumente können sowohl zur Messung der Stromstärke als auch der Spannung verwendet werden. Sie sind oft als Vielfachmessgeräte ausgeführt (Abb. 15.1.).

Eine stromdurchflossene Spule wird in einem Magnetfeld in Bewegung gesetzt. Dieses Prinzip wird von Drehspul-Messgeräten genutzt: Je größer die Stromstärke in einer Spule, desto stärker wird die Spule samt Zeiger gegen die Kraft einer Spiralfeder verdreht.

7. Der Elektromotor

Wie funktioniert ein Elektromotor?

Beim Gleichstrom-Elektromotor wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt. Es dreht sich ein Elektromagnet (**Rotor, Läufer**) im Magnetfeld eines unbewegten Magneten (**Stator, Ständer**). Beim Schließen des Stromkreises wird der Anker wegen der Anziehung zwischen Feld- und Ankermagnet in Bewegung gesetzt. Zur Aufrechterhaltung der Bewegung muss die Stromrichtung in der Spule nach jeder halben Drehung geändert werden.

Grund: Stehen der Nordpol des Läufers und der Südpol des Feldmagneten einander gegenüber, kommt es zur Anziehung zwischen beiden. Der Läufer würde sich deshalb nicht mehr weiter drehen. Ändert man die Stromrichtung in der Spule, ändern sich auch die Pole. So stehen sich dann wieder gleichnamige Pole gegenüber, die einander abstoßen. Die Spule dreht sich weiter.

Zur Änderung der Stromrichtung im Läufer, verwendet man einen **Polwender** oder **Kommutator**. Im einfachsten Fall sind das zwei gegeneinander isolierte Halbringe aus Metall, die sich mit dem Anker auf einer Achse befinden und drehen. An jedem Halbring ist ein Spulenende des Rotors angeschlossen. Der Strom wird über **Bürsten** (meist aus Kohle), die an der Außenseite des Ringes schleifen, zugeführt.

Ein Segment des Kommutators ist immer nur mit einem Pol der Stromzuleitung verbunden (Abb. 15.2.). Die Spule dreht sich, bis gegengleiche Pole von Rotor und Stator gegenüber stehen. In dieser Stellung treffen beide Bürsten gleichzeitig auf die nicht leitenden Teile zwischen den Halbringen. Nun fließt kein Strom. Durch den Schwung der Drehung (Trägheit) bewegt sich der Rotor über diese Stellung hinaus. Die Bürsten schleifen über den anderen Halbring. Die Stromrichtung in der Spule wird daher umgepolt. Der Rotor läuft weiter.

Ein Doppel-T-Anker hat einen Nachteil: Stehen sich die gleichartigen Magnetpole des Rotors und Stators bereits vor Einschalten des Stromes gegenüber, kommt keine Drehung zustande (Totpunkt). In diesem Fall muss man ihn manuell aus dieser Lage drehen. Um das zu vermeiden, verwendet man mehrere auf Anker gewickelte Spulen, die um einen bestimmten Winkel gegeneinander versetzt sind (Abb. 15.3.). So gibt es keinen Totpunkt mehr. Der Motor läuft immer von selbst an. Die Spulen sind alle um einen bestimmten Winkel gegeneinander versetzt und auf einen **Trommelanker** (Abb.15.4.) gewickelt. Solche Motoren laufen gleichmäßiger und sind belastbarer als andere Motorenarten.

Gleichstrommotoren verwendet man z. B. als Startermotor bei Autos, bei Straßenbahnen, Rasierapparaten oder batteriebetriebenen Spielzeugen.

