

Steger Daniel-Markus

Freihandversuche aus Elektrizitätslehre und Magnetismus

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Magisters
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Karl-Franzens-Universität Graz

Ao.Univ.-Prof., Dipl.-Ing. Dr.techn. Pottlacher Gernot
Institut für Experimentalphysik
Technische Universität Graz.

2004

Meinen Eltern und Großeltern gewidmet.

Vorwort

Obwohl der Wohlstand unserer Gesellschaft auf den Errungenschaften der Naturwissenschaften und vor allem der Physik basiert, stößt der Physikunterricht auf immer geringeres Interesse in den Schulen. Da die Lernmotivation sehr stark vom Interesse am Fach abhängt, sinkt die Begeisterung am Fach und in weiterer Folge die Anzahl der Studienanfänger an FH, UNI und TU. Dies ist umso weniger verständlich, wenn man einen nicht ganz aus der Luft gegriffenen Tagesbeginn betrachtet: Lange bevor der Funkwecker läutet und die Uhrzeit auf die Decke projiziert, beginnt die elektronisch gesteuerte Zentralheizung, abhängig von der Außentemperatur, den Wohnraum auf 22°C zu erwärmen. Jeder noch so kleine Gegenstand, der uns das Leben erleichtert, ist aus einer Vielzahl von miniaturisierten einfachen Einheiten aufgebaut. Der Versuch, die Funktion der gesamten Apparatur zu verstehen, wird meist als zu mühsam erachtet und somit werden immer mehr Dinge der uns umgebenden Technik als Blackbox akzeptiert.

Das Interesse an der Technik muss bereits in jungen Jahren geweckt werden und dazu eignen sich die in dieser Arbeit vorgestellten Versuche sehr gut. Der Detailreichtum der Erklärung muss an die jeweilige Altersstufe angepasst werden. So genügt die Erkenntnis, in welche Richtung sich ein bestimmter Gegenstand bewegt, wenn man einen elektrostatisch geladenen Luftballon an ihn heranführt für einen Unterstufenschüler vollkommen. Ist dieses Wissen vorhanden, so lässt sich in weiterer Folge der Schluss auf die Stärke der Kraft und die Parameter, die sie beeinflussen, vollziehen. Die mathematische Formulierung mittels des Coulomb-Gesetzes ist der logische letzte Schritt und sollte jedem Maturanten bekannt und bewusst sein.

Meine Arbeit richtet sich an Eltern, die ihren Kindern bereits in jungen Jahren physikalische Zusammenhänge mit einfachsten Mitteln näher bringen wollen, an Schüler jeder Schulstufe und an Lehrer, die einen Fundus von erprobten und gut funktionierenden einfachen Experimenten suchen, kurz an alle Personen die ihre Umwelt besser verstehen wollen.

Ich lebe in der Hoffnung, dass in Zukunft weniger Personen ein Gerät kaufen, das vorgibt, „Atomstrom“ aus dem Versorgungsnetz filtern zu können.

Historie dieser Arbeit

Im Zuge der LV „Schulversuche 1 bzw. Planung und Analyse von Physikunterricht“ bei Prof. Pottlacher wurden sämtliche Demonstrationsexperimente, welche den Studenten der TU-Graz im Zuge der Experimentalphysik-Vorlesungen vorgeführt werden, von den höhersemestrigen Lehramtsstudenten bearbeitet und den Kommilitonen mit der Methode des Peergroupteaching auf Schulniveau vorgetragen. Im Wintersemester galt es Freihandexperimente aus den Bereichen Mechanik, Optik und Wärmelehre in Heimarbeit vorzubereiten, wobei es einerseits die Versuchsutensilien herzustellen, als auch eine schriftliche Ausarbeitung anzufertigen war. Diese Versuche wurden in der Lehrveranstaltung vorgetragen und gleichzeitig auf Video aufgezeichnet. Im Sommersemester wurden Freihandsessions zu den Themen Elektrizitätslehre und Magnetismus abgehalten. Durch die Archivierung der Versuchsprotokolle und Videobänder durch Prof. Pottlacher ist es in der über 15-jährigen Geschichte der LV zu einer entsprechend großen Anzahl von erfassten Freihandversuchen gekommen. Diese wertvolle Sammlung an teilweise äußerst kreativen Versuchen veranlasste Prof. Pottlacher, die Aufarbeitung des Archivs im Rahmen einer Diplomarbeit anzubieten. Aufgrund des Umfangs des Materials standen zunächst zwei Bereiche zur Auswahl, wobei der erste Mechanik, Optik und Wärmelehre, der zweite aus Elektrizitätslehre und Magnetismus bestand. Nach kurzer Überlegung fiel die Wahl auf den zweiten Bereich und folgende Anforderungspunkte wurden festgelegt:

- Es sollen ca. 50 Versuche ausgewählt werden
- Die Aufnahmen sollen digitalisiert auf CD der Arbeit beigefügt werden
- Bei der Auswahl der Experimente sollen besonders originelle und in der einschlägigen Literatur nicht, bis selten auftretende bevorzugt werden

Auf den nächsten Seiten steht eine, von mir ausgewählte, Sammlung von Freihandexperimenten basierend auf den kreativen Beiträgen meiner Studienkollegen aus über 15 Jahren zur Verfügung. Diese Experimente wurden zum Nachbau mit möglichst geringen Mitteln optimiert und mit physikalischen Erklärungen versehen.

Inhalt

(1) FACHDIDAKTISCHES	1
WAS IST EIN FREIHANDVERSUCH?	1
<i>Klassische Freihandexperimente</i>	2
<i>Quick-Experiments</i>	2
<i>Low-Cost-Experiments</i>	2
WARUM SOLLEN FREIHANDEXPERIMENTE DURCHGEFÜHRT WERDEN?	3
<i>Forderung des Lehrplanes</i>	3
<i>Belegung des Unterrichts</i>	4
<i>Förderung des Unterrichtsertrages</i>	4
MÖGLICHER EINSATZ IM UNTERRICHT	5
<i>Exemplarischer Einstieg</i>	5
<i>Versuch zur Bestätigung des Erlernten</i>	5
<i>Schülerexperiment</i>	5
<i>Referat</i>	5
(2) ELEKTROSTATIK	6
EINSTIEGSEXPERIMENT	6
<i>Der verbogene Wasserstrahl</i>	6
ERZEUGEN ELEKTRISCHER LADUNGEN	7
<i>Reibungselektrizität</i>	7
KRAFTWIRKUNG ELEKTRISCHER LADUNGEN	8
<i>Der rotierende Löffel</i>	8
<i>Tanzende Kugeln</i>	10
<i>Elektrisch gekoppelte Pendel</i>	11
<i>Staubzucker</i>	12
MESSEN ELEKTRISCHER LADUNGEN	13
<i>Elektroskop</i>	13
ELEKTROSTATISCHE ENTLADUNG	16
<i>Entladen eines Elektroskops</i>	16
INFLUENZ	18
<i>Influenz beim Becherelektroskop</i>	18
ELEKTRISCHES FELD	19
<i>Dipol im elektrischen Feld</i>	19
<i>Elektrostatistischer Fußball</i>	20
<i>Springendes Öl</i>	21
<i>Schlangenbiss</i>	22
<i>Trennen von Salz und Pfeffer</i>	23
<i>Tanz der Schnipsel</i>	23
<i>Feld eines Fernsehers</i>	24
<i>Flug der Seifenblasen</i>	25
(3) GLEICHSTRÖME.....	26
STROMERZEUGUNG	26
<i>Strom aus einer Zitrone</i>	26
<i>Fruchtbatterie</i>	27
<i>Gaslampenzünder</i>	28
ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT	29
<i>Leiter und Nichtleiter</i>	29
<i>Bleistift als Regelwiderstand</i>	30
<i>Stromleitung im Wasser</i>	31

OHMSCHE WIDERSTÄNDE.....	32
<i>Widerstand zweier Glühbirnen.....</i>	32
<i>Das heiÙe Kaugummipapier.....</i>	33
<i>Wurstchengrill.....</i>	34
<i>Leuchtende Essiggurke.....</i>	35
KONDENSATOR.....	36
<i>Ein Glas voll Elektrizitt.....</i>	36
<i>Wickelkondensator.....</i>	38
(4) MAGNETISMUS	41
ERZEUGEN EINES MAGNETEN.....	41
<i>Magnetisierter Nagel.....</i>	41
<i>Magnetisierte Schraube.....</i>	42
MAGNETISCHE KRFTE	43
<i>AbstoÙende Ngel.....</i>	43
<i>Weintrauben im Magnetfeld.....</i>	44
MAGNETISCHES FELD.....	45
<i>Magnetfelder im Haushalt.....</i>	45
MAGNETISCHE ABSCHIRMUNG UND ENTMAGNETISIERUNG	46
<i>Tanzende Buroklammer.....</i>	46
<i>Schwingender Stab.....</i>	48
(5) ELEKTRODYNAMIK	49
MAGNETFELDER BEWEGTER LADUNGEN	49
<i>Der verwirrte Kompass.....</i>	49
<i>Drahtschaukel.....</i>	50
<i>Zittrige Glhbirne.....</i>	52
<i>Stromleitende Aluschlinge.....</i>	53
<i>Stromleitende Aluschlinge II.....</i>	54
ELEKTROMAGNETISMUS	55
<i>Magnetisierungsspule.....</i>	55
<i>Elektromagnet.....</i>	57
INDUKTION	59
<i>Stromerzeugung.....</i>	59
<i>Bewegter Drahttring.....</i>	61
<i>Rutschpartie.....</i>	62
ELEKTROTECHNIK	63
<i>Gleichstrommotor.....</i>	63
ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN.....	64
<i>Pulsierende Bombe.....</i>	64
<i>CD-Vernichtung.....</i>	65
<i>Handy in der Mikrowelle.....</i>	66
(6) LITERATURVERZEICHNIS	67
(7) ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	68
BILDER	68
GRAFIKEN:	69
(8) INDEX	70

(1) Fachdidaktisches

Mit Hilfe des Freihandversuchs ist es möglich physikalische Grundprinzipien an Alltagsgegenständen zu erklären, ohne dass der Lernwillige mit Apparaturen, die zur Versuchsdurchführung notwendig sind, belastet wird. So wirft die Verwendung einer Batterie als Stromquelle weniger neue Fragen auf, als eine Experimentier-Stromversorgung mit einstellbarem Spannungsbereich.

Was ist ein Freihandversuch?

Der Begriff Freihandexperiment ist verglichen mit der Geschichte der Physik ein vergleichsweise junger. Erst als zur Demonstration der Experimente aufwändige Apparaturen zur Verfügung standen, erhielten die bis dato üblichen Versuche zur Demonstration physikalischer Sachverhalte einen eigenen Stellenwert. Wie immer wird das konventionelle in solchen Phasen nicht sehr geschätzt und entsprechend dem Fortschritt wurden relativ einfache Zusammenhänge mit stets aufwändigeren Apparaturen demonstriert. Einer der ersten war H. HAHN, der im September 1905 auf der 77. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Meran das Buch „Physikalische Freihandversuche“ vorstellte. Er definiert den Freihandversuch folgendermaßen:

„Bei der Lösung meiner Aufgabe war es notwendig, die Freihandversuche gegen die eigentlichen Schulversuche, die Schülerübungen und die Spiele abzugrenzen. Aufgenommen wurden neben den Versuchen mit den Gegenständen des täglichen Gebrauchs auch Versuche mit einfachen Vorrichtungen, die jeder Lehrer selbst herstellen kann, wenn er die Werkzeuge besitzt, die ein gut ausgestatteter Nagelkasten, wie er in jedem Haushalt vorhanden ist, zu enthalten pflegt.“¹

Eine modernere Definition des Begriffes der Freihandexperimente findet man bei Wolfgang HEYDER:

„Der Freihandversuch ist ein physikalischer Schul- oder Hausversuch, der im Wesentlichen qualitativer Natur ist und durch die Einfachheit der experimentellen Mittel innerhalb und außerhalb des Unterrichtsprozesses leicht ausführbar und jederzeit einsatzfähig ist.

Zu seiner Durchführung werden Gegenstände des täglichen Bedarfs und Geräte aus dem Haushalt verwendet. Daneben können auch Lehrmittel einfachster Art eingesetzt werden.“²

¹ HAHN H. (1905); Physikalische Freihandexperimente Band 1; Verlag Otto Salle Berlin; S. IV

² HEYDER W. (1967); Die Stellung des Freihandversuchs im System der Experimente des Physikunterrichts und seine Bedeutung für die Entwicklung des Erkenntnisvermögens der Schüler; Dissertation am Pädagogischen Institut Güstrow der Universität Rostock; S. 42-43

Aus einer stark schulisch orientierten Perspektive schreibt B. KORN:

„Der Freihandversuch ist ein weitgehend qualitatives physikalisches Lehrer-, Schüler- oder Hausexperiment, das im Wesentlichen mit Gegenständen des täglichen Bedarfs und mit einfachsten Lehrmitteln jederzeit eingesetzt werden kann.“³

Allen als Freihandexperiment bezeichneten Versuchen können einer oder mehrere der folgenden Punkte zugeordnet werden.

- Verwendung von Gegenständen des täglichen Lebens
- Quantitative Aussage physikalischer Gesetze
- Durchführung des Experiments nach geringer Vorbereitungszeit
- Versuchsaufbauten aus wenigen Teilen

Wenn man möchte, kann man die Menge der Freihandexperimente einer der folgenden Gruppen zuordnen.

Klassische Freihandexperimente

Zeichnen sich vor allem durch die Verwendung von Gegenständen des täglichen Lebens und dem vollständigen Verzicht auf jegliche teuren und schwer erhältlichen Gerätschaften aus. Die Ablenkung eines Wasserstrahls mit Hilfe eines Kammes ist ein gutes Beispiel für diese Gruppe.

Quick-Experiments

Zeichnen sich durch den geringen zeitlichen Aufwand der Vorbereitung aus, wie die Demonstration der elektrostatischen Entladung beim Ausziehen eines Pullovers.

Low-Cost-Experiments

Diese Experimente verursachen geringe Kosten, da die Gerätschaften zur Durchführung bereits vorhanden sind wie zum Beispiel Handy, Fernsehgerät, Multimeter oder ein Oszilloskop. Der Versuch zur Demonstration der Leckrate einer Mikrowelle mit Hilfe eines Handys ist hier ein geeignetes Beispiel.

³ KORN B. (1981); Der Freihandversuch in der Sekundarstufe I; Hausarbeit am Institut für Didaktik der Physik der Universität Siegen; S. 27

Warum sollen Freihandexperimente durchgeführt werden?

Forderung des Lehrplanes

Im allgemeinen Teil des Lehrplanes für allgemein bildende Schulen wird als allgemeines Bildungsziel für den Bildungsbereich Natur und Technik gefordert:

„Die Natur als Grundlage des menschlichen Lebens tritt in vielfältiger, auch technisch veränderter Gestalt in Erscheinung. Die Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge der Natur sind als Voraussetzung für einen bewussten Umgang und die Nutzung mit Hilfe der modernen Technik darzustellen. Verständnis für Phänomene, Fragen und Problemstellungen aus den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaft und Technik bilden die Grundlage für die Orientierung in der modernen, von Technologien geprägten Gesellschaft. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzungen sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln.“⁴

Im Lehrplan für Physik findet man in den Bildungs- und Lehraufgaben unter den Fachspezifischen Zielen eine Auflistung von zu vermittelnden Fähigkeiten und Fertigkeiten:

„Fähigkeit, genau zu beobachten, Einzelheiten zu sehen und das Beobachtete sprachlich richtig wiederzugeben.

...

Fähigkeit, einfache Experimente durchzuführen und Ergebnisse zu interpretieren.

...

Fähigkeit, aus bekannten Gesetzen und Modellen Vorhersagen über den Ausgang eines Versuchs zu machen.“⁵

In den didaktischen Grundsätzen wird auf das Experiment als wesentliche, stark motivierende, Komponente der Physik hingewiesen. Deshalb wird dem Experiment eine zentrale Rolle im Unterricht zugeschrieben. Im Lehrplan sind in den einzelnen Modulen so genannte charakteristische Versuche angeführt, von denen nach Maßgabe der experimentellen Ausstattung bei der Erarbeitung eines Moduls zumindest eines der angegebenen durchgeführt werden soll. An dieser Stelle wird das Freihandexperiment explizit angeführt.

⁴ <http://www.bmbwk.gv.at> → Bildung, Schulen → Unterricht und Schule → Lehrpläne → AHS-Oberstufe → Allgemeiner Teil; März 2004

⁵ <http://www.bmbwk.gv.at> → Bildung, Schulen → Unterricht und Schule → Lehrpläne → AHS-Oberstufe → Physik; März 2004

Belebung des Unterrichts

Zweifelsohne bieten der Versuch im Allgemeinen und der Freihandversuch im Speziellen eine willkommene Abwechslung im Unterrichtsalltag. Diese Möglichkeit, den verbalen Vortrag oder die Herleitung von Formeln auf Tafel oder Overhead mit schülerzentrierten Freihandversuchen aufzulockern, dient der Motivation der Schüler und sollte auf jeden Fall genutzt werden.

Förderung des Unterrichtsertrages

Führende Pädagogen wie zum Beispiel Wagenschein, der in seinem Werk „Verstehen lehren“⁶ die Methode des exemplarischen Lernens beschreibt, hebt diese als besonders gewinnbringend hervor. Der Freihandversuch ist ein geeigneter Einstieg in den exemplarischen Weg, der eine Beobachtung oder einen bekannten Sachverhalt als Einstieg für die Erarbeitung des Lernstoffes heranzieht. Beginnend vom leichten Verständnis des beobachteten Freihandexperiments aufgrund der Einfachheit des Aufbaus bis zur Durchführung der Versuche durch Schüler reicht die mögliche Anwendung. Diese Art des Einstiegs bringt die Frage nach dem Warum von allen möglichen Einstiegen am ehesten hervor und es wird ein solider Grundstein für den kommenden Lernweg gelegt

⁶ WAGENSCHN Martin (1992); Verstehen lehren: genetisch – sokratisch - exemplarisch; Verlag Beltz Basel

Möglicher Einsatz im Unterricht

Nachdem die Sinnhaftigkeit des Einsatzes des Freihandversuches außer Zweifel stehen sollte, stellt sich die Frage nach dem optimalen Einsatz des Freihandversuchs im Unterrichtsalltag.

Exemplarischer Einstieg

Vor allem Versuche, die einen gewissen Überraschungseffekt haben, eignen sich besonders gut um das Interesse der Schüler zu wecken. Der Versuch sollte so gewählt werden, dass der Schüler sich nach dem Warum fragt. Der zu vermittelnde Lehrinhalt sollte in dem Versuch einwandfrei zu erkennen sein um im Zuge der Erklärungen und Ausführungen immer wieder, jedoch mit gestiegenem Verständnis, auf den Versuch zurückzukommen.

Versuch zur Bestätigung des Erlernten

Auch nach der Erarbeitung eines Themas kann der Freihandversuch eingesetzt werden. Wurde bereits ein formaler Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung gefunden, so eignet sich ein kleiner Versuch ausgezeichnet, um das Verständnis der Theorie mit der experimentellen Wirklichkeit zu überprüfen. Vor allem der Freihandversuch mit seinem nicht immer eindeutig zu interpretierenden Versuchsausgängen bringt eine gewisse Verunsicherung mit sich, die zu einer kritischen Hinterfragung der logischen Schlussfolgerungen führt.

Schülerexperiment

An vielen Stellen fordert der Lehrplan die Durchführung von Schülerexperimenten. Viele dieser Versuche lassen sich als Freihandexperimente durchführen, was sicherlich zu einer engeren Verknüpfung des Gelernten mit anderen in der Umwelt beobachteten Vorgängen führt.

Referat

Vor allem Low-Cost-Experimente eignen sich zur Vorbereitung und Präsentation durch einen Schüler oder eine Gruppe von Schülern. Ein bereits im Unterricht behandeltes Thema soll vom Schüler in Heimarbeit vorbereitet und vor der Klasse präsentiert werden. Eine intensive Auseinandersetzung mit den physikalischen Zusammenhängen des Stoffes durch den Schüler sollte dem Lehrer gewiss sein.

(2) Elektrostatik

Wer hat nicht schon das Knistern und die Lichtblitze beim Ausziehen eines Pullovers bemerkt? Oder den leichten Schlag beim Griff nach der Türklinke, nachdem man über einen Teppich gegangen ist?

Diese und noch einige andere Phänomene werden in den Teilbereichen der Elektrostatik behandelt.

Mit Hilfe einiger einfach zu bauender Apparaturen werden die Fragen nach der Entstehung elektrischer Ladungen, deren Kraftwirkungen und noch einige andere Fragen beantwortet.

Einstiegsexperiment

Der verbogene Wasserstrahl

So geht's

Ein Wasserhahn wird gerade so weit aufgedreht, dass ein dünner Wasserstrahl entsteht. Mit einem Kunststoffkamm kämmt man sich einige Male durchs Haar und bringt den Kamm in die Nähe des Wasserstrahls. Man kann beobachten, wie der Strahl aus seiner ursprünglichen senkrechten Fließrichtung abgelenkt wird und zwar in Richtung des Kammes.



Bild 2-1: Der Wasserstrahl wird elektrostatisch abgelenkt.

Physikalischer Hintergrund

Anfangs sind sowohl auf dem Kamm als auch in den Haaren gleich viele positive wie negative Ladungsträger vorhanden. Beim Kämmen der Haare werden die Ladungen zwischen Haaren und Kamm verschoben und sowohl Kamm als auch Haare haben einen Überschuss an Ladungsträgern einer bestimmten Sorte.

Da das Wasser aus Molekülen besteht, welche aufgrund ihres Aufbaues eine positiv und eine negativ geladene Seite besitzen, richten sie sich im elektrischen Feld des geladenen Kammes aus und werden in Richtung Kamm beschleunigt.

