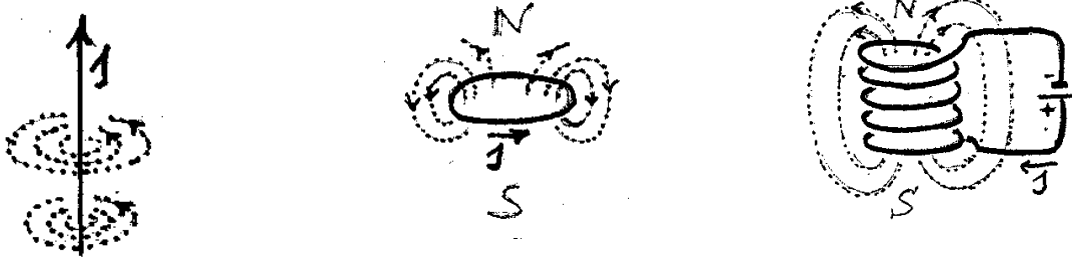


ELEKTROMAGNETISMUS

Grundtatsache: Jeder elektrische Strom ist von einem Magnetfeld umgeben, dessen Kraftlinien als Kreise den elektrischen Strom umgeben.

Die **Richtung** ist durch die **Rechtsschraubenregel** bestimmt:

Dreht man eine Rechtsschraube so, daß sie sich in Richtung des elektrischen Stromes bewegt, so zeigt die Drehrichtung der Schraube die Richtung der magnetischen Kraftlinien an.



Magnetfeld eines elektrischen Stromes (links)
eines Kreisstromes (Mitte)
einer stromdurchflossenen Spule (rechts)

Wenn ein Strom in einem Leiter eingeschaltet wird, so breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit, vom Leiter ausgehend, das Magnetfeld aus. Wird der Strom abgeschaltet, zieht sich das Magnetfeld mit Lichtgeschwindigkeit wieder nach dem Leiter hin zusammen und verschwindet.

Das Magnetfeld ist das wichtigste Kennzeichen des elektrischen Stromes!

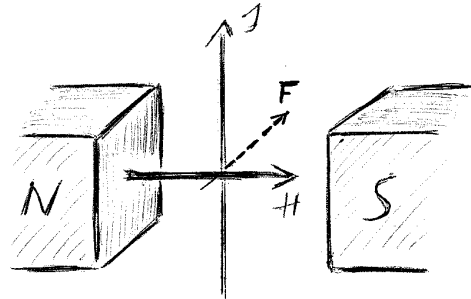
- Aus der Skizze oben in der Mitte läßt sich erkennen:
Ein **elektrischer Kreisstrom** hat dasselbe Magnetfeld wie ein **Stabmagnet!**
- Aus Skizze oben rechts folgt:
Eine **stromdurchflossene Spule** besteht aus mehreren hintereinandergeschalteten elektrischen Kreisströmen und hat daher ebenfalls dasselbe Magnetfeld wie ein **Stabmagnet aus Eisen!**

Elektromagnet

Ein Elektromagnet ist eine stromdurchflossene Spule, deren Inneres mit einem Weicheisenkern ausgefüllt ist. Das Weicheisen vervielfacht nämlich die Zahl der magnetischen Kraftlinien. („Magnetismus“, Seite 3)

Die magnetische Kraft des Elektromagneten ist dann umso größer, je größer die Stromstärke und je größer die Zahl der Spulenwindungen ist.

Bewegte Ladung im Magnetfeld



Fließt ein elektrischer Strom senkrecht durch ein homogenes Magnetfeld, so wirkt auf ihn eine Kraft ein, die ihn abzulenken sucht. Die Richtung dieser Kraft u. somit die Ablenkungsrichtung steht senkrecht zur Richtung des elektrischen Stromes u. der Richtung der magnetischen Kraftlinien.

(Rechtsschraubenregel: Drehe I in $H \Rightarrow$ Rechtsschraube bohrt sich in Richtung nach F).

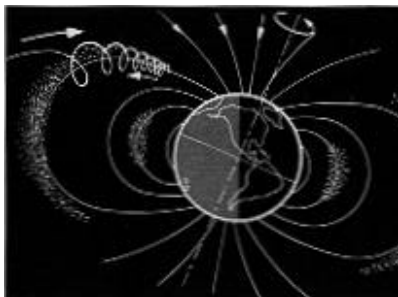
Da ein sich in Bewegung befindliches Elektron einen elektrischen Strom darstellt, wird ein fliegendes Elektron in einem Magnetfeld abgelenkt!!

Diese Kraftwirkung des Magnetfeldes auf bewegte Ladungen heißt **Lorentz – Kraft**.

Erdmagnetfeld und Polarlichter

Das Magnetfeld unserer Erde wird durch einen elektrischen Kreisstrom im Erdinneren verursacht. Dieses Magnetfeld lenkt fliegende Elektronen und Protonen, die aus der Sonne geschleudert werden und bei uns ankommen, von ihrer Bahn ab – wie wir es soeben oben kennengelernt haben.

Diese aus der Sonne ausgestoßenen, schnell fliegenden Teilchen nennt man den „Sonnenwind“.



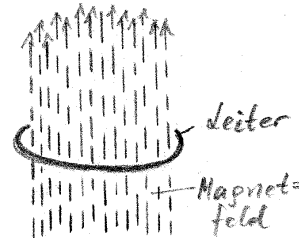
Die Teilchen des Sonnenwindes gelangen, wie wir es aus dem Bild sehen können, nur nahe den Polargebieten in die hohen Schichten der Erdatmosphäre und erzeugen dort durch Zusammenstöße mit den Gasmolekülen Leuchterscheinungen.