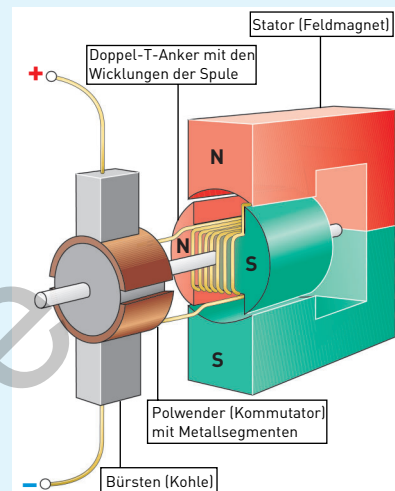
Wesentliche Bestandteile eines Elektromotors:

- **Feldmagnet** (feststehender Permanent- oder Elektromagnet)
- **Anker/Rotor/Läufer** (drehbarer Elektromagnet)
- **Bürsten** (Metallstreifen oder Kohlestifte zur Stromzuführung)
- **Kommutator** bzw. **Polwender** (zwei isolierte Halbringe)

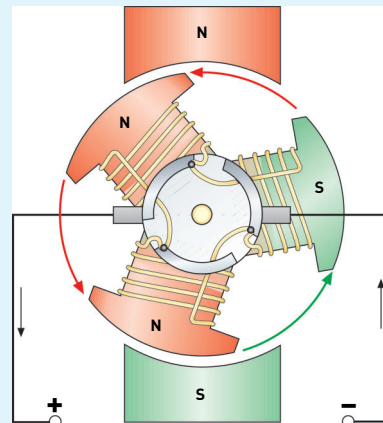
Möchte man einen Motor auch mit Wechselstrom betreiben, so muss der Stator ebenfalls ein Elektromagnet sein. Überlege, warum das so ist. Weitere Informationen dazu gibt es über nebenstehenden QR-Code.



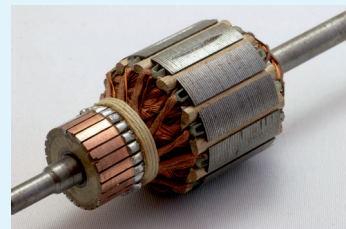
15.1. Digitales und analoges Vielfachmessgerät zur Strom- und Spannungsmessung



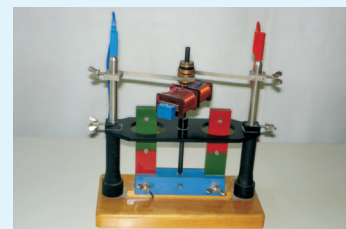
15.2. Aufbau eines Gleichstrommotors



15.3. Mehrere um einen bestimmten Winkel versetzte Spulen bewirken ein selbstständiges Anlaufen des Motors.



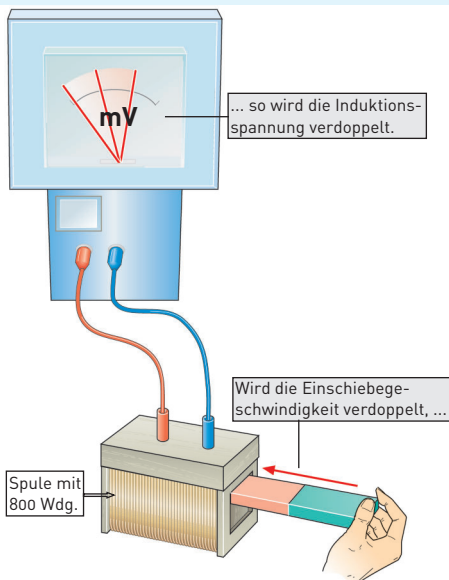
15.4. Trommelanker



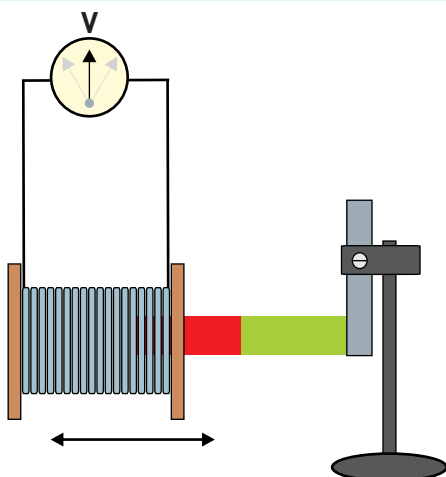
15.5. Modell eines Allstrommotors



16.1. Michael Faraday entdeckte 1831 zeitgleich und unabhängig von Oersted das Prinzip der elektromagnetischen Induktion.