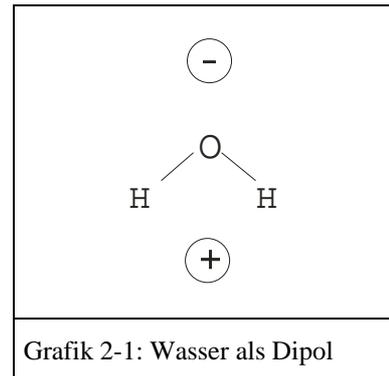
Die Anreicherung der Haare mit Ladungen vom gleichen Typ bewirkt, dass sich die Haare gegenseitig abstoßen und trägt somit zur Verbesserung des „Volumens“ der Frisur bei.

Entsprechend der nebenstehenden Tabelle kann man den Versuch auch mit anderen Stoffen und sowohl positiv als auch negativ elektrisch geladenen Stoffen durchführen. In allen Fällen wird sich jedoch dasselbe Ergebnis einstellen.

Stoff	Reibzeug	Ladung
Glas	Papier	+
Glas	Leder	+
Kunststoff	Wolle	-
Kunststoff	Textil	-

Das Wasserstoffmolekül ist ein elektrischer Dipol, es besteht aus einer V-förmigen Anordnung eines Sauerstoffatoms (Mitte) und zweier Wasserstoffatome. Durch die gemeinsame Nutzung der Bindungselektronen, der höheren Elektronenanziehung des Sauerstoffs und einer daraus resultierenden höheren Aufenthaltswahrscheinlichkeit in der Nähe des Sauerstoffs ergeben sich eine negativ geladene Sauerstoffseite und eine positive Wasserstoffseite.

Berührt man mit dem Lineal den Wasserstrahl, so findet eine Entladung statt, das Lineal ist also elektrisch neutral und kann somit den Strahl nicht mehr ablenken.



Erzeugen elektrischer Ladungen

Wie schon gesehen, kann man sehr leicht mit einem Kamm Ladungen trennen. Welche Materialien eignen sich noch zur Trennung elektrischer Ladungen und gibt es vielleicht geeignetere als Haare und Kamm?

Reibungselektrizität

Jedes Material ist aus einer bestimmten Anzahl von Ladungsträgern (Elektronen und Protonen) aufgebaut. Aufgrund ihres Aufbaus kann man Atome und Moleküle nach der Kraft, mit der das äußerste Elektron an den Kern gebunden ist, unterscheiden. Bei starker Bindung spricht man von hoher Affinität.

Reibt man 2 Stoffe unterschiedlicher Elektronenaffinität, so entsteht ein elektrisches Feld in der Berührungsfläche. In diesem Potential werden Elektronen beschleunigt und an den Reibpartner abgegeben, bis sich ein Gleichgewicht einstellt. Trennt man die Stoffe wieder, so bleibt diese Ladung erhalten und zwar umso besser, je schlechter der Stoff Ladungen transportieren kann. Deshalb eignen sich Isolatoren sehr gut um Reibungselektrizität zu erzeugen.

Wie leicht verschiedene Materialien Elektronen abgeben, geht aus der Tabelle hervor.

Geringe Affinität Leichte Elektronenabgabe	
Katzenfell	Der in der Tabelle oben stehende Reibpartner wird positiv geladen; Der untere negativ
Elfenbein	
Quarz	
Glas	
Nylon	
Wolle	
Baumwolle	
Seide	
Gummi	
PVC	
Hohe Affinität	

Beim Reiben fließen also vom Stoff mit geringerer Affinität negative Ladungen ab, er wird aufgrund der zurückbleibenden (positiven) Ionen¹ demnach positiv geladen, der andere aufgrund der Bildung von (negativen) Ionen entsprechend negativ.

Bei diesem Prozess werden keine Ladungen erzeugt, sie werden nur verschoben.

Reibt man einen PVC Stab mit Wolle, so wird der Stab negativ geladen. Hingegen wird ein Glas beim Reiben mit Wolle positiv geladen.

¹ Grundsätzlich sind Atome aufgrund der gleichen Anzahl von Elektronen und Protonen (Positive Kernladungen) elektrisch neutral. Durch die Einwirkung von Energie können Elektronen abhanden kommen. Aufgrund des Fehlens einer negativen Ladungseinheit ist ein positives Ion entstanden. (H^+ , O^+)

Bei der Bindung zu Molekülen kommt es häufig zu Konfigurationen, die insgesamt negativ geladen sind, sogenannten negativen Ionen. (O_2^-)

Kraftwirkung elektrischer Ladungen

Der rotierende Löffel

Material

- 2 Kunststofflöffel
- Glas
- Reißnagel
- Leder
- Wolle

So geht´s

Auf einem geeigneten Untersatz aus isolierendem Material platziere man einen Reißnagel. Der Kunststofflöffel soll so ausbalanciert werden, dass er sich auf der Nadelspitze frei drehen kann. Hat man diese Stelle gefunden, so kann man mit der Nadel eine kleine Mulde in den Löffel bohren um einen guten Halt zu gewährleisten.

Durch Reiben des Löffels mit Wolle lädt man den Löffel negativ auf und legt ihn auf die Spitze. Lädt man den zweiten Löffel ebenfalls negativ auf, so bewegt sich der Löffel auf der Nadelspitze vom anderen Löffel weg und beginnt zu rotieren.

Reibt man nun ein Glas an einem Stück Leder, so wird das Glas positiv geladen und man beobachtet beim Heranföhren an den rotierenden Löffel, dass eine anziehende Kraft wirkt, welche den Löffel ebenfalls in Rotation versetzt.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab
- Ungleichnamige Ladungen ziehen sich an
- Die Kraft nimmt bei geringerer Entfernung zu

Da die Berechnung der Kraftwirkung eines ausgedehnten Körpers schwierig ist, vereinfacht man diese auf Kugeln und schrumpft diese Kugeln zu Punkten.

Eine mögliche Formulierung des Zusammenhangs könnte wie folgt lauten:

Die Kraft F entlang der Verbindungslinie zweier punktförmiger Ladungen ist proportional dem Produkt der beiden Ladungen und nimmt mit dem Quadrat des Abstandes r ab.



Bild 2-2: Die gleichnamig geladenen Löffel stoßen sich ab.

Die genaue Formulierung dieses Zusammenhangs liefert das Coulombsche Gesetz:

Coulomb Gesetz	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$	F	N	Kraft zw. den Ladungen
	Q_1	C	erste Ladungsmenge
	Q_2	C	zweite Ladungsmenge
	r	m	Abstand der Ladungen
	ϵ_0	$\frac{\text{As}}{\text{Vm}}$	elektrische Feldkonstante

Nähert man zwei gleichnamige Ladungen Q bis auf einen Abstand r aneinander an, so ergibt die Multiplikation zweier Zahlen mit gleichem Vorzeichen eine positive Kraft, welche von Ladung 1 auf Ladung 2 gerichtet ist. Diese Kraft bewirkt eine Beschleunigung der beiden Punktladungen voneinander weg.

Tanzende Kugeln

Material

- CD-Hülle, Schallplatte
- Kunststoffkugeln aus leeren Tintenpatronen
- Wolle

So geht´s

Mit dem Wolltuch wird die CD-Hülle kräftig gerieben. Danach werden die Kügelchen auf die Hülle aufgebracht, ohne dabei die Hülle mit den Fingern zu berühren. Am besten lässt man sie aus einiger Höhe fallen. Die Kugeln beginnen wie wild auf der Hülle herumzurollen, verlassen diese jedoch nicht. Nach einiger Zeit bleiben sie ruhig stehen.

Bewegt man nun den Finger an die Kugel heran, so kommt es zwischen Kugel und Finger zu einem kleinen Blitz, welchen man als Knistern wahrnehmen kann. Im Dunklen kann man ihn sogar sehen. Die Kugel beginnt sich nun wieder zu bewegen, bleibt jedoch abermals nach kurzer Zeit stehen.

Physikalischer Hintergrund

Durch das Reiben der Kunststoffhülle werden Elektronen (negativ geladen) von der CD-Hülle auf das Wolltuch übertragen. Weil der Hülle nun negative Ladungen fehlen, ist sie positiv geladen. Betrachtet man die kleine ungeladene Kunststoffkugel, so trägt diese auf ihrer Oberfläche gleich viele negative wie positive Ladungen. Diese Ladungen sind zufällig verteilt und führen zu einer insgesamt neutralen Ladung der Kugel. Setzt man diese Kugel nun auf die positiv geladene Hülle, so ziehen sich die negativen Ladungen auf der Kugel und die positiven der Hülle an. Dadurch setzt sich die Kugel in Bewegung. Ab einer bestimmten Distanz kommt es zum Ladungsausgleich zwischen geladenem Kugeloberflächenbereich und Hülle. Nach einiger Zeit haben sich die Ladungen so ausgeglichen, dass insgesamt ein Gleichgewicht besteht und sich anziehende und abstoßende Kräfte die Waage halten. Durch die Annäherung des Fingers entlädt sich ein Teil der Kugeloberfläche und das Spiel beginnt von neuem.



Bild 2-3: Die Kugeln tanzen auf der geladenen CD-Hülle

Elektrisch gekoppelte Pendel

Material

- 2 gleiche Lineale, Käbme, Kochlöffel aus elektrostatisch aufladbarem Material
- Stricknadel
- Wolltuch
- Buch

So geht's

Die beiden Stricknadeln werden so zwischen die Seiten eines Buches gesteckt, dass sie einen Abstand von ca. 10 cm voneinander haben und waagrecht wegstehen. Die beiden Kochlöffel, die nahe am Ende ein Loch besitzen, hängen wir nun auf den Stricknadeln auf. Sollten die Kochlöffel beim Pendeln auf den Nadeln rutschen, kann man durch Unterlagen von Papierstücken unter dem Buch die horizontale Lage des Buches und somit der Stricknadeln verbessern.

Nun stoßen wir einen der beiden Kochlöffel derart an, dass er frei schwingt, jedoch nicht den anderen berührt. Man kann beobachten, dass der angestoßene Kochlöffel eine periodische Pendelbewegung ausführt, ohne jedoch den anderen zu beeinflussen.

Nachdem wir durch Reiben die Kochlöffel elektrostatisch geladen haben, wiederholen wir das Experiment. Man sollte darauf achten, den Kochlöffel nicht mit dem Finger, sondern mit einem nicht leitenden Gegenstand wie zum Beispiel dem Reibzeug anzustoßen, um ein Entladen des Kochlöffels zu vermeiden.

Im Unterschied zum ersten Durchgang können wir erkennen, dass der zweite Kochlöffel durch den ersten beeinflusst wird. Nach kurzer Zeit beginnt der anfangs ruhende Kochlöffel immer stärker zu schwingen, wobei sich die Auslenkung des ersten immer mehr verringert, bis er zum Stillstand kommt. Steht ein Pendel ruhig, so hat das andere seine maximale Auslenkung. Dieser Vorgang wiederholt sich einige Male, bis die Bewegungsenergie der beiden Pendel durch die Reibung am Aufhängepunkt zum Stillstand kommt.

Physikalischer Hintergrund

Durch die elektrostatische Aufladung der beiden Löffel, verhalten sie sich wie gekoppelte Pendel. Eine Möglichkeit solch ein System zu realisieren sieht folgendermaßen aus: Zwei Stäbe, die an einem Ende an einem Drehpunkt aufgehängt sind und an deren anderem Ende sich ein massives Gewicht befindet, werden mit solchem Abstand voneinander aufgehängt, dass sie frei schwingen können. Die beiden Stäbe werden mit einer Feder verbunden, welche auch Kopplungsfeder oder einfach Kopplung genannt wird. Durch diese Kopplung kann nun das schwingende Pendel das Ruhende anregen und somit in Bewegung versetzen. Da in diesem abgeschlossenen System jedoch Energie nicht aus dem Nichts entstehen kann, schwingt das anregende Pendel immer weniger weiter aus (und wird somit langsamer), bis es zum Stillstand kommt.

Die Zeitdauer zwischen den Ruhezuständen eines der beiden Pendel hängt von der Stärke der Kopplungsfeder und den Schwingungseigenschaften der ungekoppelten Pendel ab.



Bild 2-4: Energie wird elektrostatisch übertragen.

In unserem Fall wird die Kopplung durch die Coulomb Kraft, die zwischen den beiden gleichnamig geladenen Körpern herrscht, verwirklicht. Da sie gleichnamig geladen sind, stoßen sie sich ab, sobald sie sich nahe genug kommen.

Die Zeitdauer zwischen den Stillständen eines der beiden Pendel wird Schwebungsperiode T genannt. Sie ergibt sich aus

Schwebungsdauer	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$T= f_1-f_2 $	T	s	Schwebungsperiode
	f_1	Hz	Frequenz der Eigenschwingung bei konstanter Auslenkung der Kopplungsfeder (Beide Pendel schwingen in Phase)
	f_2	Hz	Frequenz der Eigenschwingung bei symmetrischer Auslenkung der Pendel bezüglich der Kopplungsfeder

Staubzucker

Material

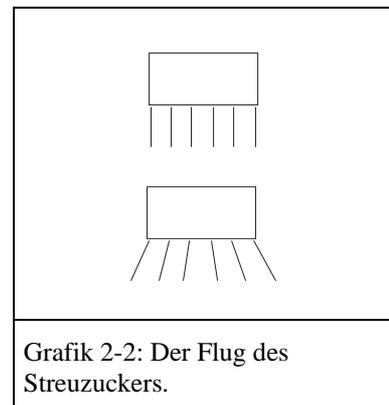
- Staubzucker
- Zuckerseiver am besten mit flachem Sieb

So geht's

Streut man den Zucker durch das flache Sieb, so fallen die Zuckerkristalle zunächst geradlinig nach unten, nach einiger Zeit des Schüttelns und Streuens, kann man jedoch beobachten, dass der Staubzucker mehr und mehr zur Seite hin abgelenkt wird.

Physikalischer Hintergrund

Beim Durchsieben und Schütteln des Staubzuckers laden sich die einzelnen Körnchen elektrostatisch auf. Die Erklärung für den schräg fallenden Teil der Körnchen ist durch die abstoßende Kraft gleichnamig geladener Körper gegeben.



Grafik 2-2: Der Flug des Streuzuckers.

Messen elektrischer Ladungen

Elektroskop

Bauanleitung 1

Material

- Gurkenglas
- Flaschenkork
- Eisennagel
- Alufolienstreifen (5x1 cm)
- Faden, Gefrierbeutelverschluss oder Tixo

Der Alustreifen wird der Länge nach in der Mitte gefaltet und entlang der Falte bis auf ein 5 mm langes Stück aufgeschnitten. Mit dem Nagel durchbohrt man den Korken in Längsrichtung und lässt den Nagelkopf noch ca. eine Fingerbreite herausstehen. In den Schraubdeckel des Gurkenglases sticht man ein Loch, welches groß genug sein soll, um dem Korken guten Halt zu geben und steckt die Kork-Nagel-Einheit hinein. Nun bindet man den Alustreifen mit der nicht aufgeschlitzten Seite an der Nagelspitze fest und zwar so, dass der Streifen eine Linie mit dem Nagel bildet. Schließlich schraubt man den Deckel auf das Glas und kürzt die Alustreifen, damit sie nicht den Boden des Glases berühren.



Bild 2-5: Elektroskop im Gurkenglas

Tip (Spitzenladung)

Obwohl eine Nadel viel leichter durch den Kork zu treiben ist als ein dicker Nagel, sollte man einen Nagel oder Draht verwenden, der über möglichst wenig Spitzen verfügt, da durch die sogenannte Spitzenwirkung an diesen Stellen hohe Ladungsdichten zustande kommen und somit die Ladungen schneller abtransportiert werden und der Ausschlag des Elektroskops zurückgeht. Aus dem selben Grund sollte man auch sämtliche spitze Ecken abrunden.

Bauanleitung 2

Material

- Trinkhalm
- Streichholz
- Alufolie
- Stecknadel
- Karton
- Plastilin

Man schneidet aus dem Karton zwei Rechtecke (6x4 und 4x4 cm) aus und überzieht sie beidseitig mit Alufolie. Am Rechteck befestigt man mit einer Stecknadel einen Streifen Alufolie (2x4 cm), sodass der Streifen noch frei schwingen kann. Das Rechteck wird mit Tixo am Trinkhalm befestigt, sodass es ein paar mm über den Rand hinausragt. In die Mitte des Quadrats wird ein Loch gebohrt und das Streichholz darin befestigt. Damit wird es in den Trinkhalm gesteckt. Um das Elektroskop zu fixieren, wird es in einen Plastilinsockel gesteckt.

Bauanleitung 3

Material

- Blechdose
- 2 Papierstreifen mit 1x5 cm
- Tixo oder Reißnagel

Die beiden Papierstreifen werden deckungsgleich übereinander gelegt und die Ecken abgerundet. Nun nimmt man den Reißnagel und durchsticht die Streifen an einem Ende. Damit die Streifen frei schwingen können, weitet man das Loch etwas auf. Mit dem Reißnagel durchsticht man die Blechdose im unteren Teil so, dass der Nagel guten Halt findet, jedoch noch zur Hälfte herausschaut. Auf dem herausstehenden Teil der Nadelspitze sollen die Papierstreifen genügend Platz finden um frei schwingen zu können. Die Blechdose wird nun so auf eine Diskettenbox oder ein dickes Buch gestellt, dass der Teil mit den Papierstreifen über die Unterlage hinaussteht. Da die Ladungen auf der Innenseite der Dose abzustreifen sind, ist es von Vorteil, dass ein eventuell vorhandener Kunststoffüberzug vermieden, bzw. etwas angekratzt wird.

Tipp: (Faraday Becher)

Da sich gleichnamige Ladungen abstoßen und sie sich im leitenden Becher frei bewegen können, ordnen sie sich an der Außenseite des Bechers an. Dadurch ist es möglich durch das Einbringen von Ladungen auf der Innenseite, den Becher immer stärker aufzuladen, auch wenn die neu herangebrachte Ladung kleiner ist als die Ladung auf der Außenseite des Bechers.

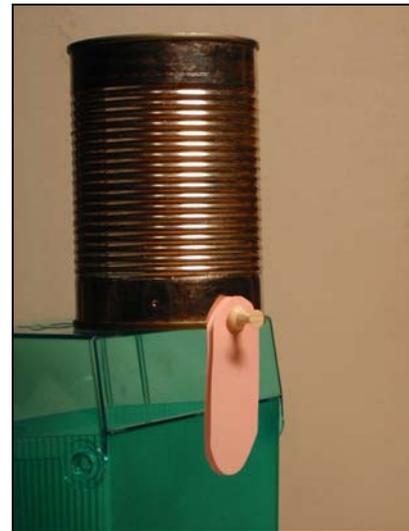


Bild 2-6: Das Becherelektroskop

Bauanleitung 4

Material

- Trinkhalm
- Alufolie
- Tixo

Zur Fertigung des großen Rückteils, wird ein 6x20 cm großes Stück Alufolie zu einem 6x4 cm großen Rechteck gefaltet. Für den Zeiger wird aus einfach gefalteter Folie ein 1x4 cm großes Stück Folie ausgeschnitten, mit einer Nadel an einem Ende durchstochen und das Loch ausgeweitet. Mit der Stecknadel wird der Streifen auf der Rückwand so befestigt, dass er frei schwingen kann. Nun klebt man mit einem Tixostreifen die Apparatur am Trinkhalm fest. Um die Ladungen besser auf das Elektroskop übertragen zu können, klebt man auf die Rückseite der Rückwand einen einfach gefalteten etwa 1x5 cm großen Steifen Folie. Das Elektroskop klemmt man mit dem Trinkhalm zwischen die Seiten eines Buches oder klebt es mittels eines Tixostreifens auf ein Glas.

So geht's

Reibt man einen Kochlöffel aus Kunststoff an einem Wolltuch und streicht mit dem Löffel über die dafür vorgesehene Stelle, so schlägt das Elektroskop aus. Wiederholt man diesen Vorgang einige Male, so kann man einen stärkeren Ausschlag beobachten.

Reibt man nun einen Glasstab oder einen Glasbecher an der Wolle und streift die Ladung ab, so beobachtet man, dass der Ausschlag zuerst zurückgeht und nach einigen Durchgängen wieder beobachtbar ist.

Nun kann man dasselbe wieder mit dem Kochlöffel versuchen.



Bild 2-7: Ladungen können auf das Elektroskop übertragen werden.

Physikalischer Hintergrund

Das Elektroskop kann sowohl positiv als auch negativ geladen werden. Reibt man einen Gummistab (oder Kochlöffel) an einem Stück Wolle, so werden negative Ladungen (Elektronen) auf den Stab übertragen, er ist also negativ geladen. Streicht man nun mit dem Stab über das Elektroskop, so werden die Ladungen übertragen und gleichmäßig verteilt. Daher ist das Elektroskop nun negativ geladen. Da sich zwei gleichnamige elektrische Ladungen abstoßen, bewegt sich der Zeiger von dem unbeweglichen Rechteck weg. Je größer die Ladung des Elektroskops ist, umso größer ist der zu beobachtende Ausschlag.

Reibt man nun einen Glasstab mit einem Stück Leder, so wird der Stab positiv geladen. Überträgt man nun die Ladungen auf das Elektroskop, so vermindert sich die negative Ladung um den eingebrachten positiven Teil, dadurch werden die abstoßenden Kräfte kleiner und ein Rückgang des Ausschlags ist zu beobachten. Wiederholt man dies einige Male, so ist das Elektroskop nun positiv geladen und der Zeiger schlägt aufgrund der positiven Ladung aus.

Elektrostatische Entladung

Entladen eines Elektroskops

So geht´s

Man lade ein Elektroskop und beobachte die Zeitdauer, die benötigt wird, bis der Ausschlag des Zeigers zurückgegangen ist.

Diesen Versuch wiederhole man, jedoch bringe man eine Kerze oder ein Feuerzeug in die Nähe des Elektroskops.

Mit etwas Geduld kann man auch einen Unterschied zwischen „abgestandener“ Raumluft und frischer Luft feststellen. Am besten nach einem Gewitter oder Regenguss.

Erklärung

Beim Elektroskop kann man beobachten, dass sich der Ausschlag des Zeigers, sprich die Ladung, nach einiger Zeit verflüchtigt. Nähert man jedoch die Flamme einer Kerze oder eines Feuerzeuges dem Elektroskop, so wird dieser Vorgang stark beschleunigt.

Der Grund liegt in der höheren Ionenkonzentration in der Flamme gegenüber der Luft. Da diese Ionen gerne Ladungen abgeben oder aufnehmen, kommt es zum Ausgleich der Ladungen, bis der Überschuss an positiven oder negativen Ladungen am Elektroskop abgebaut ist.



Bild 2-8: Durch Heranführen der Flamme wird das Elektroskop entladen.

Physikalischer Hintergrund

Gase sind Isolatoren und leiten daher keine Ladungen. In normaler Luft ist jedoch stets eine gewisse Konzentration an sowohl positiven als auch negativen Ionen enthalten. Ionen sind Atome, denen durch Hitze oder Einwirkung energiereicher Strahlung (Radioaktivität, Röntgenstrahlung) so viel Energie zugeführt wurde, dass ein Elektron aus seiner Bahn gehoben wurde und aus dem Einflussbereich des Kernpotentials entweichen konnte. Diese Ionen sind jedoch nicht stabil, da sie durch Aufnahme eines Elektrons die elektrische Neutralität wieder herzustellen versuchen.

Es gibt jedoch auch Ionen, die danach trachten, ein Elektron abzugeben, diese Ionen sind meist Moleküle, die insgesamt einen Überschuss an Elektronen, bezogen auf die Anzahl der Protonen, besitzen.

Gesunde Raumluft

An der Zeitdauer, die für die Entladung eines Elektroskops benötigt wird, kann man die Konzentration der in der Raumluft vorhandenen Ionen ableiten. Je länger das Elektroskop für den Rückgang des Zeigers benötigt, desto geringer ist die Konzentration. Die biologischen Auswirkungen der Luftionenkonzentration sind als erwiesen anzusehen. Besonders günstig sollen sich negative Ionen auswirken. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass eine hohe Konzentration als angenehm einzustufen ist.

Ort	Positive und Negative Ionen pro m ³
Über dem Ozean	600
Saubere Berg/Land Luft	2.000-20.000
Nebel, Regen Gewitter	>10.000
Schadstoffbelastetes Industriegebiet	80
Wohnung	2% der Außenluft

Elektrostatisch geladene Gegenstände (Fernseher, Kunstfaserteppich, ...) in der Wohnung binden Ionen und senken somit den Ionengehalt der Raumluft. Das Rauchen einer einzigen Zigarette kann die Ionenkonzentration um den Faktor 10 bis 100 senken². Durch häufiges Lüften kann man die Ionenkonzentration jener der Außenluft angleichen.

² Siehe [3]

Influenz

Influenz beim Becherelektroskop

Material

- Elektroskop nach Bauanleitung 3
- Kunststofflöffel
- Wolle

So geht's

Der elektrostatisch geladene Gegenstand wird von oben in das ungeladene Elektroskop gehalten, ohne die Blechdose zu berühren. Bewegt man nun den Löffel aus dem Becher heraus und wieder hinein, so kann man einen Ausschlag des Elektroskops im Gleichtakt mit der Bewegung des Löffels beobachten.



Bild 2-9: Durch Influenz schlägt das Elektroskop aus.

Physikalischer Hintergrund

Die Dose besteht aus einem elektrisch leitfähigen Material. Das heißt, dass sich Elektronen im Metall frei bewegen können. Bringt man einen elektrostatisch geladenen Gegenstand in die Nähe eines leitfähigen Materials, so werden die Elektronen entsprechend des Coulombschen Gesetzes von positiven Ladungen angezogen und von negativen abgestoßen. Durch diese Kraft setzen sich Elektronen in Bewegung und fließen auf die positive Ladung zu bzw. von der negativen Ladung weg bis ein Gleichgewicht zwischen den ungleichmäßig verteilten Elektronen im Metall und der Kraft der herangeführten Ladung besteht. Die im Metall verschobenen Elektronen bilden eine gleichstarke in gleichem Abstand befindliche Ladung, welche entgegengesetztes Vorzeichen bezüglich der herangebrachten Ladung besitzt. Man spricht von einer sogenannten Spiegelladung.

Für unser Elektroskop bedeutet dies, dass der negativ geladene Löffel die Elektronen abstößt und es somit zu einer erhöhten Elektronenkonzentration in den Zeigern des Elektroskops kommt, was zu einem Ausschlag führt. Da jedoch nur Ladungen verschoben und keine neuen erzeugt werden, geht dieser Ausschlag zurück, sobald man den Löffel entfernt.

Radiowecker am 50 Hz Stromnetz

Der menschliche Körper besteht zum überwiegenden Teil aus Wasser (Elektrolyt), was auch der Grund dafür ist, dass man den Menschen als Leiter betrachten kann. Der Radiowecker wird mit Netzspannung (230 V) betrieben und entspricht daher einer elektrischen Ladung. Nach dem Prinzip der Influenz verschieben sich nun im Menschen entlang der Körperoberfläche Ladungsträger. Dieser Vorgang ist jedoch kein einmaliger, sondern wiederholt sich 50 mal in der Sekunde, da unser Stromnetz ein Wechselstromnetz mit einer Frequenz von 50 Hz ist. Demnach treten hohe Verschiebestrome auf, welche besonders hoch an Engstellen, wie zum Beispiel Hals, ausfallen. Diese Ströme können die elektrochemischen Vorgänge des Menschlichen Organismus beeinflussen. Derselbe Effekt tritt auch bei einer am Netz hängenden Tischsteckdose auf und ist nicht vom Vorhandensein eines Verbrauchers abhängig.

Durch Einhalten eines genügend großen Abstandes (3 m) oder die Verwendung eines batteriebetriebenen Weckers kann man diese Art des Elektroskops reduzieren.

Elektrisches Feld

Dipol im elektrischen Feld

Material

- Kunststofflöffel
- Nagel
- Radiergummi oder Kugelschreiberhülle aus Kunststoff
- Faden 15 cm
- Wolle
- Glas

So geht's

Der Kunststofflöffel wird kräftig am Wolltuch gerieben und in ein Glas gestellt. Der Faden wird am Nagel in der Nähe des Schwerpunktes befestigt. Nun hält man das freie Ende des Fadens in der Hand und bringt den Nagel in die Nähe des Löffels. Wurde der Löffel gut genug am Wolltuch gerieben, sieht man, dass der Nagel stets auf den Löffel zeigt. Wiederholt man den Versuch mit einem Radiergummi anstelle des Nagels, so kann man ähnliches beobachten.

Physikalischer Hintergrund:

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Der Nagel zeigt in Richtung Löffel
- Der Nagel wird vom Löffel angezogen

Der Raum um den negativ geladenen Löffel wird von einem elektrischen Feld erfüllt, welches radial zum Löffel hin orientiert ist. Da der Nagel elektrisch leitfähig ist kommt es zu einer Ladungsverteilung aufgrund des Effektes der Influenz. Der Nagel wird also zu einem Dipol. Da das dem Löffel näher gelegene Ende des Nagels nun positiv geladen ist, kommt es zu einer Coulomb-Kraft durch die dieses Ende angezogen und das weiter entfernte abgestoßen wird. Durch dieses Drehmoment richtet sich der Nagel im Feld aus, bis er in Richtung der Feldlinien steht. Zusätzlich wird der Nagel in Richtung Löffel beschleunigt, da die Coulomb-Kraft auch nach der Ausrichtung des Dipols weiterhin wirkt.

Mit dieser Apparatur kann man also elektrische Feldlinien sichtbar machen.

Da der Radiergummi nicht elektrisch leitfähig ist, kann es nicht zu einer Ladungstrennung durch Influenz kommen. Es werden jedoch die einzelnen Atome und Moleküle, aus denen der Gummi besteht, zu Dipolen, welche aufgrund des äußeren Feldes alle gleich ausgerichtet werden. Zeigen viele kleine Einheiten in dieselbe Richtung, so spricht man von Polarisation. Nun summieren sich die einzelnen Drehmomente auf und bewirken ein Ausrichten im Feld und in weiterer Folge eine anziehende Kraft in Richtung Löffel.



Bild 2-10: Der Nagel zeigt in Richtung der Feldlinien.

Elektrostatischer Fußball

Material

- CD-Hülle
- Wolltuch
- Glas
- Leder
- Alufolie
- Faden

So geht's

Die Alufolie wird zu einer kirschgroßen Kugel gerollt und der Faden daran befestigt. Man reibe das Glas mit dem Leder und stelle es auf den Tisch. Die CD-Hülle wird mit dem Wolltuch gerieben und leicht geöffnet in einigen cm Entfernung vom Glas aufgestellt. Bringt man nun die Alukugel am Faden haltend zwischen die beiden Gegenstände, so wird sie sich in Bewegung setzen und zwischen Glas und CD-Hülle hin und her pendeln.

Tipp: Um den Vorgang zu starten ist es hilfreich, die Kugel sehr nahe an einen der beiden Gegenstände zu bringen.

Physikalischer Hintergrund

Durch das Reiben wird das Glas positiv und die CD-Hülle negativ geladen. Diese beiden Ladungen verursachen nun ein elektrisches Feld. Bringt man nun die leitende Kugel in das Feld ein, so werden durch Influenz Ladungen getrennt und die Kugel dadurch zu einem Dipol. Dieser richtet sich im Feld aus und wird in Richtung höherer Feldstärke, also zum stärker geladenem Gegenstand hin beschleunigt. Wir nehmen an, dass es sich dabei um das Glas handelt. Berührt die Kugel nun dieses, so entlädt sich der negative Teil der influenzierten Ladung und die Kugel ist wie das Glas positiv geladen. Dies führt zu einer abstoßenden Coulomb-Kraft und die Alukugel wird zur CD-Hülle hin beschleunigt. Dies wird durch eine anziehende Coulomb-Kraft zwischen den gegensätzlichen Ladungen von Kugel und Hülle unterstützt. An der CD angekommen entlädt sich die Kugel, nimmt Ladungen auf und transportiert diese ab.

Durch das hin- und herpendeln der Aluminiumkugel werden die Ladungsunterschiede zwischen den beiden Gegenständen ausgeglichen.

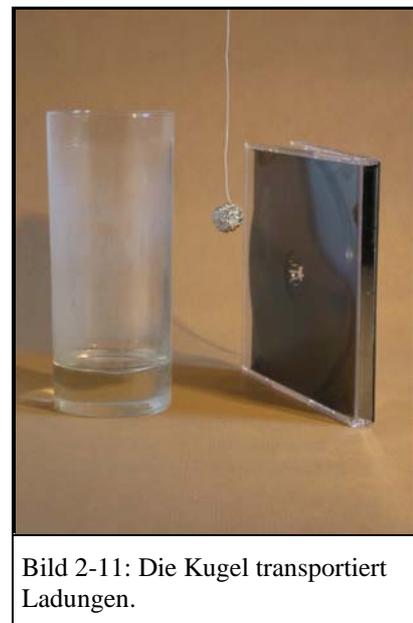


Bild 2-11: Die Kugel transportiert Ladungen.

Franklin Glocken (Nicht nachmachen Lebensgefahr!)

Um Gewitter vorherzusagen entwickelte Franklin folgendes Gerät:

Eine Glocke wurde geerdet aufgestellt. Als Klöppel diente eine Metallkugel, die in geringem Abstand zur Glocke aufgehängt und leitend mit einem Blitzableiter verbunden war. Näherte sich ein Gewitter, so wurde die Kugel wie der obige Fußball zur Glocke hin beschleunigt und schlug Alarm.

Wie durch ein Wunder überlebte Franklin diesen und eine Reihe ähnlicher lebensgefährlicher Versuche.

Springendes Öl

Material

- Kunststofflöffel
- Wolle
- Öl in offenem Gefäß (Schale, Löffel, ...)

So geht´s

Man reibt den Kunststofflöffel am Papier und bringt ihn dann knapp über die Oberfläche des Öls. Man kann beobachten, dass Öltröpfchen auf das Lineal überspringen.

Physikalischer Hintergrund

Der geladene Löffel verursacht durch Polarisierung eine Ausrichtung der Ölmoleküle. Bringt man den geladenen Löffel nahe genug an das Öl heran, so übersteigt die Coulomb-Kraft die Erdbeschleunigung und ein Öltröpfchen kann auf den Löffel überspringen.

Millikan-Versuch

Robert Andrews Millikan (1868 – 1953) bestimmte mit folgendem Versuch die Größe der Elementarladung:

Zwischen den horizontal angebrachten Platten eines Kondensators wurde ein Öltröpfchen eingebracht und aus seiner Sinkgeschwindigkeit in der Luft seine Masse bestimmt. Nun wurde an den Kondensatorplatten so lange die Spannung erhöht, bis das Tröpfchen zu schweben begann. Da in diesem Zustand ein Gleichgewicht zwischen Gravitationskraft und Coulombkraft besteht, kann man die Ladung des Tröpfchens berechnen. Da diese berechnete Ladung stets ein Vielfaches einer bestimmten Ladung war, konnte Millikan so die Ladung eines einzelnen Elektrons bestimmen.

Diese Ladung wird auch Elementarladung genannt: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



Bild 2-12: Das Öl überwindet die Schwerkraft.

Schlangenbiss

Material

- Papier oder Seidenpapier
- Metalltopfdeckel
- Kunststofflöffel
- Wolltuch

So geht's

Man schneidet aus dem Papier eine Spirale, welche eine Kobra in Angriffsstellung darstellen soll aus. Den Kopf der Schlange biegt man etwas auf und legt die Schlange auf den metallischen Untergrund. Der Kunststofflöffel wird kräftig am Wolltuch gerieben. Bringt man nun den Löffel in die Nähe der Schlange, so versucht sie nach dem Löffel zu schnappen.

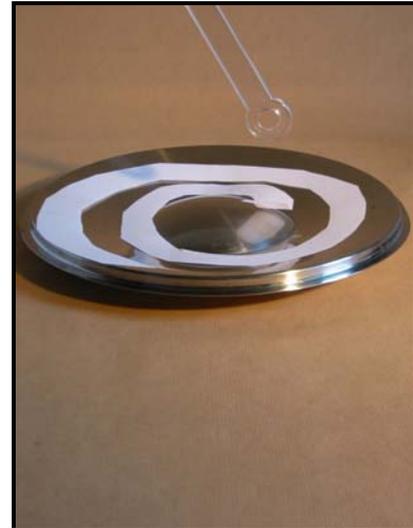
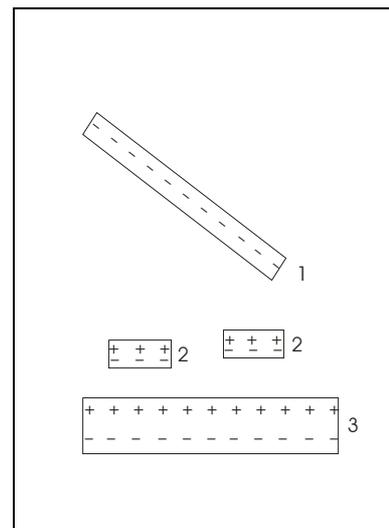


Bild 2-13: Die Schlange schnappt nach dem Löffel.

Physikalischer Hintergrund

Durch das Reiben des Plastiklöffels am Wolltuch werden Ladungen auf den Löffel übertragen und er somit negativ elektrostatisch geladen. Bringt man den geladenen Löffel in die Nähe des Metalldeckels, so werden durch Influenz Ladungen verschoben. Die Oberseite des Deckels ist nun entgegengesetzt der herangeführten Ladung, also positiv geladen. Die Papierschlange sitzt nun zwischen einem negativ geladenem Löffel und einer positiv geladenen Deckeloberfläche. Beide Umstände führen zur Polarisierung der Atome und Moleküle im Isolator, wobei die dem Löffel zugewandte Seite positiv wird. Durch die Coulomb-Kraft wird die Schlange vom Löffel, da sie entgegengesetzt geladen ist, angezogen. Da der Schlangenkopf dem Kunststofflöffel am nächsten ist und die Anziehungskraft mit dem Abstand abnimmt, setzt er sich als erstes in Bewegung.



Grafik 2-3: Die Ladungsverteilungen in Löffel (1), Schlange (2) und Metall (3).

Trennen von Salz und Pfeffer

Material

- Salz, Pfeffermischung
- Kunststofflöffel
- Wolltuch

So geht's

Salz und Pfeffer werden miteinander vermischt und auf einer ebenen Fläche verteilt. Reibt man den Kunststofflöffel an einen Wolltuch, so kann man den Pfeffer vom Salz durch Annähern des Löffels trennen.

Physikalischer Hintergrund

Durch das Reiben des Kunststofflöffels werden Elektronen (negativ geladen) auf den Löffel übertragen. Weil der Löffel nun einen Überschuss an negativen Ladungen hat, ist er negativ geladen. Salz und Pfeffer sind elektrisch nicht leitend, deshalb richten sich die Atome und Moleküle im elektrischen Feld des geladenen Löffels aus. Es kommt also zur Polarisierung. Nähert man den Löffel weiter an, so werden sowohl die Salz- als auch Pfefferkörner, beide können jetzt als Dipole im elektrischen Feld betrachtet werden, vom geladenen Löffel angezogen. Da die Salzkörner jedoch schwerer als die Pfefferkörner sind, übersteigt die Coulomb-Anziehung bereits bei einem größeren Abstand die Gewichtskraft und die Pfefferkörner springen auf den Löffel über.



Bild 2-14: Pfeffer springt eher auf den Löffel über.

Tanz der Schnipsel

Material

- CD-Hülle
- Papierfiguren oder Schnipsel
- Wolle

So geht's

Aus Papier schneide man kleine Püppchen oder Schnipsel aus und lege sie zwischen zwei auf dem Tisch liegenden Büchern. Der durchsichtige Teil der CD-Hülle wird abgenommen und auf die beiden Bücher über die Püppchen gelegt. Reibt man nun mit der Wolle die Hülle, so beginnen die Püppchen zu tanzen.

Physikalischer Hintergrund

Das Reiben auf der CD-Hülle verursacht eine negative elektrostatische Aufladung. Da Papier elektrisch nicht leitend ist, wirkt auf die Schnipsel durch Polarisierung in Richtung höherer Ladungskonzentration eine Kraft. Ist diese groß genug um die Schwerkraft zu überwinden, hüpfen die Schnipsel auf die Hülle, wo sie haften bleiben, bis sie durch Entladungsvorgänge selbst negativ geladen sind und somit von der Hülle abgestoßen werden.

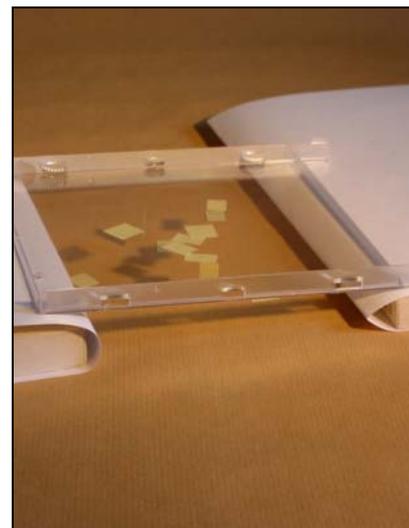


Bild 2-15: Die Papierschnipsel tanzen.

Feld eines Fernsehers

Material

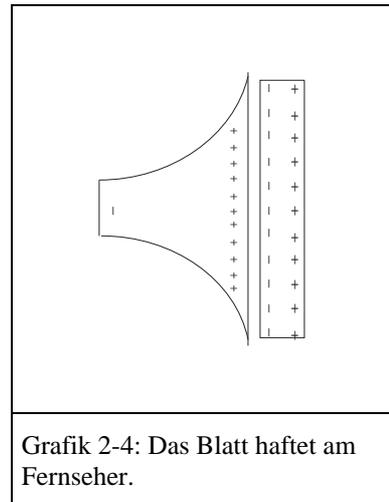
- Fernseher
- Blatt Papier

So geht's

Bei eingeschaltetem Fernseher, kann man ein Blatt Papier auf den Schirm legen und es bleibt haften. Schaltet man das Gerät aus, so fällt das Papier nach einiger Zeit zu Boden.

Physikalischer Hintergrund

In der Fernsehbildröhre wird, sobald man das Gerät einschaltet, ein sehr starkes elektrisches Feld aufgebaut. Dieses Feld dient dazu, um die von einer Elektronenquelle austretenden Ladungen in einem Strahl auf den Schirm zu „schießen“. Die Bildröhre ist somit auf ihrer Bildseite positiv geladen. Das Stück Papier wird bei eingeschaltetem Gerät im Feld der Röhre polarisiert und bleibt durch die elektrostatische Kraft an der Mattscheibe kleben. Schaltet man das Gerät aus, so fällt das Feld zusammen und die Polarisierung und folglich die Kraft verschwinden.



Grafik 2-4: Das Blatt haftet am Fernseher.

Staub auf der Röhre

Derselbe Effekt ist für die schnelle Verschmutzung der Bildröhren verantwortlich. Da die Staubteilchen der Luft im elektrischen Feld in Richtung Fernseher beschleunigt werden, sammelt sich Staub besonders gerne dort und lagert sich ab. Eine schnelles Verstauben von Elektrogeräten ist somit ein Indiz für Elektromog.

Bei modernen Computerbildschirmen wird besonders darauf geachtet, dass sie strahlungsarm sind. Diese Geräte sind besonders abgeschirmt, um den Benutzer mit möglichst geringen Feldern zu belasten.

Flug der Seifenblasen

Material

- 2 Personen
- Influenzmaschine
- 2 isolierte Schemel (Holz)
- Gerät zur Seifenblasenproduktion

So geht´s

Zwei Personen werden in ca. 2 m Abstand voneinander auf isolierten Schemeln aufgestellt. Produzieren die Personen nun Seifenblasen, so fallen sie vor der jeweiligen Person zu Boden. Wird nun eine Person mit dem positiven Pol, die andere mit dem negativen Pol der Influenzmaschine verbunden und die Maschine in Betrieb genommen, so fliegen die Seifenblasen zur jeweils anderen der beiden Personen.

Physikalischer Hintergrund

Durch das Aufladen der beiden Personen entsteht zwischen ihnen ein elektrisches Feld. Alle Seifenblasen, die von der positiv geladenen Person produziert werden, sind auch positiv geladen. Sie werden im elektrischen Feld entlang der Feldlinien zur anderen Person hin beschleunigt und fliegen demnach zur anderen Person. Kommen sich auf ihrem Weg eine positiv und eine negativ geladene Seifenblase nahe genug, so ziehen sie sich gegenseitig an und stoßen schließlich zusammen, wobei sich die Ladungen ausgleichen.