16.2. Beim Hineinschieben des Magneten in die Spule schlägt der Zeiger in die eine Richtung, beim Herausziehen in die andere Richtung aus.



16.3. Was passiert, wenn der Magnet ruht und stattdessen die Spule bewegt wird?

8. Die elektromagnetische Induktion

Beobachtung im Alltag

- Der Dynamo des Fahrrades liefert den Strom für die Beleuchtung nur beim Treten.
- Induktionstaschenlampen brauchen weder Batterien noch Akkus. Durch bloßes Schütteln werden sie aufgeladen und geben Licht.

Was ist die elektromagnetische Induktion?

Der englische Physiker **Michael Faraday** (Abb. 16.1.) erfuhr von der Entdeckung Oersteds, wonach jeder stromdurchflossene Leiter ein Magnetfeld erzeugt. Faraday fragte sich, ob dies auch umgekehrt funktionieren würde. Die Frage, ob es möglich ist, mit Hilfe eines Magnetfeldes elektrische Ströme hervorzurufen, konnte Faraday schließlich 1831 nach hartnäckiger Forschung beantworten.

Führe dazu folgende Versuche durch:

V1: Schließe eine Spule an ein sehr empfindliches Voltmeter (Messbereich ca. 10 mV) an, dessen Nullpunkt sich in der Mitte der Skala befindet (Abb. 16.2.). Schiebe einen Stabmagneten mit dem Nordpol voran schnell in die Spule. Beobachte das Voltmeter! Halte den Magneten bewegungslos in der Spule. Was zeigt das Voltmeter jetzt an? Ziehe den Magneten wieder schnell aus der Spule heraus. Wiederhole den Versuch mit dem Südpol des Stabmagneten!

V2: Halte den Magneten ruhig und bewege die Spule über dem Stabmagneten hin und her. Was stellst du fest?

Mit den Bewegungen in V1 und V2 ändert sich der magnetische Fluss* in den Windungen der Spule. Dadurch entsteht eine sogenannte **Induktionsspannung**. Bei einem geschlossenen Stromkreis fließt dann auch Strom. Die Richtung dieses **Induktionsstromes** hängt dabei von der Bewegungsrichtung und der Polung des Magneten ab.

* magnetischer Fluss: Zustandsbeschreibung eines Magnetfeldes

Ändert sich der magnetische Fluss in den Windungen der Spule, wird eine Induktionsspannung hervorgerufen. Der Vorgang heißt elektromagnetische Induktion. Bei geschlossenem Stromkreis fließt Induktionsstrom.

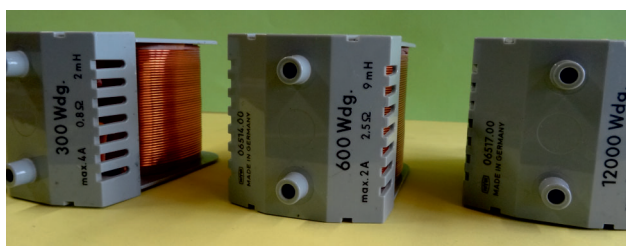
Wovon ist die Größe der Induktionsspannung abhängig?

Überlege, wovon die Größe der Induktionsspannung abhängig sein könnte.