Bild 2-16: Die Seifenblasen fliegen entlang der Feldlinien.

(3) Gleichströme

Bereits im ersten Kapitel konnten wir Ladungsmengen verschieben, jedoch waren diese sehr gering. Mit der Unterstützung von Batterien oder anderen Spannungsquellen kann man die Effekte, welche durch fließende elektrische Ströme verursacht werden, beobachten.

Stromerzeugung

Strom aus einer Zitrone

Material

- Zitrone
- 2 Eisennägel
- Kupfernagel
- Multimeter

So geht´s

Die drei Nägel werden zur Hälfte in die Zitrone gesteckt. Das Multimeter wird auf Spannungsmessung für Gleichstrom, gekennzeichnet durch „=V“ oder „DCV“ im Bereich „2“ Volt eingestellt. Berührt man mit den Messspitzen die beiden Eisennägel, zeigt das Gerät keine Spannung an. Hält man die Messspitzen an einen Eisen- und einen Kupfernagel so kann man ca 0,4 Volt ablesen.

Physikalischer Hintergrund:

Die Zitrone dient in dieser Versuchsanordnung als Elektrolyt, also eine Flüssigkeit, die aufgrund ihrer frei beweglichen Ionen elektrisch leitfähig ist. Metalle werden in edlere und unedlere unterteilt, wobei man unter dem edleren Metall jenes versteht, das weniger leicht Elektronen abgibt als das zu vergleichende. Hält man die beiden Metalle mit einem Ende in eine Elektrolytlösung und verbindet die andere Seite leitend miteinander, so bildet sich am edleren ein Elektronenmangel (Plus-Pol) und am unedleren ein Elektronenüberschuss aus.

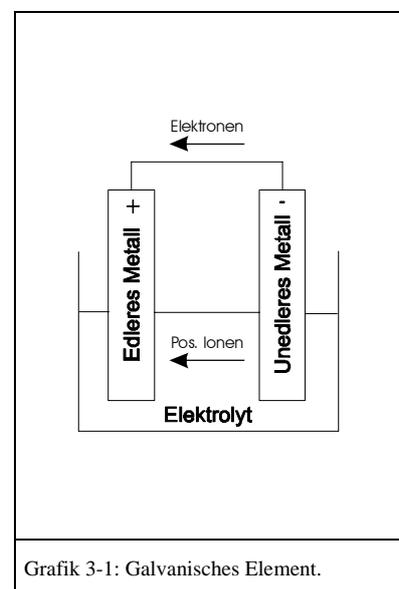
Diese Potentialdifferenz kann man mit einem Voltmeter messen. Übliche Werte liegen im Bereich zwischen 0 (zwei gleiche Metalle) und einem Volt bei Kupfer (Cu) und Zink (Zn).

Durch die leitende Verbindung fließen Elektronen vom unedleren Minus zum edleren Plus-Pol. Positive Ionen fließen im Elektrolyt ebenfalls vom unedleren zum edleren Metall.

Mit der Zeit löst sich das unedlere Metall auf und die Spannung nimmt aufgrund chemischer Veränderungen ab.

Zuckende Froschschenkel

Zu Ehren des Entdeckers dieser Art der Stromerzeugung wird die oben beschriebene Apparatur Galvanisches-Element genannt. Im Jahre 1789 beobachtete die Ehefrau von Herrn Galvani ein Zucken der auf kupfernen Haken aufgehängten Froschschenkel, sofern diese das verzinkte Balkongitter berührten. Galvani deutete dies als tierische Elektrizität, erst Volta konnte das Rätsel lösen.



Grafik 3-1: Galvanisches Element.

Fruchtbatterie

Material

- 2 Äpfel, 2 Zitronen
- Draht
- 4 Edelstahl-Kuchengabeln
- 2 Messing-Nägel, 2 verzinkte Nägel
- Multimeter (1 - 5 Volt Gleichspannung)

So geht´s

Die vier Früchte werden mit je zwei Einschnitten versehen. In jede Frucht steckt man eine Kuchengabel und entweder einen Zink- oder einen Messingnagel. Die Nägel und Gabeln sollen zuvor gründlich gereinigt werden und dürfen sich in den Früchten nicht berühren. Zunächst misst man die Spannungen der einzelnen galvanischen Elemente. Anschließend schaltet man die einzelnen Früchte in Serie, das bedeutet, dass man jeweils den Nagel einer Frucht mit der Kuchengabel der nächsten Frucht mit Hilfe des Drahtes verbindet. Nun misst man die zwischen Gabel der ersten Frucht und Nagel der letzten Frucht anliegende Spannung.

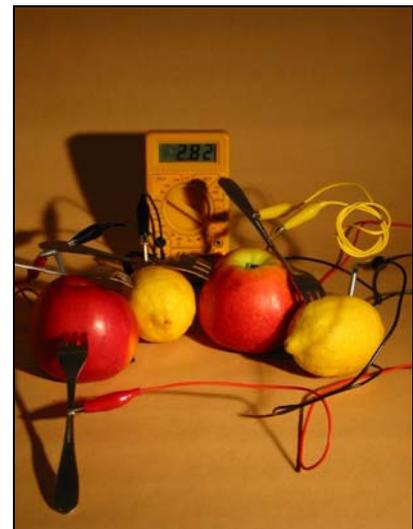


Bild 3-1: Die Früchte liefern eine Spannung.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Die Spannung der einzelnen Elemente hängt von der Wahl der Metalle ab
- Die Wahl des Elektrolyten beeinflusst die Spannung
- Bei Serienschaltung addieren sich die Einzelspannungen

In der elektrochemischen Spannungsreihe werden verschiedene Metalle mit ihrer sogenannten Urspannung angegeben. Diese Spannung liegt an, falls man das entsprechende Metall und ein wasserstoffumspültes Platinblech in eine Elektrolytlösung (mit einem Mol H_3O^+ - Ionen pro Liter) taucht. Bei negativen Spannungswerten geben die entsprechenden Stoffe Elektronen ab, sind also unedler. Besteht ein Galvanisches-Element nun aus zwei Metallen, deren Urspannungen man kennt, so kann man aus der Differenz von edlerem und unedlerem Metall die Spannung des Elements berechnen. Handelt es sich beim Elektrolyt nicht um eine Konzentration wie in der Tabelle angenommen, so verändert sich die Spannung des galvanischen Elements. Taucht eine Kupfer- und eine Zinkelektrode in eine saure Lösung, so berechnet man eine Spannung von: $U = (+0,34) - (-0,76) = 1,10 \text{ V}$

Bei dem Stahl-Zink-Element stehen also 0,5 und beim Stahl-Messing-Element 1 Volt Spannung an. Schaltet man die Fruchtelemente in Serie, so ergeben sich etwa 3 Volt Spannung.

Elektrochemische Spannungsreihe	
Werkstoff	U_0 [V]
Gold	+1,40
Silber	+0,80
Kupfer	+0,34
Messing	+0,26...+0,05
Wasserstoff	0
Eisen	-0,04
Blei	-0,13
Flussstahl	-0,21...-0,48
Stahl (verzinkt)	-0,35...-0,72
Zink	-0,76
Alu	-1,66

Gaslampenzünder

Material

- Gaslampe mit Piezozünder oder entsprechendes Feuerzeug

So geht's

Um das Gas zu entfachen, muss man den Gaszünder zusammendrücken. An der dafür vorgesehenen Stelle bildet sich durch Entladung ein Funken, der das vorbeiströmende Gas entzündet.

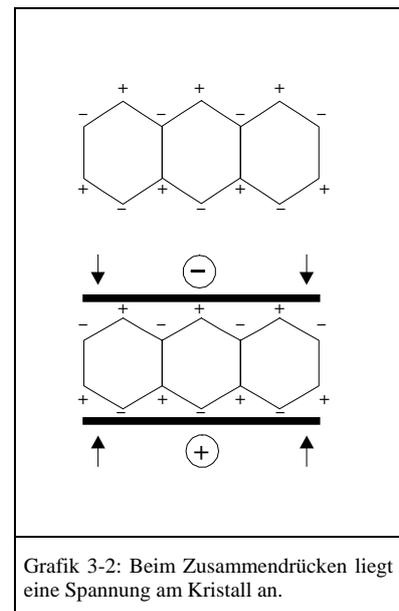
Physikalischer Hintergrund

In dem Gaszünder befindet sich ein Quarzkristall, der an seinen beiden Enden in Metall eingefasst ist.

Das Kristallgitter eines Quarzes besteht aus Sechsecken, deren Eckpunkte abwechselnd von positiven und negativen Ionen gebildet werden. Die Spitzen des Kristalls sind auf einer Seite mit positiven und auf der anderen mit negativen Ionen besetzt. Im Ausgangszustand befinden sich die Ladungen im Gleichgewicht und heben sich auf.

Presst man den Kristall jedoch zusammen, so verzerrt sich das Gitter und die an den Spitzen sitzenden Ladungen werden nach innen gedrückt. Dabei verändert sich jedoch der Abstand der Ladungen in den Spitzen zu seinen ungleichnamig geladenen Nachbarn. Die Seite des Kristalls, deren Spitzen positiv geladen sind, wird dadurch negativ geladen und die andere Kristallseite positiv.

Durch die am Kristall angebrachten Kontaktflächen wird diese Ladung abtransportiert und erzeugt den Funken.



Quarzuhr

Legt man an den Kontaktflächen des Quarzes eine Spannung an, so führt dies zu einer Verformung des Kristallgitters (Elektrostriktion). Legt man nun an den Kontakten eine Wechselspannung mit hoher Frequenz an, so kann man den Quarz zu Eigenschwingungen anregen, welche eine bestimmte sehr hohe Frequenz haben. Ein bestimmter Teil dieser Frequenz ist eine Sekunde, welche somit sehr genau bestimmt ist.

Piezoelektrische Stoffe
Quarz
Turmalin
Bariumtitanat
Seignette-Salz
Rochelle-Salz

Elektrische Leitfähigkeit

Leiter und Nichtleiter

Material

- Taschenlampe
- Isolierter Draht
- Klebeband (Tixo)
- Verschiedenste Gegenstände (Radiergummi, Nagel,...)

Bauanleitung Taschenlampentester

Vom Draht schneidet man zwei 20 cm lange Stücke ab und entfernt an den Enden einen Finger breit die Isolierung, sodass die Litzen sichtbar sind. Einen 4 cm langen Tixostreifen klebe man zu einem Ring, wobei die klebrige Seite nach außen gerichtet sein soll. Den Tixoring drücke man flach und befestige ein abisoliertes Ende des ersten Drahtes auf der einen Seite und den zweiten Draht mit der blanken Litze auf der anderen Seite. Die Litzen der beiden Drähte dürfen sich auf keinen Fall berühren! Den Tixostreifen mit den beiden Drähten bringe man nun so zwischen den negativen Pol der Batterie und den Kontakt der Taschenlampe, dass ein Draht den Pol und der andere Draht den Kontakt berührt, die beiden Bauteile der Taschenlampe jedoch durch den Tixostreifen voneinander getrennt sind.

Den richtigen Zusammenbau kann man testen, indem bei eingeschalteter Taschenlampe die Birne nur leuchtet, wenn man die beiden freien Enden der Drähte zusammenführt.



Bild 3-2: Berührt man einen Leiter, so brennt die Birne.

So geht's

Hält man die beiden freien Drahtenden an den Radiergummi, so leuchtet die Birne nicht auf. Führt man den Versuch mit dem Nagel durch, so leuchtet sie.

Physikalischer Hintergrund

Grob unterscheidet man Materialien in solche, die den elektrischen Strom leiten (Leiter) und solche die ihn nicht leiten, so genannte Isolatoren.

Um einen Stromfluss zu ermöglichen, müssen Ladungsträger (Elektronen) im jeweiligen Material bewegt werden. Hält man die beiden Drahtenden an den jeweiligen Gegenstand, so liegt die Spannung der Batterie an und ein entsprechendes elektrisches Feld bildet sich aus. In einem Isolator sind sämtliche Ladungsträger gebunden und können sich somit nicht im elektrischen Feld bewegen. Bei Leitern ist eine gewisse Anzahl von Ladungsträgern frei beweglich. Ist diese Anzahl gering, handelt es sich um einen schlechten Leiter, bei einer höheren Anzahl um einen guten.

Vereinfacht kann man sich die Leitung des elektrischen Stromes als Fluss von Wassertröpfchen in einem Gartenschlauch vorstellen. Die Elektronen werden dabei durch die Wassertröpfchen repräsentiert.

Bleistift als Regelwiderstand

Material

- Druckbleistiftmine, Bleistiftmine
- Taschenlampentester

So geht's

Man halte die beiden Drahtenden des Taschenlampentesters im Abstand von 1, 2, 4 und 8 cm an die beiden Minen und beobachte die Helligkeit der Birne.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Bei gleichem Abstand leuchtet die Birne bei der dickeren Mine heller.
- Bei der gleichen Mine sinkt die Helligkeit mit höherem Abstand.

	Material	ρ [Ωm]
Leiter	Silber	$0,016 \cdot 10^{-6}$
	Kupfer	$0,017 \cdot 10^{-6}$
	Alu	$0,028 \cdot 10^{-6}$
	Stahl	$0,14 \cdot 10^{-6}$
	Feuchte Erde	$>1 \cdot 10^6$
Isolatoren	Glas	$2 \cdot 10^{12}$
	Porzellan	$5 \cdot 10^{12}$
	Papier	$10^{15} - 10^{16}$
	Gummi	$10^{13} - 10^{15}$

Jedes Material setzt den Ladungsträgern beim Durchfluss einen gewissen materialabhängigen Widerstand entgegen. Dieser spezifische Widerstand entsteht, da die Elektronen auf ihrem Weg durch den Leiter an das Metallgitter stoßen und einen Teil ihrer kinetischen Energie abgeben. Genau genommen ziehen die negativ geladenen Elektronen im Vorbeiflug die positiv geladenen Atomkerne an und versetzen somit das gesamte Kristallgitter in Schwingungen, welche sich als Wärme bemerkbar machen.

Zusätzlich ist der Widerstand R eines Leiters proportional zur Länge l des Leiters und indirekt proportional zum Querschnitt A .

Widerstand eines Leiters	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$R = \rho \frac{l}{A}$	R	Ω	Widerstand
	ρ	Ωm	Spezifischer Widerstand
	l	m	Leiterlänge
	A	m^2	Leiterdurchmesser

Stromleitung im Wasser

Material

- Becherglas oder Behälter aus nicht leitendem Material
- Taschenlampenmultimeter
- Draht
- Wasser (eventuell destilliert)
- Kochsalz

Bauanleitung

Man befülle das Becherglas etwa 2 cm hoch mit Wasser. Aus einer Taschenlampe entferne man die Batterie und befestige an den zur Glühbirne führenden Kontakten zwei Drähte. Einen dieser Drähte verbinde man mit dem Pluspol der Batterie und den anderen tauche man in das Wasser. Als letztes wird ein Draht am Minuspol der Batterie befestigt und sein anderes Ende in das Wasser getaucht, wobei er auf keinen Fall den anderen im Glas befindlichen Draht berühren soll. Alternativ kann man auch Draht mit Krokoklemmen und Alustreifen wie im Bild verwenden. Die Anschaffung von Experimentierdraht mit Krokoklemmen wird dringend empfohlen!

Berühren sich die beiden ins Wasser getauchten Litzen, sollte die Birne brennen.

So geht´s

Nach erfolgreichem Aufbau brennt die Birne nicht. Gibt man jedoch Löffel für Löffel Salz in die Flüssigkeit und löst es durch Umrühren auf, so kann man ab einer bestimmten Salzkonzentration ein leichtes Glimmen der Birne feststellen, welches bei zunehmender Konzentration stärker wird.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Destilliertes Wasser ist ein Isolator
- Salzwasser leitet den Strom
- An den Elektroden steigen Bläschen auf

Destilliertes Wasser (H_2O) enthält keine Ionen. Im Englischen wird es treffender als „deionised water“ bezeichnet. Da keine freien Ladungsträger vorhanden sind, verhält es sich wie ein Isolator. Schüttet man Salz ins Wasser, lösen sich die NaCl -Moleküle in Na^+ - und Cl^- -Ionen. Die positiven Na-Ionen wandern im elektrischen Feld zwischen den beiden Elektroden zur Negativen (Kathode), nehmen ein Elektron auf und verbinden sich mit einem zweiten Na-Atom. Dieses Na_2 reagiert mit 2 H_2O -Molekülen zu Natronlauge (2 NaOH) und H_2 . Natronlauge verbleibt im Becher und das gasförmige H_2 steigt auf. Die negativen Cl^- -Ionen wandern zur positiven Elektrode (Anode), geben dort ein Elektron ab, verbinden sich mit einem zweiten Cl -Atom und steigen als Cl_2 -Molekül als Bläschen auf.

Ein Salzmolekül zerfällt also in zwei Ionen, welche insgesamt 2 Elektronen zwischen den beiden Elektroden verschieben können. Es kommt zu einer Leitung des elektrischen Stroms durch Ionen, man spricht deshalb von einer Ionenleitung.



Bild 3-3: Das Salzwasser leitet den Strom.

Ohmsche Widerstände

Widerstand zweier Glühbirnen

Material

- Glühbirne für 230V mit 25 W
- Glühbirne für 230V mit 40 W
- Multimeter

So geht's

Man schalte das Multimeter auf Widerstandsmessung im Bereich von 100 Ω bis 200 Ω und berühre mit den Messspitzen die Kontaktstellen der Glühbirnen.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Der Widerstand der leistungsstärkeren Birne ist geringer.

Aus dem Ohmschen Gesetz und der Formel für die elektrische Leistung lässt sich ein theoretischer Wert für den Widerstand einer Glühbirne bei gegebener Leistung und Netzspannung ermitteln:

Ohmsches Gesetz	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$U = R \cdot I$	U	V	Spannung
	R	Ω	Widerstand
	I	A	Stromstärke

Elektrische Leistung	Symbol	Einheit	Bezeichnung
	P	W	Leistung
	U	V	Spannung
	I	A	Stromstärke



Bild 3-4: Der Widerstand einer 25 W Birne.

Eine Gegenüberstellung der gemessenen und errechneten Werte ergibt:

Birne	R gemessen	berechnet $R = \frac{U^2}{P}$
25 W	150 Ω	2116 Ω
40 W	100 Ω	1323 Ω

Bei den gemessenen Werten hätte die 25 W Birne nur eine Leistung von 0,17 W. Berücksichtigt man, dass der Widerstand bei einer Raumtemperatur von ca. 22 °C gemessen wurde, im Betrieb die Temperatur des Wolframglühfadens jedoch ca. 2500 °C beträgt, stimmt der gemessene Wert, da mit steigender Temperatur auch der Widerstand des Glühfadens steigt.

Das heiße Kaugummipapier

Material

- Flachbatterie 4,5 V
- Kaugummipapier oder Alufolie
- Büroklammer

So geht´s

Man schneidet von der Einwickelfolie eines Kaugummis längs zwei Streifen ab. Den einen mit einer Breite von einem mm, den anderen mit einer Breite von fünf mm. Zuerst nehme man den breiteren Streifen, befestige das eine Ende mit der Büroklammer an einem Pol der Batterie und halte mit dem Finger das freie Ende des Streifens an den anderen Pol.

Mit dem dünneren Streifen führen wir denselben Versuch durch.

Je nach Ladezustand der Batterie kann man die Einwickelfolie zum Glühen oder Durchschmelzen zu bringen.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Je dünner ein Draht ist, desto stärker erwärmt er sich beim Leiten des elektrischen Stroms.

Wie wir beim Versuch „Bleistift als Regelwiderstand“ auf Seite 30 gesehen haben besitzt jeder Werkstoff einen spezifischen Widerstand ρ und sein Widerstand R ist zu ρ und zur Länge l direkt proportional. Zum Querschnitt A verhält er sich jedoch indirekt proportional. Je dünner der Draht ist, desto größer ist sein Widerstand. Dieser hat seine Ursache in den Wechselwirkungen der Elektronen mit den Atomen des Metalls, welches in Schwingungen versetzt wird. Schwingungen der Kristallstruktur eines Festkörpers werden als Wärme wahrgenommen. Übersteigt die Schwingungsenergie einen gewissen Wert, so kommt es zum Glühen und später zum Schmelzen des Festkörpers.



Bild 3-5: Fließt Strom durch die Folie so wird sie heiß.

Schmelzsicherung

Im Haushalt befinden sich in jedem Stromkreis Sicherungen, wobei eine mögliche Bauform dem obigen Experiment sehr ähnlich ist. In einem Keramikkörper befindet sich ein Draht, der leitend mit zwei Kontakten an den Enden des Keramikkörpers verbunden ist. Diese Sicherung wird in den zu sichernden Stromkreis geschraubt. Der Draht der Sicherung ist in der Dicke so bemessen, dass er bei einer Überlastung des Stromkreises schmilzt, bevor sich an irgend einer Stelle des Stromkreises ein Leiter so stark erwärmen kann, dass seine Isolierung schmilzt oder ein Kabelbrand hervorgerufen wird.

Würstchengrill

Material

- Holzbrett
- 2 Nägel
- Netzstecker mit Kabel
- Frankfurter

Bauanleitung: Würstchengriller

Durch das Holzbrett schlage man die beiden Nägel in einen etwas geringeren Abstand als das Würstchen lang ist. Von einem nicht mehr benötigten Elektrogerät schneide man das Stromkabel ab, entferne die Isolierung auf den letzten 2 cm und verdrille jeweils eine Ader um einen der beiden Nägel. Sollten sich im Stromkabel 3 Adern befinden, so wird der gelb-grüne Draht nicht verwendet, sondern der Blaue und der Schwarze.

Auf keinen Fall sollte bei diesem Versuch etwas anderes als der Stromstecker berührt werden. Sollte aus versehen eine stromführende Komponente berührt werden, so schließt sich ein Stromkreis durch den Experimentator und es besteht Lebensgefahr!

So geht´s

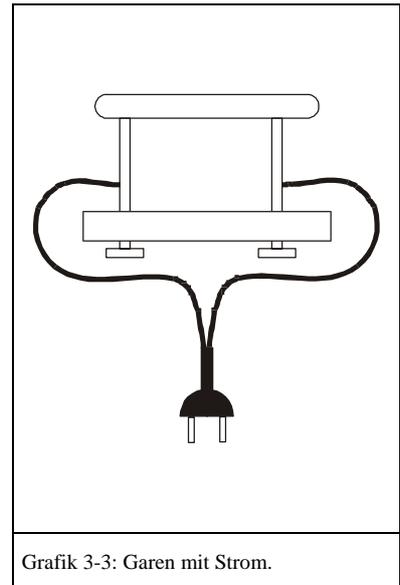
Der Netzstecker darf auf keinen Fall an die Netzsteckdose angesteckt sein. Auf die nicht angeschlossene Apparatur spieße man das Würstchen auf. Steckt man den Stecker für ca. 20 Sekunden an das Stromnetz an, so ist das Würstchen gar!

Physikalischer Hintergrund

Das Würstchen ist kein idealer Leiter sondern besitzt einen bestimmten Widerstand. Da die Elektronen nicht ungehindert durch das Würstchen wandern können, kommt es durch den Ohmschen Widerstand des Würstchens zu einer Erwärmung.

Lebensgefahr

Bei unsachgemäßer
Versuchsdurchführung



Leuchtende Essiggurke

Material

- Tischverteilersteckdose
- Essiggurke
- 5 mm Durchschlag
- Kreuzschraubendreher

So geht's

Der Verteilerstecker darf auf keinen Fall am Stromnetz hängen! Man durchbohrt das Essiggurkerl mit dem Durchschlag und dem Schraubendreher im Abstand von 2 cm. Die Enden der beiden metallenen Werkzeuge stecke man in eine Strombuchse des Verteilers. Diese Apparatur stelle man auf den Tisch. Bei abgedunkeltem Raum stecke man den Netzstecker an und beobachte die Gurke.

Sobald Spannung an der Gurke anliegt, beginnt sie gelb-orange zu Leuchten.

Auf keinen Fall sollte bei diesem Versuch etwas anderes als der Stromstecker berührt werden. Sollte aus Versehen eine stromführende Komponente berührt werden, so schließt sich ein Stromkreis durch den Experimentator und es besteht Lebensgefahr!

Lebensgefahr

Bei unsachgemäßer
Versuchsdurchführung

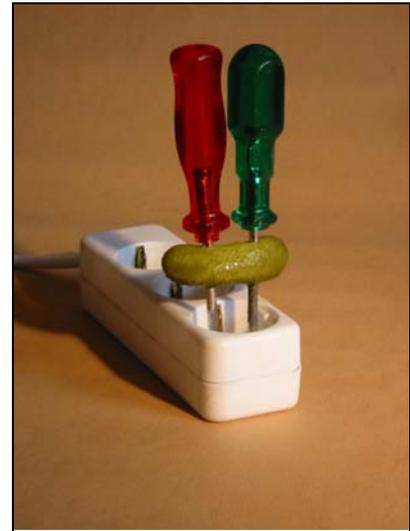


Bild 3-6: Das Gurkerl leuchtet gelb-orange.

Physikalischer Hintergrund

Die durch die Gurke wandernden Elektronen regen das NaCl im Zellwasser der Gurke derart an, dass Elektronen auf energetisch höhere Bahnen gelangen. Fallen sie nach einiger Zeit wieder auf ihre Ausgangsbahn zurück, emittieren sie Licht mit einer bestimmten Frequenz. Für NaCl liegt diese Frequenz im gelb-orangen-Spektralbereich.

Kondensator

Ein Glas voll Elektrizität

Material

- Trinkglas
- Alufolie
- Draht
- Wolle
- Kunststofflöffel

Bauanleitung Leidener Flasche

Man umwickle die Seitenwand des Glases an der Außenseite mit Alufolie, wobei der obere Rand des Glases frei bleiben soll. Die Innenseite des Glases kleide man ebenfalls mit Folie aus, wobei diesmal die Folie etwa einen Zentimeter über den Glasrand hinausreichen soll.

So geht´s

Durch Reiben des Kunststofflöffels am Wolltuch wird er elektrostatisch geladen. Diese Ladung überträgt man auf den über den Glasrand hinausstehenden Teil der Alufolie. Verbindet man nun die innere mit der äußeren Alufolie, so entsteht ein kleiner Lichtblitz. Überträgt man mehrere Male hintereinander Ladungen auf den Kondensator, so kann man diesen Lichtblitz mit einiger Zeitverzögerung erzeugen.



Bild 3-7: Ein Kondensator sehr geringer Kapazität.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Elektrische Ladungen können in Kondensatoren gespeichert werden.

Zur leichteren Beschreibung der Leidener Flasche stellen wir uns vor, dass wir die beiden Alufolien vertikal durchschneiden, plattdrücken und das Glas zwischen ihnen entfernen. Wir betrachten also zwei gleich große metallene Platten, die durch einen Luftspalt getrennt sind. Durch das Abstreichen der auf dem Löffel befindlichen Ladungen wird eine Platte positiv und die andere negativ geladen. Zwischen den beiden Platten bildet sich ein elektrisches Feld mit Feldlinien von der positiven zur negativen Seite aus. Es handelt sich um ein so genanntes homogenes Feld, da alle Feldlinien zueinander parallel sind. Damit sich dieses Feld ausbilden kann, muss der Raum zwischen den Platten polarisiert werden, dies bedeutet, dass alle Dipole ausgerichtet werden. Für diesen Vorgang wird Energie benötigt, welche im elektrischen Feld gespeichert ist. Je nach Stoffart zwischen den Platten unterscheidet sich der dafür notwendige Arbeitsaufwand. Beim Entladen löst sich diese geordnete Struktur wieder auf und die gespeicherte Energie kann in Form von elektrischem Strom entnommen werden.

Die Kenngröße eines Kondensators ist seine Kapazität, also die Ladungsmenge, die er speichern kann

Kapazität eines Plattenkondensators	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$C = \epsilon_r \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$	C	F	Kapazität des Kondensators
	ϵ_r	1	Permittivitätszahl
	ϵ_0	$\frac{As}{Vm}$	Elektrische Feldkonstante
	A	m ²	Innenwiderstand der Batterie und der Zuleitung
	d	m	Abstand der Platten

Die Einheit Farad (F) ist eine sehr große Einheit, deshalb liegen übliche Kondensatoren im Bereich von Mikro und Nano-Farad. Je größer die Platten eines Kondensators und je geringer der Abstand zwischen ihnen ist, desto größer ist seine Kapazität. Des weiteren hängt die Kapazität vom zwischen den beiden Platten befindlichen Material ab. Diese Größe geht als Permittivitätszahl ϵ_r in die Gleichung ein und ist für einige Stoffe in der Tabelle angegeben.

Häufig wird zur Vereinfachung der Gleichung die Permittivität $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ verwendet.

Da das Medium zwischen den Platten einen endlichen Widerstand hat, entlädt sich der Kondensator mit der Zeit.

Material	Permittivitäts-Zahlen ϵ_r
Vakuum	1
Luft	1,000592
Wasser	80
Kunststoff	2 – 4
Gummi	2,5 - 3,5
Porzellan	6 – 7
Kondensator-Keramik	30 - 3000

Wickelkondensator

Material

-
- Trinkglas oder Küchenpapierrolle
- 2 Streifen Alufolie 28 cm x 4 m
- 2 Streifen Backpapier 30 cm x 4 m
- Multimeter
- Flachbatterie 4,5 V
- Draht

Bauanleitung

Auf den Backpapierstreifen wird deckungsgleich ein Alustreifen, der zweite Papierstreifen und schließlich der Alustreifen gelegt. Mit dem Glas beginnt man von einer Breitseite die 4 Streifen gleichzeitig aufzurollen. Es ist besonders darauf zu achten, dass der Papierstreifen ein Berühren der beiden Alubahnen verhindert. Die letzten 10 cm werden nicht aufgewickelt und so abgeschnitten, dass die beiden Alustreifen voneinander durch das Papier getrennt einzeln gut angreifbar sind.

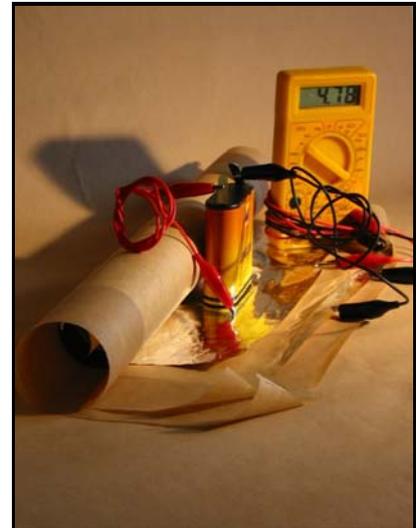


Bild 3-8: Der Kondensator ist geladen.

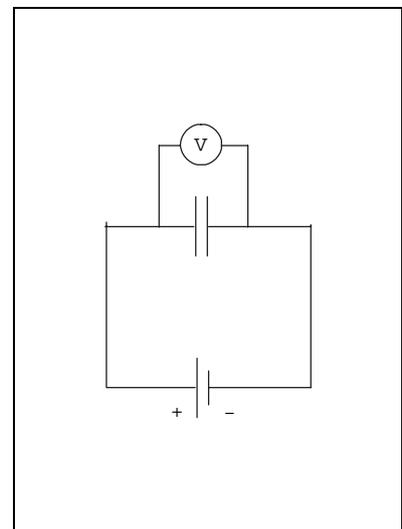
So geht´s

Man stelle das Multimeter auf den Bereich Gleichspannungsmessung bis 10 Volt und befestige jeweils eine Messspitze an einer der beiden Alufolien des Wickelkondensators. Mithilfe des Drahtes verbinde man den positiven Pol der Batterie mit der unteren Folie und den negativen mit der Oberen. Zeigt das Voltmeter eine Spannung von ca. 4,5 Volt an, so entferne man die Drähte und beobachte den Abfall der Spannung.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Beim Entladen des Kondensators ändert sich die Spannung erst schnell und dann immer langsamer
- Das Entladen dauert länger als das Laden.



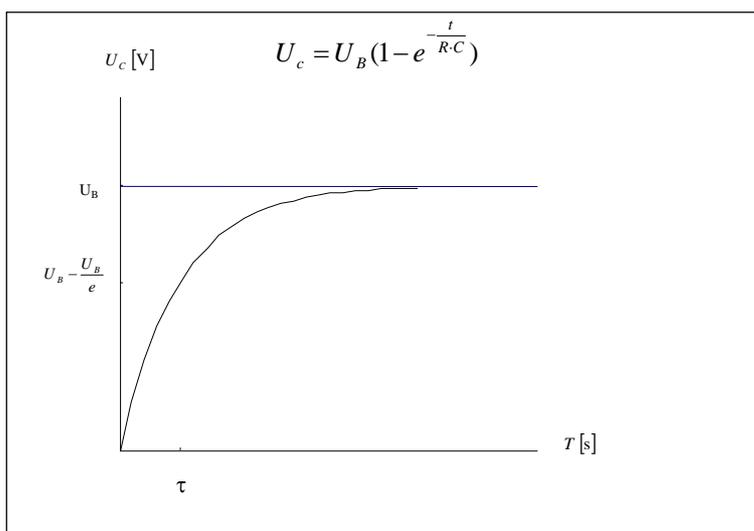
Grafik 3-4: Stromkreis aus Batterie, Kondensator und Voltmeter.

Schließt man die Batterie an den Kondensator an, so werden die beiden Folien ungleichnamig geladen. Zwischen ihnen wird ein elektrisches Feld aufgebaut, dieser Vorgang läuft zuerst schnell und dann immer langsamer ab. Genau genommen gehorcht dieser Prozess einer exponentiellen Kurve.

Kondensator laden	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$U_c = U_B(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}})$	U_c	V	Spannung des Kondensators
	U_B	V	Spannung der Batterie
	t	s	Zeit seit Anlegen der Spannung
	R	Ω	Innenwiderstand der Batterie und der Zuleitung
	C	F	Kapazität des Kondensators

Der Aufladevorgang unseres Kondensators geht sehr schnell vor sich. Da die im Ladestromkreis hängenden Widerstände (Innenwiderstand Batterie, Leitungen) sehr klein sind ist die Zeitdauer $\tau = R \cdot C$ nach der dem Kondensator noch ein Drittel (genau ein e-Faches) zum Erreichen der angelegten Spannung fehlt sehr klein.

Im Graphen erkennt man gut, dass dieser Vorgang einer exponentiellen Kurve folgt.

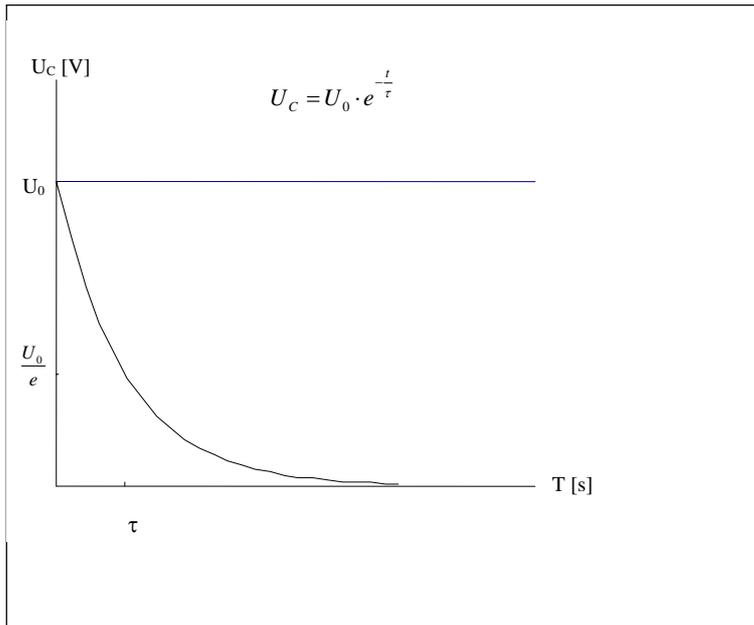


Grafik 3-5: Ladekurve eines Kondensators.

Kondensator entladen	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$U_c = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$	U_c	V	Spannung des Kondensators
	U_0	V	Spannung am Entladebeginn
	t	s	Zeit seit Beginn des Entladens
	R	Ω	Innenwiderstand des Voltmeters
	C	F	Kapazität des Kondensators

Beim Aufbau des Feldes wird Arbeit verrichtet, die in Form von potentieller Energie gespeichert ist. Trennt man nun die Batterie vom Kondensator, so bleibt diese Energie gespeichert. In unserem Fall entlädt sich der Kondensator jedoch über das Voltmeter. Um bei der Spannungsmessung das zu messende System möglichst wenig zu beeinflussen besitzen Voltmeter üblicherweise einen sehr hohen Innenwiderstand. Deshalb ist die Zeitdauer τ beim Entladevorgang etwas größer als beim Laden, also die Zeit die vergeht, bis die Spannung des Kondensators auf ein e -Faches des Anfangswertes gesunken ist.

Insgesamt ist die Zeit für den Lade- und Entladevorgang gering, was auf eine kleine Kapazität des Wickelkondensators schließen lässt.



Grafik 3-6: Entladekurve eines Kondensators.

(4) Magnetismus

In der Antike wurde in der Nähe der Stadt *Magnesia* in Kleinasien (Heute Türkei) ein Eisenerz abgebaut, das in der Lage war durch geheimnisvolle Kräfte bestimmte andere Materialien anzuziehen. In ihrer Kraftwirkung kann man die damals hergestellten Magnete nicht mit den heute gebräuchlichen vergleichen, dennoch existieren Legenden von Vorrichtungen, die den Kriegern in ihren Eisenrüstungen den Boden unter den Füßen wegzogen haben sollen.

Erzeugen eines Magneten

Magnetisierter Nagel

Material

- Nagel
- Büroklammer
- Hammer

So geht's

Bringt man den Nagel in die Nähe der Büroklammer, so bleibt sie ruhig liegen. Hält man den Nagel in Richtung Norden, wobei er schräg auf den Boden zeigen soll, und schlägt mehrmals mit einem Hammer auf den Nagel, so kann man die Büroklammer beim Heranführen des Nagels in Bewegung versetzen.

Physikalischer Hintergrund: Weißsche Bezirke

Jedes magnetisierbare Material (Ferromagnetische Stoffe) ist aus kleinsten magnetischen Dipolen aufgebaut, sogenannte Elementarmagnete. Am Beginn unseres Versuches sind diese rein zufällig angeordnet. Deshalb heben sich die durch diese Zellen entstehenden Kräfte gegenseitig auf. Die Erde besitzt ein durch im Erdkern fließende elektrische Ladungen hervorgerufenen magnetisches Feld, welches vom Geographischen Süd- (= magn. Nordpol) zum Nordpol orientiert ist, jedoch eine geringe Abweichung von dieser Achse aufweist. In Mitteleuropa treffen diese Feldlinien im Winkel von ca. 65° auf die Erdoberfläche. Hält man nun den Nagel parallel zu den Feldlinien und erschüttert zusätzlich das Material, so richten sich die Elementarmagnete in Richtung des sie umgebenden Feldes aus. Bei einer geordneten Ausrichtung der einzelnen Kleinstmagnete summieren sich ihre Kraftwirkungen auf und der Nagel ist somit selbst zu einem Magneten geworden.

Die Bereiche gleicher Magnetisierung werden Weißsche Bezirke genannt und haben eine Größe von etwa $10 \mu\text{m}$.

Amboss

Man konnte bei Ambossen in Schmieden nach jahrelanger Benutzung eine Magnetisierung nach oben angegebenen Prinzipien nachweisen. Der obige funktioniert leider sehr schlecht, da man nicht die Zeit haben wird so lange auf den Nagel zu hämmern bis sich eine Magnetisierung einstellt.



Bild 4-1: Magnetisierung durch Ausrichten der Weißschen Bezirke.

Magnetisierte Schraube

Material

- Metallschraube
- Kompass
- Magnet

So geht's

Bringt man die Schraube in die Nähe des Kompasses, so sollte man keine Auslenkung der Nadel aus der Nord-Süd-Richtung feststellen. Hält man die Schraube an den Nord- oder Südpol eines starken Magneten und bringt ihn wieder in die Nähe des Kompasses, so kann man einen Ausschlag der Kompassnadel beobachten.

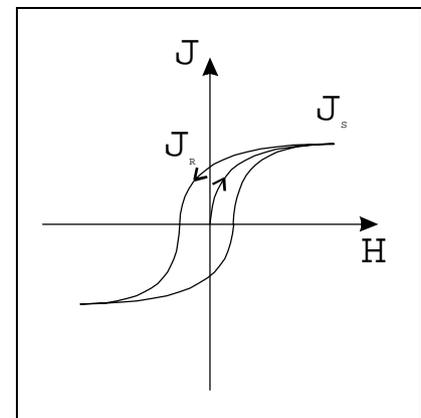


Bild 4-2: Die Schraube ist Magnetisiert.

Physikalischer Hintergrund: Ferromagnetismus

Bringt man einen ferromagnetischen Stoff in das Feld eines Magneten, so richten sich die Elementarmagnete im anliegenden Feld aus. Solange diese Ordnung der Weißschen Bezirke gegeben ist, ist der Gegenstand selbst magnetisch, da sich die Kraftwirkungen der einzelnen Elementarmagnete aufsummieren. Diese Magnetisierung hält kurz an und geht dann zurück. Diese Art der Magnetisierung wird auch, in Anlehnung an die Elektrostatik, magnetische Influenz genannt. Wie lange diese Magnetisierung anhält, kann man aus der Hysteresekurve ablesen.

Um diese Kurve zu erhalten nimmt man ein unmagnetisiertes Stück Eisen und bringt es in ein zeitlich immer stärker werdendes Magnetfeld H . Die Magnetisierung J der Probe steigt exponentiell an, bis ein gewisses Niveau (Sättigungswert J_s) erreicht ist. Die so erhaltene Kurve wird Neukurve genannt. Senkt man das Magnetfeld nun wieder, so sinkt die Magnetisierung nicht entlang der Neukurve, sondern nimmt etwas höhere Werte an. Ist das äußere Feld schließlich auf 0 zurückgegangen, so besitzt die Probe noch die Remanenz-Magnetisierung J_R . Damit die Probenmagnetisierung auf Null zurückgeht, ist ein Gegenfeld von Nöten. Stoffe, die eine schmale Kurve aufweisen, werden weichmagnetisch und solche mit einer breiten hartmagnetisch genannt. Hartmagnetische Materialien behalten über einen längeren Zeitraum die Magnetisierung.



Grafik 4-1: Hysteresekurve eines Ferromagnetischen Stoffes.

Die Schraube ist nach der Verweildauer im Magnetfeld selbst magnetisch und übt somit eine Kraft auf die Kompassnadel aus. Gleichnamige magnetische Pole stoßen sich ab und zwischen Nord- und Südpol kommt es zu einer anziehenden Kraftwirkung. Untersucht man die Kraftwirkung der Schraube auf die Kompassnadel genauer, so wird man feststellen, dass die an den Magneten herangeführte Seite nun den entgegengesetzten Pol darstellt. Hat man also die Schraube an den Nordpol des Magneten herangeführt, so bildet diese Seite nun den magnetischen Südpol der Schraube.

Magnetische Kräfte

Abstoßende Nägel

Material

- 2 Eisennägel
- Faden (30 cm)
- Magnet

So geht´s

An beiden Enden des Fadens wird jeweils ein Nagel befestigt. Der Magnet wird auf einen Tisch mit dem Nordpol nach oben gestellt. Hält man den Faden derart, dass die beiden Nägel nebeneinander in der Luft hängen und bringt sie genau über den Pol, so stoßen sich die Nägel gegenseitig ab.