Die folgenden Versuche bringen Klärung:

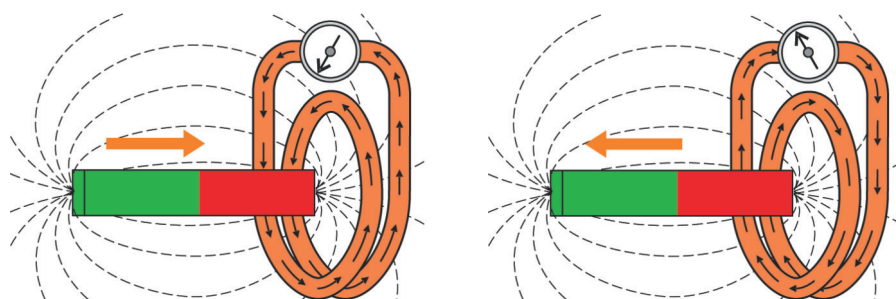
V3: Versuchsanordnung aus V1! Schiebe einen Stabmagneten mit dem Nordpol voran schnell in die Spule und beobachte das Messgerät. Führe dann den Versuch

- a) mit Spulen unterschiedlicher Windungszahlen (Abb. 16.4.) und
- b) mit verschieden starken Magneten durch.
- c) Bewege die Magnete mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten.



16.4. Spulen mit unterschiedlich vielen Windungen

Die Induktionsspannung wird umso größer,
 a) je mehr Drahtwindungen die Induktionsspule hat,
 b) je stärker das Magnetfeld ist und
 c) je schneller sich das Magnetfeld ändert.



17.1. Durch ein sich bewegendes/änderndes Magnetfeld wirkt eine Kraft auf die Elektronen und versetzt sie in den Windungen der Spule in Bewegung.

Wodurch wird die Induktionsspannung ausgelöst?

Um den Vorgang der elektromagnetischen Induktion genauer zu untersuchen, stellt man sich das Feldlinienbild eines Stabmagneten vor. Die Feldlinien sind an den Polen sehr dicht. In einiger Entfernung von den Polen sind sie weniger dicht. Wird der Stabmagnet waagrecht in die Spule geschoben, so durchdringen zuerst wenige der Feldlinien die Windungen der Spule und dann immer mehr. Beim Herausziehen ist es umgekehrt. Wenn sich das Magnetfeld durch die Spule bewegt oder die Spule im Magnetfeld bewegt wird, ändert sich somit die Feldliniendichte. Durch diese Änderung der magnetischen Feldliniendichte entsteht die Induktionsspannung.

Die Änderung der Feldliniendichte eines Magnetfeldes bewirkt die Induktionsspannung in einer Spule.

Wie kann Induktionsspannung mit einem Elektromagneten in einer Spule erzeugt werden?

Man kann zur Erzeugung einer Induktionsspannung auch einen Elektromagneten benutzen. Durch den folgenden Versuch kannst du das überprüfen:

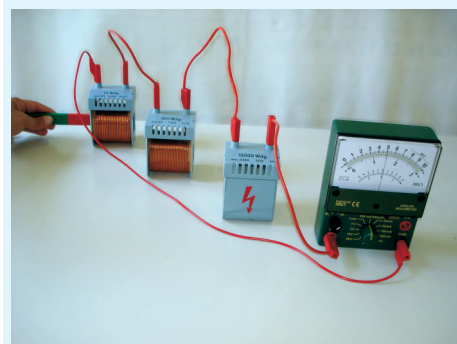
V4: Baue den Versuch nach Abb. 17.4. auf. Verwende dazu zwei Spulen mit je 800 Windungen und eine 4,5-V-Flachbatterie. Beobachte den Zeiger des Amperemeters beim Einschalten des Stromes! Was geschieht beim Ausschalten des Stromes?

Durch das Einschalten des Stromes erzeugt die linke Spule ein Magnetfeld im geschlossenen Eisenkern. Die Dichte der magnetischen Feldlinien hat sich dabei von Null auf einen bestimmten Wert geändert. In der rechten Spule wird dadurch eine Spannung induziert. Nach dem Einschalten bleibt jedoch der Strom, der durch die linke Spule fließt, gleich groß. Folglich ändert sich auch die Dichte der Magnetfeldlinien im Eisenkern nicht. Es wird daher in der rechten Spule keine Spannung mehr induziert. Erst beim Ausschalten des Stromes kommt es wieder zu einer Änderung der Feldliniendichte und somit zu einer Induktionsspannung in der rechten Spule.

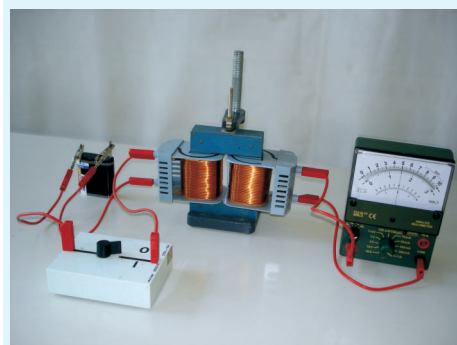
Sind zwei Spulen durch einen geschlossenen Eisenkern verbunden, kann beim Aktivieren und Unterbrechen des Stromflusses in der ersten Spule (Elektromagnet) eine Induktionsspannung in der zweiten Spule erzeugt werden.



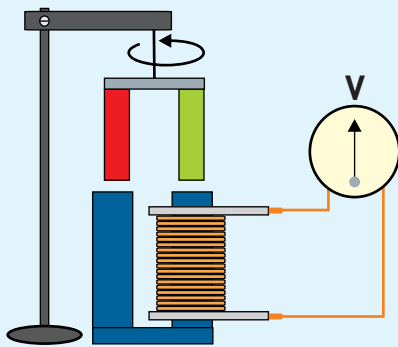
17.2. Ein Fahrraddynamo erzeugt den Strom für die Beleuchtung durch Induktion. (oben: Seitenläuferdynamo, unten: Nabendynamo)



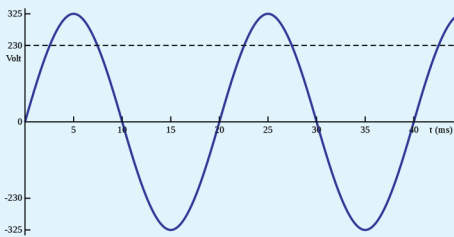
17.3. Je mehr Windungen eine Spule hat, desto größer ist die Induktionsspannung.



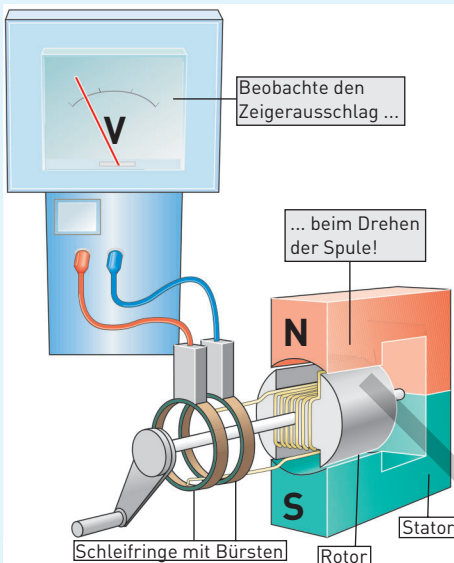
17.4. Erzeugung des Magnetfeldes durch einen Elektromagneten. Beim Ein- und Ausschalten gibt es Induktion in der rechten Spule.



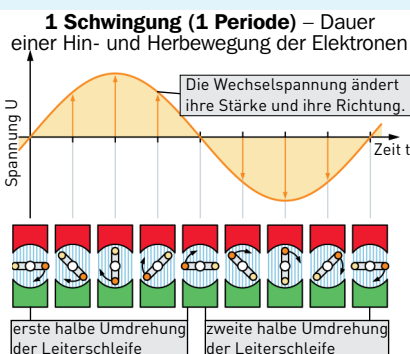
18.1. Prinzip des Generators. Der rotierende Magnet magnetisiert den Eisenkern dauernd um. Es wird Wechselspannung induziert.