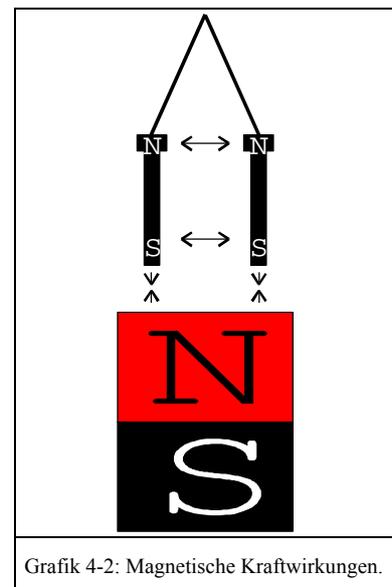
Man wiederhole den Versuch mit dem Südpol des Magneten.

Physikalischer Hintergrund: magnetische Influenz

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Ferromagnetische Stoffe werden sowohl vom Nord- als auch vom Südpol angezogen.
- Gleichnamige Pole stoßen sich ab.

Durch die magnetische Influenz werden die beiden Eisennägel, da sie aus ferromagnetischen Material bestehen, selbst zu Magneten. Befinden sie sich über dem Nordpol, so entsteht an der dem Pol zugewandten Seite der magnetische Nagelsüdpol. Aufgrund der Anziehung zwischen ungleichnamigen magnetischen Polen werden die Nägel zum Pol hin beschleunigt. Bringt man den Aufhängepunkt des Fadens genau über den Mittelpunkt des Pols, so liegen die influenzierten magnetischen Pole der Nägel nebeneinander und stoßen sich aufgrund ihrer Gleichnamigkeit ab.



Grafik 4-2: Magnetische Kraftwirkungen.

Weintrauben im Magnetfeld

Material

- 2 große Weintrauben
- Bleistift
- Faden 15 cm
- Trinkhalm
- Magnet
- 2 Ordner

So geht's

Die beiden möglichst gleich großen Weintrauben werden auf die Enden des Strohhalms gesteckt. Der Faden wird mit einem Ende in der Mitte des Strohhalms befestigt und der Aufhängepunkt so gewählt, dass der Halm waagrecht am Faden hängt. Mit einem Klebestreifen befestigt man das andere Fadenende an einer Tischkante oder einem über zwei Ordner gelegten Bleistift. In beiden Fällen soll sich der Trinkhalm mit den beiden Weintrauben frei drehen können.

Führe den Magneten möglichst nahe an eine der Trauben heran. Wiederhole den Versuch mit dem anderen magnetischen Pol.

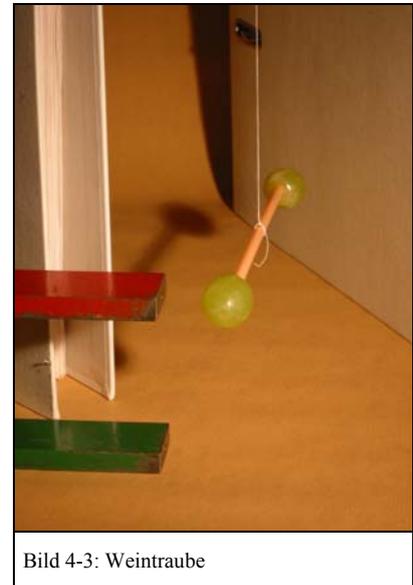


Bild 4-3: Weintraube

Physikalischer Hintergrund: Diamagnetismus

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Es gibt Stoffe die von beiden magnetischen Polen abgestoßen werden.

Stoffe, die wie oben beschrieben im Magnetfeld in Richtung geringerer Feldstärke abgedrängt werden nennt man diamagnetisch. Bringt man eine solche Substanz in ein Magnetfeld ein, so werden in den Atomen und Molekülen Ringströme¹ induziert. Diese Ströme bilden magnetische Dipole aus, die dem äußeren Feld entgegengesetzt orientiert sind und drängen somit den Stoff aus dem Magnetfeld hinaus. Die Weintraube besteht größtenteils aus Wasser, welches über diamagnetische Eigenschaften verfügt und wird deshalb vom Pol sehr schwach abgestoßen.

Eine ähnlich schwache jedoch anziehende Kraft erfahren die so genannten paramagnetischen Substanzen, wie zum Beispiel Platin. Diese Stoffe besitzen nicht vollständig gefüllte Elektronenschalen. Durch diese unsymmetrische Verteilung entsteht eine effektive Ladung, welche um den Kern rotiert und folglich ein Magnetfeld induziert. Eine Vielzahl dieser Magnete richtet sich in einem äußeren Feld aus und führt somit zu einer Magnetisierung der Substanz. Paramagnetische Stoffe werden im Feld zu Bereichen höherer Feldstärke bewegt, jedoch deutlich weniger stark als Ferromagnetische Stoffe.

Magnetische Eigenschaft	Werkstoff
Ferromagnetika	Gusseisen
	Eisen
Paramagnetika	Luft
	Alu
	Platin
Diamagnetika	Wasser
	Kupfer

¹ Siehe Kapitel Elektrodynamik, Versuch Rutschpartie (Lenz'sche Regel)

Magnetisches Feld

Magnetfelder im Haushalt

Material

- Nadel
- Papier (4 x 8 cm)
- Faden
- Glas
- Strohhalm
- Magnet

Bauanleitung: Kompass

Die Nadel wird mit Hilfe des Magneten magnetisiert. Das Stück Papier wird in der Mitte gefaltet und an einem Loch in der Mitte der Falte der Faden befestigt. Die Nadel sticht man nun quer durch das Papier und befestigt das freie Ende des Fadens am Strohhalm. Nun legt man den Strohhalm derart auf das Glas, das sich das Papier mit der Nadel frei drehen kann. Nachdem sich die Nadel ausgependelt hat, markiert man das nach Norden zeigende Ende der Nadel schwarz und das andere rot.

So geht´s

Nimm den Kompass, bewege dich im Haushalt und suche Bereiche in denen die Kompassnadel nicht in Nord-Süd-Richtung zeigt.

Physikalischer Hintergrund: Magnetisches Feld

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Metallene Gegenstände beeinflussen das Erdmagnetfeld.

Selbst wenn man beim Bau des Kompasses darauf verzichtet die Nadel zu magnetisieren, wird sie sich im Erdmagnetfeld ausrichten. Da das Eisen, aus dem die Nadel besteht ferromagnetisch ist, wird sie durch magnetische Influenz zu einem Magneten, der sich in Richtung der Feldlinien des ihn umgebenden Magnetfeldes ausrichtet.

Durch bewegte Ladungen im flüssigen Kern der Erde wird ein magnetisches Feld erzeugt, dessen Südpol sich in der Nähe des geographischen Nordpols zu finden ist, seine Achse jedoch um einige Grade von der Erddrehachse abweicht. Die magnetisierte Nadel richtet sich stets parallel zu den Feldlinien aus und mit ihrem Südpol nach Norden, deshalb wurde die nach Norden zeigende Spitze Rot markiert. Bringt man den Kompass in die Nähe eines Gegenstandes aus Metall, wie zum Beispiel einen Türstock oder einen Heizkörper, so stellt man fest, dass die Nadel aus der Nord-Süd-Richtung ausgelenkt wird. Durch magnetische Influenz werden diese Ferromagnete zu Magneten, deren Orientierung dem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt orientiert ist. Dies führt zu einer Beeinflussung des Erdmagnetfelds durch den Heizkörper, die durch den Kompass, welcher sich stets parallel zu den Feldlinien ausrichtet, angezeigt wird.



Bild 4-4: Kompass im Glas.

Magnetische Abschirmung und Entmagnetisierung

Tanzende Büroklammer

Material

- Magnet
- Büroklammer
- Faden (10 cm)
- Abschirmmaterialien (Holz, Eisenspachtel, Papier, ...)

So geht's

Die eine Seite des Fadens wird mittels eines Klebestreifens auf dem Tisch festgeklebt. Am anderen Ende wird die Büroklammer befestigt. Mit dem Magnet hebt man die Klammer an, bis der Faden gespannt ist und zwischen Klammer und Magnet ein 1 bis 2 cm breiter Spalt entsteht. Die Durchführung dieses Versuches kann man sich erleichtern, wenn man den Magneten auf ein dickes Buch stellt und die Fadenslänge so wählt, dass der oben beschriebene Aufbau gegeben ist. In den Spalt schiebt man nun die verschiedenen Gegenstände und beobachtet was passiert.



Bild 4-5: Die Büroklammer schwebt im Magnetfeld.

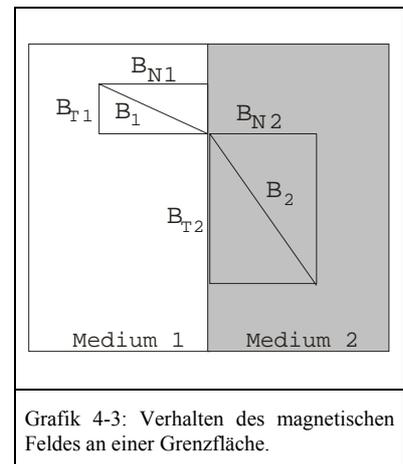
Physikalischer Hintergrund: Magnetisches Grenzflächenverhalten

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Ferromagnetische Stoffe schirmen das Magnetfeld ab

Bei der oben beschriebenen Versuchsanordnung übersteigt die Kraft, welche das magnetische Feld auf die Büroklammer ausübt, jene des Gravitationsfeldes, deshalb schwebt die Klammer am gespannten Faden. Bringt man nun einen dia- oder paramagnetischen Stoff in den Spalt ein, so wird man keine Veränderung der Situation feststellen. Sobald sich jedoch ein ferromagnetischer Stoff im Spalt befindet, fällt die Klammer zu Boden.

Betrachtet man den magnetischen Fluss durch eine Grenzfläche, so vereinfacht man die zu beschreibende Situation, indem man eine einzelne Feldlinie herausgreift und diese in eine Tangential- und eine Normalkomponente bezüglich der Oberfläche der Grenzschicht aufteilt. Beim Übergang in das neue Material bleibt die Normalkomponente unverändert, die Tangentialkomponente wird entsprechend dem folgenden Gesetz verändert.



Grafik 4-3: Verhalten des magnetischen Feldes an einer Grenzfläche.

Magnetischer Fluss	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$B_{N1} = B_{N2}$ $\frac{B_{T1}}{B_{T2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$	\vec{B}_{Ni}	$\frac{Vs}{m^2}$	Normalkomponente der Magnetischen Flussdichte im i-ten Medium
	\vec{B}_{Ti}	$\frac{Vs}{m^2}$	Tangentialkomponente der Magnetischen Flussdichte im i-ten Medium
	μ_i	1	Permeabilitätskonstante des jeweiligen Mediums

Bringt man einen ferromagnetischen Stoff in den Spalt ein, so findet ein Übergang von Luft mit einer Permeabilität von $\mu_r \approx 1$ in einen Bereich mit $\mu_r > 500$ statt. Dies bedeutet, dass sämtliche Feldlinien, die annähernd normal auf die Grenzfläche münden, so stark abgelenkt werden, dass sie im neuen Medium nahezu parallel zur Grenzfläche weiterfließen.

Betrachtet man jedoch die Situation für einen Gegenstand mit einer Permeabilität μ_r , die sich nur sehr wenig vom μ_r der Luft unterscheidet, wie zum Beispiel Papier oder Holz, so werden die Feldlinien nur sehr wenig abgelenkt und es kommt zu so gut wie keiner Beeinflussung des Magnetfeldes und der daraus resultierenden Kraftwirkung auf die Büroklammer.

Kleidet man die Wände eines Raumes mit Metallplatten aus, so ist dieser vollständig von nicht normal auftreffenden äußeren Magnetfeldern abgeschirmt.

U-Boote

Da U-Boote einerseits aus Metall bestehen und andererseits sehr groß sind, beeinflussen sie durch Ablenkung und Abschirmung der Feldlinien geringförmig das Magnetfeld der Erde. Diese Tatsache machen sich Aufklärungseinheiten zu Nutze und benutzen hochauflösende Geräte zur Analyse des Magnetfeldes um feindliche Boote aufzuspüren.

Schwingender Stab

Material

- Dünner Kupferdraht (20 cm)
- Nagel
- Flasche
- Magnet
- Feuerzeug, Gasbrenner

So geht's

Man biegt das Ende des Drahtes zu einem U und befestigt ihn damit an der Flasche oder einer anderen hitzebeständigen Aufhängevorrichtung derart, dass sich der Stab bis zu einem Winkel von 30° auslenken lässt. Am anderen Ende des Drahtes biege man eine Schlinge in welchen der Nagel guten Halt findet. Den Pol eines Magneten nähert man dem Nagel an und lenkt den Draht im Winkel von etwa 25° aus seiner Ruhelage aus. Erhitzt man mit Hilfe des Gasbrenners den Nage, so pendelt er in die Senkrechte zurück.



Bild 4-6: Mit der Curie-Temperatur verliert der Nagel seinen Magnetismus.

Physikalischer Hintergrund: Curie-Temperatur

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Beim Erhitzen verlieren Ferromagnete ihre Magnetisierung.

Bringt man den Magneten in die Nähe des Nagels, so werden durch magnetische Influenz die Weißschen Bezirke ausgerichtet. Erhitzt man den Nagel mit der Flamme des Gasbrenners, so beginnt sein Kristallgitter immer stärker zu schwingen. Durch diese Gitterschwingungen wird die Ordnung der magnetisierten Bezirke zerstört. Der Draht verliert seine magnetischen Eigenschaften und pendelt in die Ruhelage. Nachdem der Draht wieder unter die Curie-Temperatur abgekühlt ist, entstehen spontan Weißsche Bezirke, deren Magnetfelder jedoch willkürlich angeordnet sind und sich im Mittel aufheben. Der Draht ist entmagnetisiert. Ist das dem Nagel umgebende Magnetfeld stark genug, so wird er durch magnetische Influenz magnetisiert und vom Magneten angezogen und das Spiel beginnt von neuem. Kupferdraht eignet sich aufgrund seiner diamagnetischen Eigenschaften für diesen Versuch besonders gut, da er vom Magneten so gut wie nicht angezogen wird und deshalb den Versuch nicht beeinflusst.

Curie-Temperatur	
Werkstoff	T_C [°C]
Eisen	744
Kobalt	1131
Nickel	372

(5) Elektrodynamik

Die Theorie der Elektrodynamik bildet einen gemeinsamen Erklärungsansatz für die Bereiche Magnetismus und Elektrizität. Erste Indizien für einen Zusammenhang dieser beiden Gebiete vermutete Oersted, als er im Jahre 1820 die Ablenkung einer Magnetnadel durch einen stromdurchflossenen Leiter bemerkte. Mathematisch formuliert wurde dieser Zusammenhang durch James Clerk Maxwell in seiner 1873 veröffentlichten Theorie.

Magnetfelder bewegter Ladungen

Der verwirrte Kompass

Material

- Kompass
- Draht
- Batterie (4,5 V)

So geht´s

Der Kompass wird auf den Tisch gelegt. Den Draht befestigt man auf dem Kompassgehäuse mit einem Tixostreifen derart, dass er genau über der Magnetnadel verläuft. Schließt man den Draht an eine Batterie, so bemerkt man, dass sich die Kompassnadel aus der Nord-Süd-Achse verdreht.

Physikalischer Hintergrund: Oersted-Versuch

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Bewegte elektrische Ladungen erzeugen ein Magnetfeld.

Da der überwiegende Teil von stromführenden Drähten und Kabeln aus Kupfer besteht und dieses nicht ferromagnetisch ist, kommt es nicht zu magnetischer Induktion und einer damit einhergehenden magnetischen Kraftwirkung zwischen Kompassnadel und Kupferdraht. Die Kompassnadel zeigt deshalb auch nach Anbringen des Drahtes unverändert nach Norden. Schließt man den Draht an eine Batterie an, so fließen Elektronen durch den Draht, welche ein Magnetfeld erzeugen. Dieses Feld ist von der Stromstärke, also der Anzahl und Geschwindigkeit der durch den Leiter fließenden Elektronen und dem Abstand vom Draht abhängig. Die Feldlinien dieses Feldes beschreiben konzentrische Kreise, deren Mittelpunkt im Draht liegt. Mit größer werdendem Abstand nimmt die Feldstärke ab. Die Umlaufrichtung der Feldlinien lässt sich mit der *Rechten-Faust-Regel* ermitteln:

Zeigt der ausgestreckte Daumen in Richtung des Stromflusses ($+$ \rightarrow $-$), so zeigen die gebeugten Finger die Orientierung der konzentrisch um den Stromfluss liegenden magnetischen Feldlinien ($N \rightarrow S$).

Die Kompassnadel orientiert sich parallel zu diesen Feldlinien, also bei genügend großem Stromfluss quer zum Draht, wobei der Nordpol des Kompass je nach Stromrichtung nach Osten oder Westen zeigt.



Bild 5-1: Ablenkung der Kompassnadel im Magnetfeld des Drahtes.

Drahtschaukel

Material

- Drähte mit Krokoklemmen
- 2 Gläser
- Batterie
- Hufeisenmagnet

So geht´s

Man stelle den Hufeisenmagnet mit einer langen Seite auf den Untergrund und richte ihn so aus, dass die kurze Seite senkrecht nach oben orientiert ist. Mit anderen Worten soll das U um 90° zur Seite gelegt werden. Einen Draht befestigt man mit seinen Klemmen an den oberen Rändern der beiden Gläser und positioniert die Gläser so, dass der Draht leicht durchhängt und durch die Öffnung des Magneten verläuft. Der Draht soll wie eine Kinderschaukel schwingen können, wobei die Schwingungsrichtung parallel zu den längeren Seiten des Magneten Orientiert sein soll. Verbindet man den Draht mit einer Batterie, so bewegt sich der Draht im Magnetfeld.

Sollte kein Hufeisenmagnet zur Verfügung stehen, so kann man unter die Drahtschaukel einen Stabmagneten oder Tafelmagnete legen, deren Magnetfeld im rechten Winkel zur Bewegungsrichtung des Drahtes orientiert sind.

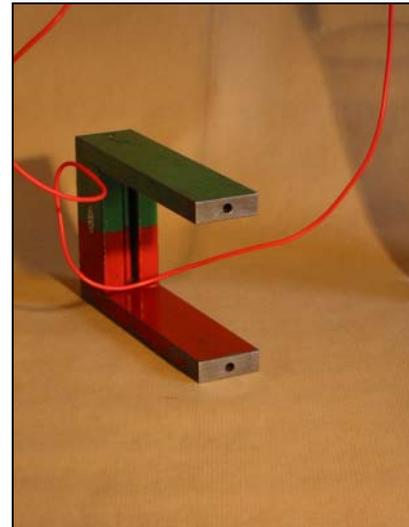


Bild 5-2: Der stromdurchflossene Draht bewegt sich im Magnetfeld.

Physikalischer Hintergrund: Lorenz-Kraft

Aufgrund der diamagnetischen Eigenschaften des Kupferdrahtes wirkt eine so geringe Kraft auf ihn, dass man keine Auslenkung im Magnetfeld feststellen kann. Sobald Strom durch den Draht fließt, baut dieser ein Magnetfeld auf und die Lorenz-Kraft wirkt auf ihn, welche als Bewegung der Drahtschaukel zu bemerken ist. Trennt man den Stromkreis, so schwingt die Drahtschaukel unverzüglich in die Ruhelage zurück. Dies ist ein Beweis für die alleinige Abhängigkeit der Kraftwirkung von den bewegten Ladungen im Draht. Schließt man den Draht umgekehrt an die Stromquelle an, so beobachtet man einen Ausschlag gleicher Stärke, jedoch in die entgegengesetzte Richtung.

Die Richtung in die der Draht abgelenkt wird, kann man mit der *Rechten-Hand-Regel* ableiten:

Hält man Daumen, Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand paarweise normal und zeigt der Zeigefinger in Ladungsbewegungsrichtung ($+ \rightarrow -$), der Mittelfinger in Magnetfeldrichtung ($N \rightarrow S$), so zeigt der Daumen in Ablenkungsrichtung der Ladungen.

Mit Hilfe des Lorenz-Kraft-Gesetzes lässt sich die Kraft auf die bewegte Ladung berechnen:

Lorenz-Kraft	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$\vec{F} = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$	\vec{F}	N	Kraft
	Q	C	Bewegte Ladung
	\vec{v}	$\frac{m}{s}$	Geschwindigkeit der Ladungen
	\vec{B}	m^2	Magnetische Induktion

Bewegt sich eine Ladung Q mit der Geschwindigkeit v durch ein Magnetfeld B , so wirkt eine Kraft F auf die Ladung, welche im rechten Winkel sowohl auf Bewegungsrichtung als auch auf das Magnetfeld orientiert ist.

Für unseren speziellen Aufbau, in dem die drei vektoriellen Größen normal aufeinander stehen und die bewegten Ladungen durch einen Draht der Länge l mit der Stromstärke I fließen, kann man obiges Gesetz folgendermaßen umformulieren:

Drahtablenkung	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$F = B \cdot l \cdot I$	F	N	Kraft
	B	C	Magnetische Induktion
	l	m	Drahtlänge
	I	A	Stromstärke

Ablenkung eines Elektronenstrahls

In der Bildröhre eines Fernsehers werden Elektronen in einem elektrischen Feld beschleunigt und auf die Bildröhre geschossen. Mittels Ausnutzung der Lorentzkraft wird dieser Elektronenstrahl von einem variierbaren Magnetfeld abgelenkt. Eines ist für die Rechts-Linksablenkung und ein zweites für die Oben-Untenablenkung verantwortlich. Fliegt der aus Elektronen bestehende Strahl durch das Magnetfeld, so wird er fortwährend in die durch die Rechte-Hand-Regel festgelegte Richtung abgelenkt und fliegt im Kreisbogen, bis er auf den Leuchtschirm prallt und ihn zum Leuchten bringt.

Zittrige Glühbirne

Material

- Leicht zugängliche Glühbirne in Deckenleuchte (15 W)
- Magnet

So geht´s

Am besten eignet sich ein dimmbarer Beleuchtungskörper dessen Glühbirnen gut zugänglich sind.

Schraubt man die Birne aus der Fassung und bringt man einen Magneten in die Nähe des Glühfadens, so kann man feststellen, dass der Faden nicht ferromagnetisch ist. Man schraube die Birne wieder ein, schalte den Lichtschalter ein und reduziere die Leuchtstärke der Glühbirnen derart, dass der Glühfaden hellrot bis gelb leuchtet. Bringt man einen Magneten in die Nähe der Birne, so bemerkt man, dass der Glühdraht zu vibrieren beginnt.