18.2. Wechselspannung mit dem Oszilloskop sichtbar gemacht



18.3. Aufbau eines Wechselspannungsgenerators



18.4. Entstehung von Wechselspannung bei der Drehung der Leiterschleife im Magnetfeld

9. Der Wechselstromgenerator

Beobachtung im Alltag

- Fahrraddynamos erzeugen Strom für die Fahrradbeleuchtung. Sie haben eine geringe Größe.
- Stromerzeuger in Kraftwerken können eine Höhe und eine Länge von einigen Metern aufweisen und mehrere hundert Tonnen wiegen.

Nach welchem Prinzip funktioniert ein Generator für Wechselstrom?

Generatoren gewährleisten eine dauerhafte Stromerzeugung. Dazu ist ein bestimmter Aufbau notwendig.

V1: Hänge einen Hufeisenmagneten an einen Faden über eine Spule mit Eisenkern (Abb. 18.1.). Schließe an die Spule ein empfindliches Voltmeter an. Verdrille nun den Faden und lasse dann los. Beobachte das Messgerät! Erkläre das Ergebnis!

Bei V1 schlägt der Zeiger des Messgeräts abwechselnd nach links und nach rechts aus. Bei jeder Umdrehung des Magneten wird der Eisenkern im Inneren der Spule umgepolt. Durch die Änderung des Magnetfeldes in der Spule entsteht eine Induktionsspannung. Eine solche Anordnung stellt die einfachste Form eines Generators dar. Schließt man anstelle des Voltmeters ein Oszilloskop an die Spule, kann man die erzeugte Spannung veranschaulichen (Abb. 18.2.). Es entsteht Wechselspannung.

Der Aufbau eines einfachen Generators ist vergleichbar mit dem eines Elektromotors. Eine bewegliche Spule (Rotor) befindet sich in einem Magnetfeld eines Dauer- oder Elektromagneten. Doch wird hier im Unterschied zum Elektromotor die Spule nicht an eine Stromquelle angeschlossen, sondern durch mechanische Kräfte angetrieben. Infolge ihrer Bewegung im Magnetfeld wird in ihr eine Wechselspannung induziert, die über die Schleifringe und Bürsten abgegriffen wird (Abb. 18.3.).

Ein Generator wandelt mit Hilfe des Induktionsprinzips mechanische Energie (Bewegungsenergie) in elektrische Energie um.

Wie entsteht Wechselstrom und Wechselspannung im Generator?

Die Entstehung der Wechselspannung in der Spule kann mit Hilfe einer Leiterschleife, die sich im Magnetfeld gleichmäßig dreht (Abb. 18.4.), erklärt werden:

Die Leiterschleife steht in ihrer Ausgangsposition senkrecht zu den magnetischen Feldlinien. Dreht sich die Leiterschleife, so sinkt zunächst die Anzahl der Feldlinien, die durch sie hindurch gehen. Nach einer Vierteldrehung steht dann die Leiterschleife parallel zu den Feldlinien. Die Induktionsspannung und somit auch der von ihr hervorgerufene Strom nehmen den größten Wert an. Bei der zweiten Vierteldrehung steigt die Anzahl der umschlossenen Feldlinien wieder auf den Ausgangswert. Spannung und Stromstärke haben wieder den Wert Null. Die Magnetfeldlinien zeigen jetzt von der Spule aus gesehen in die andere Richtung. Beim Weiterdrehen kehrt sich daher auch die Richtung des Induktionsstromes um.

Man erhält also einen Stromfluss, dessen Richtung sich periodisch ändert – den **Wechselstrom**. Er wird durch die in der Leiterschleife induzierte Wechselspannung hervorgerufen.