Physikalischer Hintergrund

Sobald Ladungen durch den Glühfaden fließen, wird der Faden aufgrund der Lorenzkraft, die auf bewegte Ladungen im Magnetfeld wirkt, ausgelenkt. Im Gegensatz zur Drahtschaukel fließt der Strom nicht in eine Richtung sondern ändert 50-mal in der Sekunde seine Fließrichtung.

Das bedeutet aber auch, dass die Bewegungsrichtung des Glühfadens alle zwei hundertstel Sekunden umgekehrt wird. Der Glühfaden schwingt also mit einer Frequenz von 50 Hz hin und her.

Der durch diese Frequenz zum Schwingen angeregte Glühfaden verhält sich wie eine Gitarrensaite. Wellen laufen den Glühfaden entlang, werden am festen Ende reflektiert und überlagern sich. Eine rein zufällige Abfolge von Auslenkungen des Glühfadens ist die Folge.

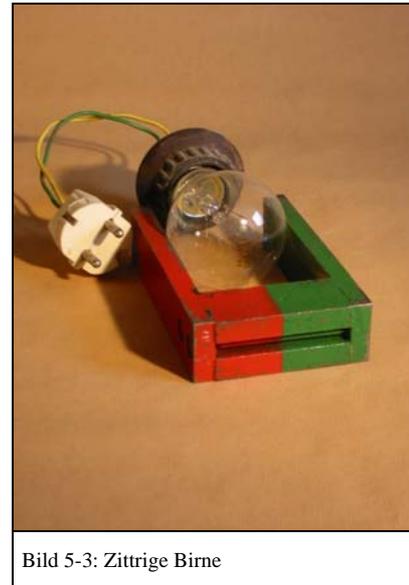


Bild 5-3: Zittrige Birne

Stromleitende Aluschlinge

Material

- Batterie 4,5 V (ev. 2 in Serie Schalten)
- Alufolie (5 mm x 40 cm)
- Experimentierkabel
- 2 Gläser
- Strohhalm
- Teelichthalter aus Alu

So geht´s

Man biege die beiden Enden des Alustreifens zusammen und biege den Streifen so, dass die beiden Schenkel sich nicht berühren und fingerbreit voneinander getrennt sind. Auf die beiden im Abstand von ca. 15 cm stehenden Gläser lege man den Strohhalm und befestige mit Hilfe einer Krokoklemme die zusammengefalteten Enden des Alustreifens. Der Streifen soll nun ohne Gläser oder Tisch zu berühren am Halm hängen. Den Draht verbinde man mit einem Pol der Batterie. Den Teelichtbehälter lege man so unter die Drahtschleife, dass eine leitende Verbindung hergestellt ist, die Aluschlinge jedoch nicht verbogen wird. Dies erfordert etwas Fingerspitzengefühl. Den zweiten Experimentierdraht verbinde man mit dem Teelichthalter, also mit dem unten hängenden Ende des Alustreifens und berühre immer wieder den anderen Pol der Batterie mit dem Draht. Sobald durch die Drahtschlinge Strom fließt, bemerkt man ein Zucken der Schlinge.

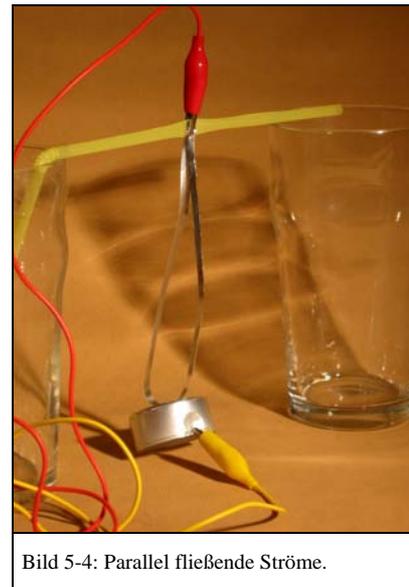


Bild 5-4: Parallel fließende Ströme.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Parallele Drähte mit gleichsinnig fließenden Strömen ziehen sich an.

Bei der physikalischen Betrachtung beginnen wir mit dem rechten Draht, nehmen an, dass der Strom von oben nach unten fließt und vernachlässigen zunächst den anderen. Wie im Versuch „Der verwirrte Kompass“ auf Seite 49 entsteht um den stromleitenden Draht ein Magnetfeld, welches nach der Rechten-Faust-Regel konzentrische Kreise um den Draht bildet und dessen Umlaufsinn von oben betrachtet im Uhrzeigersinn läuft. Die Feldlinien laufen also zwischen den beiden Drähten parallel zur Blickrichtung des Beobachters und umfließen den linken Draht.

Im zweiten Schritt betrachten wir nur dieses Magnetfeld und den linken Draht. Wir stellen fest, dass es sich um eine Situation wie im Versuch „Drahtschaukel“ auf Seite 50 handelt. Entsprechend der Rechten-Hand-Regel zeigt der Zeigefinger in Richtung der magnetischen Feldlinien, also in Blickrichtung des Beobachters, der Mittelfinger in Richtung des Stromflusses des Drahtes und der Daumen gibt die Richtung der Lorentzkraft an. Der Strom im zweiten Draht fließt ebenfalls von oben nach unten, deshalb zeigt der Daumen nach links und es kommt zu einer abstoßenden Wirkung.

Stromleitende Aluschlinge II

Material

- Batterie (4,5 V)
- Alufolie (5 mm x 40 cm)
- Experimentierkabel
- 2 Gläser
- Strohalm

So geht's

Auf die beiden im Abstand von ca. 15 cm stehenden Gläser lege man den Strohhalm und befestige ihn mit einigen Klebestreifen. Man biege den Alustreifen zu einer Schlinge und biege den Streifen so, dass die beiden Schenkel sich nicht berühren und fingerbreit voneinander getrennt sind. Mit je einer Krokoklemme befestigt man ein freies Ende des Alustreifens im Abstand von ca. 1 cm am Strohhalm. Verbindet man die beiden Experimentierdrähte mit den Polen einer Batterie, so fließen in den parallelen Drähten Ströme in entgegengesetzter Richtung. Schließt man den Stromkreis, so bemerkt man ein Zucken der Aluschlinge

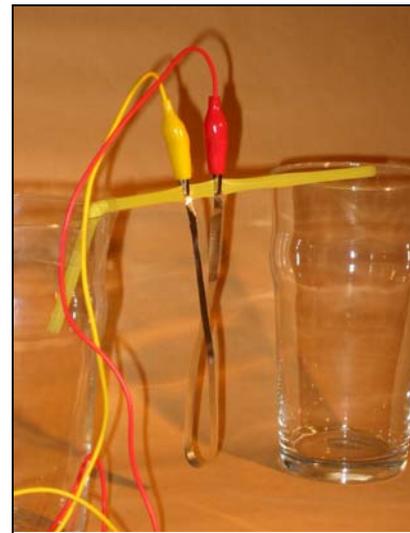


Bild 5-5: Entgegengesetzt fließende Ströme.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Parallele Drähte mit entgegengesetzt fließenden Strömen ziehen sich an.

Wir beginnen mit der Betrachtung des rechten Drahtes, nehmen an, dass der Strom von oben nach unten fließt und vernachlässigen zunächst den anderen. Um den stromleitenden Draht entsteht ein Magnetfeld, welches nach der Rechten-Faust-Regel konzentrische Kreise um den Draht bildet und dessen Umlaufsinn von oben betrachtet im Uhrzeigersinn läuft. Nun betrachten wir den linken Draht in dem Magnetfeld, das durch den rechten verursacht wurde. Entsprechend der Rechten-Hand-Regel zeigt der Daumen die Richtung der Lorenzkraft an, falls Daumen, Zeige- und Mittelfinger paarweise aufeinander normal stehen. Der Strom fließt im Draht von unten nach oben (Mittelfinger), der Zeigefinger, das Magnetfeld anzeigend, ist in Blickrichtung und der Daumen zeigt in Richtung des rechten Drahtes. Das bedeutet, dass durch die Lorenzkraft der Draht zum anderen hin beschleunigt wird, es kommt zu einer anziehenden Wirkung zwischen den beiden Drähten.

Elektromagnetismus

Magnetisierungsspule

Material

- Litzendraht (2 m; $0,75 \text{ mm}^2$)
- Trinkholm
- Batterie (4,5 V)
- Kompass
- Nagel

So geht's

Man vergewissert sich, dass der Nagel nicht magnetisch ist, indem man ihn in die Nähe des Kompasses bringt. Bis auf die letzten 5 cm der beiden Enden wird der Draht mehrschichtig um den Trinkholm gewickelt, wobei die Wickelrichtung stets beibehalten werden soll. Nachdem man den Draht mit der Batterie verbunden hat, bringt man den Nagel in den Holm ein und überprüft mit dem Kompass, ob es zu einer Magnetisierung gekommen ist.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Eine stromdurchflossene Spule besitzt ein Magnetfeld, das dem eines Stabmagneten gleicht.

Sobald Strom durch den Leiter fließt, baut dieser entsprechend der Rechten-Faust-Regel ein Magnetfeld auf.

Werden zwei parallel liegende Leiter in gleicher Richtung von Strom durchflossen, so besitzen die jeweilig erzeugten Magnetfelder dieselbe räumliche Orientierung und das resultierende Magnetfeld ergibt sich durch Aufsummierung der Einzelfelder. Durch die spezielle Wicklung der Spule ist dieser Umstand gegeben und die magnetische Feldstärke H der so erzeugten Spule ist um den Faktor der Anzahl der Wicklungen N stärker als die Feldstärke eines einzelnen Drahtes.

Die Feldlinien einer stromdurchflossenen Spule verlaufen im Innenraum parallel und überall gleich dicht, im Außenraum umschlingen sie die Spule ringförmig.

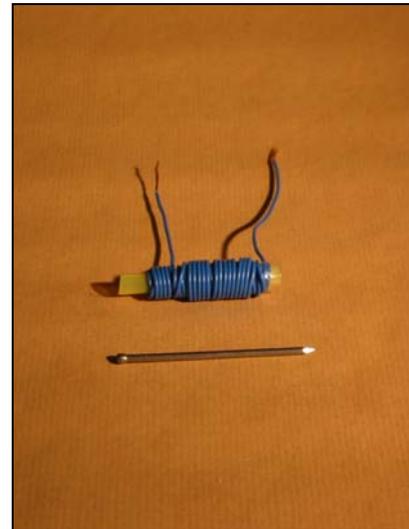


Bild 5-6: Eine mehrschichtig gewickelte Spule.

Die magnetische Feldstärke einer zylindrischen Spule ist abhängig von der Anzahl der Windungen und dem durch den Draht fließenden Strom, und fällt mit der Länge der Spule.

Feldstärke einer Zylinderspule	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$H = N \frac{I}{l}$	H	$\frac{A}{m}$	Magnetische Feldstärke
	N	1	Anzahl der Spulenwindungen
	I	A	Durch die Spule fließende Stromstärke
	l	m	Spulenlänge

Vergleichbar ist das so entstandene magnetische Feld mit dem eines Stabmagneten, der in der Spule liegt. Bringt man eine Substanz in die Spule ein, so richten sich die Elementarmagnete im Feld aus und der Gegenstand wird für eine bestimmte Zeit (Remanenz) selbst, wie im Versuch magnetisierte Schraube beschrieben, zum Magneten. Bringt man den so magnetisierten Gegenstand in die Nähe des Kompasses, so ist die erfolgreiche Magnetisierung durch die Ablenkung der Kompassnadel nachweisbar.

Modelleisenbahnschranke

Bringt man einen ferromagnetischen Stoff in die Nähe der Magnetisierungsspule, so bemerkt man, dass dieser in die Spule hineingezogen wird. Diesen Umstand macht man sich bei der Konstruktion der Schranken zu Nutze. Nach Betätigung des Schalters fließt Strom durch die Spule, welche ein Feld aufbaut. Durch magnetische Influenz wird eine Stange, welche über einen Hebel mit der Schranke verbunden ist in Richtung höherer Feldstärke, also in die Spule gezogen, wodurch sich der Schranken bewegt.

Elektromagnet

Material

- Schraube
- Strohhalm
- Experimentierdraht 50 cm
- Batterie (4,5 V)
- Büroklammern

So geht's

Der Draht wird um die Schraube gewickelt, wobei an beiden Enden ca. 5 cm Draht frei bleiben sollen. Nun schließt man die beiden Drahtenden an die Batterie an und erhöht die Windungszahl so lange, bis man die Büroklammern aufheben kann. Unterbricht man die Verbindung mit der Stromquelle, so fällt die Klammer zu Boden.

Im zweiten Teil des Versuches wickelt man den Draht mit derselben Anzahl an Windungen als zum Heben der Klammer von Nöten waren um den Strohhalm und versucht erneut die Klammer zu heben.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Durch Einbringen eines ferromagnetischen Stoffes in ein Magnetfeld erhöht sich der magnetische Fluss.



Bild 5-7: Ein Elektromagnet.

Wie im Versuch Magnetisierungsspule auf Seite 55 entsteht, sobald Strom durch die Spule fließt, ein Magnetfeld, dessen Feldstärke H durch Stromstärke, Spulenlänge und Windungszahl gegeben ist. Dieser Wert gilt jedoch nur, falls sich in der Spule Vakuum befindet. Für das magnetische Feld besitzt Luft annähernd die selben Eigenschaften wie Vakuum, weshalb die Gleichung für die Feldstärke einer Zylinderspule durchaus brauchbare Ergebnisse liefert. Anhand der physikalischen Größe der Permeabilitätszahl μ_r kann man verschiedene Stoffe nach ihrer Eigenschaft der Beeinflussung des magnetischen Feldes einteilen.

Die Permeabilitätszahl gibt das Verhältnis der magnetischen Flussdichte durch einen bestimmten materiegefüllten Raum zur Flussdichte desselben Raumes im Vakuum an, wobei dem Vakuum die Permeabilitätszahl $\mu_r=1$ zugeordnet wird.

Permeabilitätszahl μ_r		
	Werkstoff	$\mu_r [1]$
Ferromagnetika $\mu_r \gg 1$	Gusseisen	500
	Eisen	10 000
Paramagnetika $\mu_r > 1$	Luft	$1 + 0,4 \cdot 10^{-6}$
	Alu	$1 + 22 \cdot 10^{-6}$
Diamagnetika $\mu_r < 1$	Wasser	$1 - 7 \cdot 10^{-6}$
	Kupfer	$1 - 10 \cdot 10^{-6}$

Im Inneren einer Spule herrscht selbst im Vakuum eine gewisse magnetische Feldstärke H . Diese ruft einen magnetischen Fluss hervor.

Magnetischer Fluss im Vakuum	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$ $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$	\vec{B}	$\frac{Vs}{m^2}$	Magnetische Flussdichte
	μ_0	$\frac{Vs}{Am}$	Magnetische Feldkonstante
	\vec{H}	$\frac{A}{m}$	Magnetische Feldstärke

Bringt man nun in die Spule einen Stoff ein, so verändert sich der durch das magnetische Feld hervorgerufene Fluss um den Faktor der Permeabilität.

Magnetischer Fluss	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$\vec{B} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}$	\vec{B}	$\frac{Vs}{m^2}$	Magnetische Flussdichte
	μ_0	$\frac{Vs}{Am}$	Magnetische Feldkonstante
	\vec{H}	$\frac{A}{m}$	Magnetische Feldstärke
	μ_r	1	Permeabilität

Der magnetische Fluss einer Spule mit Eisenkern gegenüber einer Spule ist demnach mehr als 500-mal stärker. Anders ausgedrückt musste man um den Strohhalm die 500-fache Anzahl an Windungen wickeln um dieselbe Kraftwirkung auf die Büroklammer zu erzeugen, die von der umwickelten Schraube erzeugt wird. Wasser und Kupfer eignen sich nicht als Spulenkern, da sie den magnetischen Fluss verringern würden.

Induktion

Stromerzeugung

Material

- Multimeter
- Magnet
- Drahtrolle

So geht's

Eine handelsübliche Rolle Draht wird an den beiden Enden abisoliert und durch das Loch in der Mitte wird ein Magnet gesteckt. Das Multimeter wird auf Spannungsmessung für Gleichstrom, gekennzeichnet durch „=V“ oder „DCV“ im Bereich „200 m“ Volt eingestellt und mit den beiden abisolierten Enden des Drahtes verbunden. Die Drahtrolle wird auf dem Magneten zuerst in die eine Richtung bewegt und danach in die andere.

Physikalischer Hintergrund: Induktion

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Bewegt sich eine Spule im Magnetfeld, so wird eine Spannung induziert.
- Mit der Bewegungsrichtung der Spule ändert sich das Vorzeichen der induzierten Spannung.

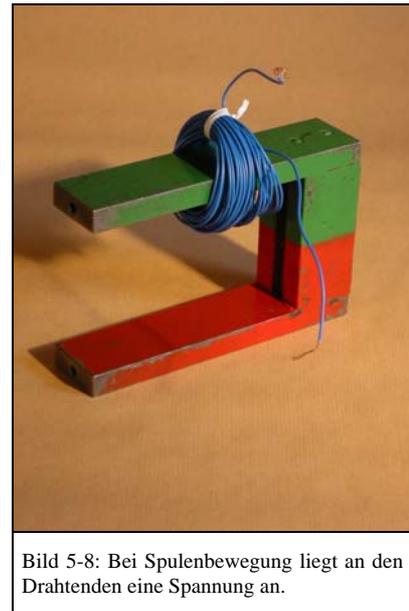


Bild 5-8: Bei Spulenbewegung liegt an den Drahtenden eine Spannung an.

Zum leichteren Verständnis dieses Versuches stellen wir uns anstelle der Drahtrolle einen einzelnen Draht vor, der sich zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten befindet, wobei er wie im Versuch Drahtschaukel angeordnet ist. Im Draht sind Ladungsträger (Elektronen) vorhanden, die falls der Draht im Magnetfeld bewegt wird, durch die Lorenz-Kraft in eine bestimmte Richtung abgelenkt werden. Die Bewegungsrichtung der Elektronen im Draht wird durch die Rechte-Hand-Regel beschrieben.

Hält man Daumen, Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand paarweise normal und zeigt der Zeigefinger in Bewegungsrichtung des Drahtes, der Mittelfinger in Magnetfeldrichtung ($N \rightarrow S$), so zeigt der Daumen in Bewegungsrichtung der Ladungen (Induktionsstrom).

Die Verschiebung der Elektronen im Draht führt zu einem Induktionsstrom, dessen Fließrichtung von der Bewegungsrichtung des Drahtes im Magnetfeld abhängig ist. An einem Drahtende bildet sich ein Elektronenüberschuss, der als Induktionsspannung messbar ist, aus. Bewegt man die Drahtrolle über den Magneten, so kann man einen positiven Spannungswert ablesen, dreht man die Bewegungsrichtung um, so erhält man einen negativen Wert.

Verwendet man anstelle eines einzelnen Drahtes eine Spule mit N Wicklungen, so summiert sich dieser Effekt auf und es kann eine entsprechend höhere Spannung gemessen werden. Die Höhe der induzierten Spannung gibt das Induktionsgesetz an.

Induktionsgesetz	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$U_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$	U_{ind}	V	Induzierte Spannung
	N	1	Anzahl der Wicklungen der Spule
	$d\Phi$	Vs	Änderung des magnetischen Flusses im gegebenen Zeitintervall
	dt	s	Zeitintervall

Der magnetische Fluss kann sich auf zweierlei Arten ändern:

- Im Falle der Bewegungsinduktion bewegt sich ein Leiter im konstanten Magnetfeld B und überstreicht dabei eine Fläche A.
- Bei der transformatorischen Induktion verändert sich das Magnetfeld und die Lage des Leiters bleibt konstant.

Für den Fall einer Versuchsanordnung nach dem Aufbau der Drahtschaukel, wenn also Magnetfeld, Bewegungsrichtung des Drahtes und Draht paarweise aufeinander normal stehen, kann man das Gesetz wie folgt umformulieren.

Bewegter Draht im Magnetfeld	Symbol	Einheit	Bezeichnung
$U_{ind} = -l \cdot B \cdot v$	U_{ind}	V	Induzierte Spannung
	l	m	Leiterlänge
	B	$T = \frac{Vs}{m^2}$	magnetische Induktion
	v	$\frac{m}{s}$	Relativgeschwindigkeit zwischen Leiter und Magnetfeld

Für unseren Versuch bedeutet dies, dass die induzierte Spannung nur von der Relativgeschwindigkeit, mit der die Drahtschlinge über den Magneten geschoben wird, abhängt und es unerheblich ist, ob Magnet oder Spule bewegt wird.

Bewegter Drahring

Material

- Draht (10 cm)
- Tixo
- Magnet

So geht´s

Der Draht wird an beiden Enden abisoliert und die Litzen verdrillt. Mit einem etwa 40 cm langen Klebestreifen befestigt man den Drahring an einer Tischkante oder einem über zwei Ordner gelegten Strohalm. Bringt man den Magneten in die Drahtschleife ein, wartet bis der Ring absolut ruhig am Streifen hängt und zieht dann den Magneten zügig aus dem Ring heraus, so bemerkt man, dass sich der Drahring mit dem Magneten mitbewegt. Wiederholt man diesen Vorgang und bewegt den Magneten in der Drahtschlinge rhythmisch hin und her, so kann man den Ring in eine Pendelbewegung versetzen.

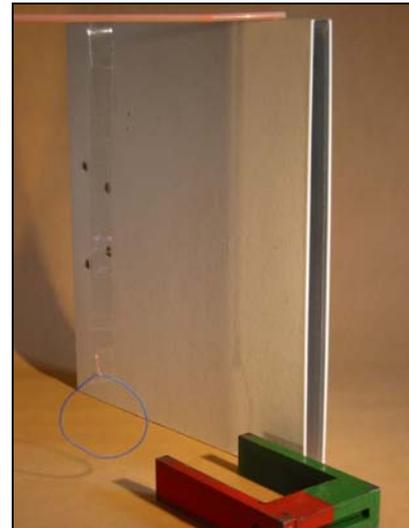


Bild 5-9: Der Magnet setzt den Drahring in Bewegung.

Physikalischer Hintergrund: Lenz´sche Regel

Bewegt man den Magneten durch die Drahtschlinge, so verändert man den Magnetischen Fluss, es kommt also zu einer transformatorischen Induktion und somit zu einem Stromfluss durch den Draht. Da der Draht an den Enden verdrillt ist, kommt es zu einem beständigen Stromfluss durch den Ring. Der in der Schlinge induzierte Strom bildet seinerseits ein Magnetfeld aus, das dem Feld des Magneten entgegengesetzt gerichtet ist. Es herrscht eine abstoßende Kraft zwischen Induktionsstromverursacher und Induktionsstromwirkung.

Die durch den Induktionsstrom hervorgerufene Wirkung ist der Ursache entgegen gerichtet.

Bewegt man den Magneten in der Schleife, so bildet sich eine Kraft aus, die diese Bewegung zu stoppen versucht. Aufgrund der Aufhängung des Ringes schwenkt er in Bewegungsrichtung des Magneten aus. Durch hin- und herbewegen des Magneten versetzt man ihn in Schwingung, welche sich selbst dämpft, sofern man den Magneten in der Drahtschlinge Ruhen lässt.

Rutschpartie

Material

- Aluminium- oder Kupferrohr oder U-Profil
- Magnet
- Aluminiumstück

So geht´s

Mit dem Magneten versichere man sich, dass es sich bei der Rutsche nicht um ein ferromagnetisches Material handelt und der Magnet nicht am Rohr haften bleibt. Hält man das Rohr annähernd senkrecht und lässt den Magneten durch das Rohr rutschen, so wird man bemerken, dass dieser Vorgang viel langsamer vor sich geht, als man für einen Gegenstand mit dieser Größe und diesem Gewicht selbst unter Berücksichtigung der Reibung erwarten würde.

Besonders gut sieht man diese Verzögerung, wenn man Magnet und Alustück gleichzeitig durch das Rohr fallen lässt.

Physikalischer Hintergrund: Wirbelströme

Weder Aluminium- noch Kupferrohre verfügen über ferromagnetische Eigenschaften. Beide sind sie elektrisch leitfähige Stoffe. Fällt der Magnet durch das Rohr, so erzeugt er dadurch ein sich zeitlich veränderndes Magnetfeld. Durch dieses Magnetfeld werden nach den Prinzipien der Induktion Ladungsströme hervorgerufen. Da anders als im Draht bei Versuch Induktion keine ausgezeichnete Bewegungsrichtung der Ladungen vorgegeben ist, werden Wirbelströme¹ induziert. Nach der Lenz'schen Regel wirkt das durch die Wirbelströme hervorgerufene Magnetfeld dem kreisstromerzeugenden entgegen. Zwischen dem hervorgerufenen Magnetfeld und dem fallenden Magneten herrscht somit Abstoßung und der Fall wird gebremst.

Fällt ein Magnet durch ein Kunststoffrohr, so bilden sich aufgrund der isolierenden Eigenschaften keine Wirbelströme aus und der Magnet wird nur aufgrund der mechanischen Reibung gebremst.



Bild 5-10: Der Magnet rollt durch Wirbelströme gebremst.

¹ Als Wirbelströme bezeichnet man Ladungen die sich auf Kreisbahnen bewegen.

Elektrotechnik

Gleichstrommotor

Material

- Kupferlackdraht
- Batterie (4,5 V)
- Magnet

So geht's

Der Kupferlackdraht wird auf einer Brausetablettenverpackung zu einem Torus (Reifen) gewickelt, wobei die letzten 10 cm an beiden Enden nicht verwickelt werden. Man nimmt den Torus von der Verpackung und schlingt den nicht verwickelten Draht an zwei gegenüberliegenden Stellen so um den Draht, das die einzelnen Wicklungen gut zusammenhalten. Die beiden Drahtenden sollen um 180° versetzt radial vom Torus wegzeigen und werden auf eine Länge von je 4 cm gekürzt. Auf der einen Seite wird die isolierende Lackierung mit einem Messer zur Gänze weggekratzt. Liegt die Apparatur auf dem Tisch, so wird die nach oben zeigende Hälfte des auf der anderen Seite wegstehenden Drahtes abisoliert und der Rotor ist fertig.

In die beiden Pole der Batterie treibt man mit einer Pinnnadel je ein Loch, in das man die Drahtenden des Rotors steckt. Bringt man nun einen Magnet in die Nähe des Rotors, und stößt den Rotor an, so beginnt er sich zu drehen.

Physikalischer Hintergrund

Zum Verständnis des Gleichstrommotors stellen wir uns einen zum Ring gebogenen stromdurchflossenen Leiter zwischen zwei unterschiedlichen magnetischen Polen vor, wobei der Ring fast parallel zu den geradlinig vom Nord- zum Südpol verlaufenden Feldlinien angeordnet sein soll und sich um eine Achse, die normal auf die Feldlinien liegt, drehen kann. Auf den stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt die Lorenz-Kraft und der Leiterring beginnt sich zu drehen. Das vom Leiterring erzeugte Magnetfeld versucht sich im ihn umgebenden Magnetfeld auszurichten. Bleibt der Stromfluss durch die Leiterschleife unverändert, so schwingt der Rotor im Magnetfeld aus. Eine Rotation kommt nur dann zustande, wenn die Fließrichtung des Stromes durch den Rotor bei jeder halben Umdrehung umgepolt wird und dadurch ständig ein bewegungserhaltendes Drehmoment auf den Rotor wirkt. Bei Gleichstrommotoren erfolgt dies durch den Kommutator. In unserer Versuchsanordnung wird durch die nicht vollständige Abisolierung eines Drahtendes der Stromfluss unterbrochen und der Rotor dreht sich aufgrund der Drehimpulserhaltung um eine halbe Drehung, bis der Kontakt wieder hergestellt und die Lorenzkraft den Motor wieder antreibt.

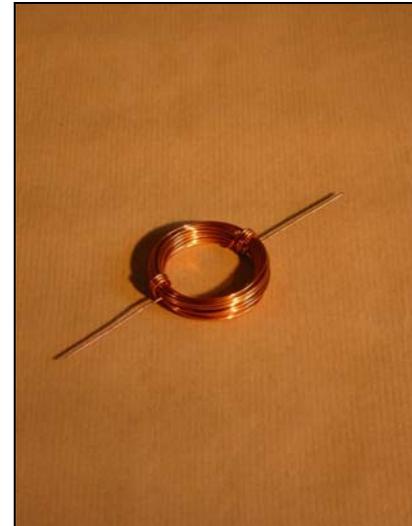


Bild 5-11: Ein Drahtende ist gänzlich, das andere auf der oberen Seite abisoliert.

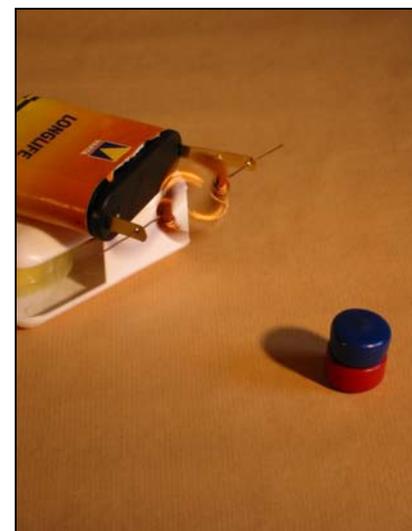


Bild 5-12: Der Motor dreht sich.

Elektromagnetische Wellen

Pulsierende Bombe

Material

- Mikrowelle
- Schwedenbombe

So geht´s

Man stellt eine Schwedenbombe in die Mikrowelle und schaltet diese auf niedriger Stufe ein. Nach einiger Zeit kann man ein pulsieren der Schwedenbombe feststellen

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Zur Leistungsregulierung wird der mit voller Leistung laufende Mikrowellensender an und aus geschaltet.

Den Umstand, dass bei Regen oder Nebel der Empfang bei Richtfunkanlagen schwächer wird, da ein Teil der Energie auf dem Weg verloren geht macht man sich bei der Erwärmung von Speisen in der Mikrowelle zu Nutze. Das Funktionsprinzip beruht darauf, dass die Wassermoleküle der zu erwärmenden Speise zu einer der möglichen Grundschwingungen der Wärmeschwingung des Moleküls angeregt werden. Übliche Geräte arbeiten mit einer Frequenz von 2500 Hz, dies ist der Frequenzbereich der Dezimeterwellen, in dem auch Radarwellen, Richtfunk, Wireless-LAN und Handys arbeiten. Die Leistung eines Senders ist von dessen Frequenz und der Höhe der in der Antenne bewegten Ladung abhängig und lässt sich aufgrund der Bauweise nicht ändern. Da sich die verrichtete Arbeit aus Leistung mal Zeit ergibt, kann man in einem gegebenen Zeitintervall die Arbeit wahlweise durch Verringerung der Leistung oder durch Verkürzung der Einwirkzeit erreichen. Im Falle der Mikrowelle ist die abgestrahlte Leistung konstant, weshalb eine Verringerung der geleisteten Arbeit, also eine weniger starke Erwärmung, nur durch periodisches zu- und abschalten des Mikrowellensenders möglich ist. Besonders auf kleiner Garstufe sind diese Intervalle sehr lange. An der Schwedenbombe erkennt man die Heizperioden am Ausdehnen des eingeschlossenen Wasserdampfs in den Hohlräumen und die Leerlaufzeiten am Schrumpfen aufgrund der Abkühlung.



Bild 5-13: Mikrowellenpulsar

Rohes Ei in der Mikro

Sollte jemand auf die Idee kommen, ein rohes Ei in der Mikrowelle kochen zu wollen, so erhält er keine pulsierende sondern eine richtige Bombe. Da die Schale des Eis eine Expansion aufgrund des steigenden Innendrucks verhindert, platzt das Ei plötzlich.

CD-Vernichtung

Material

- Mikrowelle
- CD

So geht's

Die CD wird in die Mikrowelle gelegt und selbe auf maximaler Stufe ganz kurz eingeschaltet.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Auf Metallen in der Mikrowelle springen Funken über.

Eine elektromagnetische Welle besteht aus einem elektrischen und einem magnetischen Anteil, welche auf die Ausbreitungsrichtung und aufeinander normal stehen. Die Strahlungsenergie geht ständig vom elektrischen in den magnetischen Anteil und umgekehrt über. Ist die elektrische Komponente Null, so ist der magnetische Anteil maximal. Trifft diese Strahlung auf die CD, so werden in der Reflexionsschicht, welche aus Aluminium besteht vom magnetischen Anteil der Strahlung Kreisströme induziert. Viele dieser Kreisströme liegen nebeneinander, was zur Folge hat, dass Bereiche hoher und Bereiche niedriger Ladungsdichte eng nebeneinander liegen. Ist der Ladungsunterschied zu groß, durchschlagen Funken die Lackschicht der Cd. Die zerstörten Bereiche weisen ein Zellmuster auf und sind deutlich zu erkennen.

In der Bedienungsanleitung jeder Mikrowelle steht, dass Kaffeetassen mit Goldrand nicht in die Mikrowelle gestellt werden dürfen. Der Goldrand würde durch die überschlagenden Funken zerstört werden und die Mikrowellenröhre selbst nimmt schaden.



Bild 5-14: Vernichtete CD

Handy in der Mikrowelle

Material

- Mikrowelle
- Handy

So geht's

Man lege ein eingeschaltetes Handy in die Mikrowelle und schließe die Tür. Das Mikrowellengerät soll nicht eingeschaltet werden. Mit einem zweiten Handy oder den Festnetzanschluss versucht man das eingeschlossene Gerät zum Leuten zu bringen.

Physikalischer Hintergrund

Aus dem obigen Experiment kann man folgende Erkenntnisse gewinnen:

- Elektromagnetische Strahlung kann abgeschirmt werden

Ziel der Mikrowelle ist es, das Gargut im Gerät zu erwärmen und den das Gerät umgebenden Raum jedoch nicht mit Strahlung zu belasten. Elektromagnetische Strahlung mit einer in Mikrowellen üblichen Intensität ist in der Lage bei Mensch und Tier erhebliche Schäden bis zum Tod zu verursachen. Der Fall von der Katze, die den Felltrockenversuch in der Mikrowelle nicht überlebt hat, sollte jedem eine Warnung sein, ungeachtet, ob es eine Tatsache oder Legende ist.

Elektromagnetische Strahlung kann durch geerdete, leitende Folien abgeschirmt werden. Vergleichbar ist dieser Effekt mit der Totalreflexion von Licht, das ebenfalls als elektromagnetische Welle gesehen werden kann, beim Übergang von Wasser in Luft. Die Strahlung dringt in die Folie ein, durchdringt sie und tritt ab einen bestimmten Winkel nicht mehr aus der Folie aus, sondern wird an der Grenzschicht reflektiert und wird in der Folie weitergeleitet. Ohne diesen Effekt wäre es nicht möglich die empfangenen Radiowellen per Kabel von der Empfangsantenne zum Fernseher zu leiten. Ist die Maschenweite eines Drahtgeflechts klein gegenüber der Wellenlänge der Strahlung, so genügt auch ein geerdetes Drahtgeflecht um die Strahlen abzuschirmen. Ein geerdetes metallenes Nudelsieb verhindert den Empfang eines Kofferradios.

Die Mikrowelle ist einerseits durch das geerdete Metallgehäuse und andererseits durch das Metallgitter im Sichtfenster geschützt um keine Strahlung entweichen zu lassen. Konstruktionsbedingt existieren jedoch Bereiche, an denen dieser Schutz unterbrochen ist, wie zum Beispiel an der Tür oder den Entlüftungsöffnungen. Ein Klingeln des Handys ist demnach ein Indiz für ein Gerät mit einer sehr hohen Leckrate. Während des Betriebes sollte man darauf achten, dass ein genügend großer Abstand zum Gerät eingehalten wird, da die Strahlungsintensität mit dem Quadrat der Entfernung sinkt.

Vor allem Kleinkinder sollten davon abgehalten werden, während des Betriebes die Vorstellung der drehenden Suppenschüssel aus nächster Nähe zu betrachten.



Bild 5-15: Handy in der Mikrowelle

(6) Literaturverzeichnis

- [1] Stöcker, H. (1994); Taschenbuch der Physik (2. Auflage); Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, Thun
- [2] Meschede D. (2002); Gerthsen Physik (21. Auflage); Springer Verlag Berlin
- [3] KATALYSE e.V. (1994); Elektrosmog (2. Auflage); C. F. Müller Verlag GmbH, Heidelberg
- [4] Kraker, Paill (2001); Physik Band 2; E. Dorner GmbH, Wien
- [5] Jaros, Nussbaumer (1992); Basiswissen 3; Verlag Hödler-Pichler-Tempsky (hpt), Wien

(7) **Abbildungsverzeichnis**

Bilder

Fotos: Steger Daniel-Markus

BILD 2-1: DER WASSERSTRAHL WIRD ELEKTROSTATISCH ABGELENKT.....	6
BILD 2-2: DIE GLEICHNAMIG GELADENEN LÖFFEL STOBEN SICH AB.	8
BILD 2-3: DIE KUGELN TANZEN AUF DER GELADENEN CD-HÜLLE	10
BILD 2-4: ENERGIE WIRD ELEKTROSTATISCH ÜBERTRAGEN.	11
BILD 2-5: ELEKTROSKOP IM GURKENGAS	13
BILD 2-6: DAS BECHERELEKTROSKOP	14
BILD 2-7: LADUNGEN KÖNNEN AUF DAS ELEKTROSKOP ÜBERTRAGEN WERDEN.	15
BILD 2-8: DURCH HERANFÜHREN DER FLAMME WIRD DAS ELEKTROSKOP ENTLADEN.	16
BILD 2-9: DURCH INFLUENZ SCHLÄGT DAS ELEKTROSKOP AUS.	18
BILD 2-10: DER NAGEL ZEIGT IN RICHTUNG DER FELDLINIEN.	19
BILD 2-11: DIE KUGEL TRANSPORTIERT LADUNGEN.....	20
BILD 2-12: DAS ÖL ÜBERWINDET DIE SCHWERKRAFT.....	21
BILD 2-13: DIE SCHLANGE SCHNAPPT NACH DEM LÖFFEL.	22
BILD 2-14: PFEFFER SPRINGT EHER AUF DEN LÖFFEL ÜBER.....	23
BILD 2-15: DIE PAPIERSCHNIPSEL TANZEN.	23
BILD 2-16: DIE SEIFENBLASEN FLIEGEN ENTLANG DER FELDLINIEN.	25
BILD 3-1: DIE FRÜCHTE LIEFERN EINE SPANNUNG.	27
BILD 3-2: BERÜHRT MAN EINEN LEITER, SO BRENNT DIE BIRNE.	29
BILD 3-3: DAS SALZWASSER LEITET DEN STROM.....	31
BILD 3-4: DER WIDERSTAND EINER 25 W BIRNE.....	32
BILD 3-5: FLIEBT STROM DURCH DIE FOLIE SO WIRD SIE HEIß.	33
BILD 3-6: DAS GURKERL LEUCHTET GELB-ORANGE.....	35
BILD 3-7: EIN KONDENSATOR SEHR GERINGER KAPAZITÄT.	36
BILD 3-8: DER KONDENSATOR IST GELADEN.	38
BILD 4-1: MAGNETISIERUNG DURCH AUSRICHTEN DER WEIBSCHEN BEZIRKE.	41
BILD 4-2: DIE SCHRAUBE IST MAGNETISIERT.	42
BILD 4-3: WEINTRAUBE	44
BILD 4-4: KOMPASS IM GLAS.....	45
BILD 4-5: DIE BÜROKLAMMER SCHWEBT IM MAGNETFELD.	46
BILD 4-6: MIT DER CURIE-TEMPERATUR VERLIERT DER NAGEL SEINEN MAGNETISMUS.	48
BILD 5-1: ABLENKUNG DER KOMPASSNADEL IM MAGNETFELD DES DRAHTES.....	49
BILD 5-2: DER STROMDURCHFLOSSENE DRAHT BEWEGT SICH IM MAGNETFELD.	50
BILD 5-3: ZITTRIGE BIRNE	52
BILD 5-4: PARALLEL FLIEßENDE STRÖME.	53
BILD 5-5: ENTGEGENGESETZT FLIEßENDE STRÖME.	54
BILD 5-6: EINE MEHRSCHTIG GEWICKELTE SPULE.	55
BILD 5-7: EIN ELEKTROMAGNET.....	57
BILD 5-8: BEI SPULENBEWEGUNG LIEGT AN DEN DRAHTENDEN EINE SPANNUNG AN.	59
BILD 5-9: DER MAGNET SETZT DEN DRAHTRING IN BEWEGUNG.	61
BILD 5-10: DER MAGNET ROLLT DURCH WIRBELSTRÖME GEBREMST.....	62
BILD 5-11: EIN DRAHTENDE IST GÄNZLICH, DAS ANDERE AUF DER OBEREN SEITE ABISOLIERT.....	63
BILD 5-12: DER MOTOR DREHT SICH.	63
BILD 5-13: MIKROWELLENPULSAR	64
BILD 5-14: VERNICHTETE CD	65
BILD 5-15: HANDY IN DER MIKROWELLE.....	66

Grafiken:

Grafiken: Steger Daniel-Markus

GRAFIK 2-1: WASSER ALS DIPOL	7
GRAFIK 2-2: DER FLUG DES STREUZUCKERS.	12
GRAFIK 2-3: DIE LADUNGS-VERTEILUNGEN IN LÖFFEL (1), SCHLANGE (2) UND METALL (3)..	22
GRAFIK 2-4: DAS BLATT HAFTET AM FERNSEHER.....	24
GRAFIK 3-1: GALVANISCHES ELEMENT.	26
GRAFIK 3-2: BEIM ZUSAMMENDRÜCKEN LIEGT EINE SPANNUNG AM KRISTALL AN.....	28
GRAFIK 3-3: GAREN MIT STROM.	34
GRAFIK 3-4: STROMKREIS AUS BATTERIE, KONDENSATOR UND VOLTMETER.	38
GRAFIK 3-5: LADEKURVE EINES KONDENSATORS.....	39
GRAFIK 3-6: ENTLADEKURVE EINES KONDENSATORS.....	40
GRAFIK 4-1: HYSTERESEKURVE EINES FERROMAGNETISCHEN STOFFES.	42
GRAFIK 4-2: MAGNETISCHE KRAFTWIRKUNGEN.....	43
GRAFIK 4-3: VERHALTEN DES MAGNETISCHEN FELDES AN EINER GRENZFLÄCHE.....	46

(8) Index**B**

Bewegungsinduktion..... 60

C

Coulomb Gesetz..... 9

Curie-Temperatur..... 48

D

Destilliertes Wasser..... 31

Diamagnetismus..... 44

Dipol 7

E

Elektrisches Feld..... 19

Elektrochemische Spannungsreihe..... 27

Elektroskop 13

Elementarmagnete..... 41

F

Ferromagnetismus..... 42

Franklin Glocken..... 20

G

Galvanisches-Element..... 26

gekoppelte Pendel 11

Gleichstrommotor 63

H

Handy..... 64

Hystereseurve..... 42

I

Induktion..... 59

Influenz 18

Ionen 16

Isolatoren..... 29

L

Leidener Flasche 36

Leiter..... 29

Lenz'sche Regel..... 61

Lorenz-Kraft 50

Luftionenkonzentration..... 17

M

magnetische Influenz 42

Magnetisches Feld 45

Magnetisches Grenzflächenverhalten 46

Magnetisierungsspule 55

Mikrowelle - Leckrate..... 66

Millikan-Versuch 21

O

Oersted-Versuch 49

P

Paramagnetisch 44

Piezozünder..... 28

Polarisation 19

Q

Quarzuhr 28

R

Radarwellen 64

Radiowecker 18

Rechte-Faust-Regel..... 49*Rechte-Hand-Regel*..... 50

Reibungselektrizität 7

Remanenz-Magnetisierung 42

Richtfunk 64

S

Schmelzsicherung 33

Spezifischer Widerstand 30

T

transformatorische Induktion 60

W

Wärmeschwingung 64

Wasserstoffmolekül 7

Weißsche Bezirke 41

Wirbelströme 62

Wireless-LAN..... 64