Die Leuchterscheinungen nennt man „Polarlichter“, da sie nur im hohen Norden oder weit im Süden als leuchtendes, wellenförmiges Band in zahllosen Farben den Nachthimmel schmücken.

Die Lichtaussendung erfolgt auf die gleiche Weise wie in unserem Versuch „Elektrizitätsleitung in Gasen bei verdünntem Luftdruck“.

Induktion

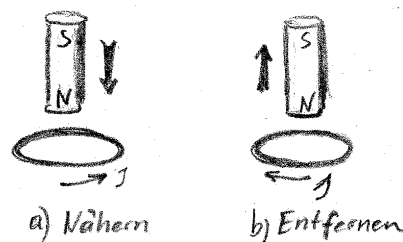


Wenn sich die Zahl der magnetischen Kraftlinien (Feldlinien), die von einem Leiter umschlossen werden, ändert, also zu- oder abnimmt, dann entsteht in dem Leiter eine Spannung, die bei der Zunahme der magnetischen Kraftlinien entgegengesetzt gerichtet ist wie bei der Abnahme der magnetischen Kraftlinien. Die Spannung ruft dann in dem Leiter einen elektrischen Strom hervor.

Die durch die Änderung eines Magnetfeldes in einem Leiter erzeugte Spannung heißt **induzierte Spannung**, der von dieser induzierten Spannung in dem Leiter hervorgerufene elektrische Strom heißt **Induktionsstrom** und die ganze Erscheinung heißt **Induktion**.

Die Richtung der induzierten Spannung und somit des Induktionsstromes ist gegeben durch die

Lenzsche Regel



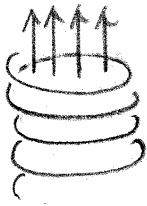
Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, daß er der **Ursache** seines Entstehens **entgegenwirkt**.

Beispiel: Wird ein Nordpol einem kreisförmigen Leiter (Kupfering) genähert oder von diesem entfernt, so muß in dem Leiter ein Induktionsstrom entstehen, da sich die Zahl der von dem Leiter umschlossenen magnetischen Kraftlinien bei der Bewegung des Nordpols ändert, nämlich zu- oder abnimmt.

- Beim Nähern des Nordpols muß der hervorgerufene Induktionsstrom, damit das Nähern des Nordpols *gehindert* wird, so fließen, daß auf der dem Nordpol zugewandten Seite der Spulenfläche ein *Nordpol entsteht*.
Somit fließt der Induktionsstrom im entgegengesetzten Uhrzeigersinn (a).
- Beim Entfernen des Nordpols muß der Induktionsstrom so fließen, daß auf der dem Nordpol zugewandten Seite der Spulenfläche ein *Südpol entsteht*, damit das Entfernen des Nordpols *gehindert* wird; also fließt der Induktionsstrom im Uhrzeigersinn (b).

Die Größe der induzierten Spannung ist abhängig von der

- a) sich ändernden Zahl der vom Leiter umschlossenen magnetischen Kraftlinien, mit anderen Worten:
von der Änderung des magnetischen Kraftflusses Φ
- b) Zeit, in der die Änderung erfolgt



Nimmt man nicht bloß eine Leiterschleife, sondern mehrere hintereinandergeschaltet, also eine Spule, sogenannte **Induktionsspule**, so wird, wenn sich der magnetische Kraftfluß Φ , welcher durch die Spule geht, ändert, in jeder Spulenwindung dieselbe Spannung induziert. Wegen der Hintereinanderschaltung der Spulenwindungen addieren sich die Spannungen:

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{\Delta\Psi}{\Delta t}$$

U_{ind} ... an den Spulenden induzierte Spannung
 n ... Windungszahl der Spule
 $\Delta\Psi$... Änderung des magnetischen Flusses
 Δt ... Zeit, in der die Änderung erfolgt

⇒ Will man eine **hohe induzierte Spannung** haben, so muß man

- 1.) ein sehr **starkes Magnetfeld** nehmen, also Spule mit Weicheisenkern (Elektromagneten). Diese magnetfelderzeugende Spule heißt Feldspule.
- 2.) die **Änderung des Kraftflusses schnell** machen (sehr oft pro Sekunde den Strom in der Feldspule unterbrechen).
- 3.) eine Induktionsspule mit einer möglichst **großen Wirkungsanzahl** nehmen.

Ein elektrischer Strom wirkt induzierend, wenn sich seine Stromstärke und damit sein Magnetfeld ändert!

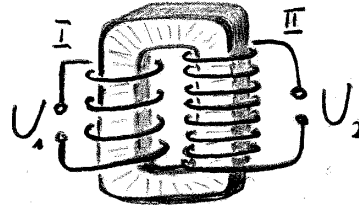
Gleichstrom wirkt nur dann induzierend, wenn er eingeschaltet (verstärkt) oder ausgeschaltet (geschwächt) wird, da beim Einschalten ein Magnetfeld entsteht, beim Ausschalten verschwindet.

Wechselstrom wechselt dauernd seine Richtung und seine Stromstärke, wobei dauernd ein Magnetfeld entsteht und verschwindet, also dauernd der magnetische Kraftfluß sich ändert.

Daher hat der Wechselstrom dauernd eine induzierende Wirkung!!

Die induzierende Wirkung des Wechselstromes macht man sich beim Transformator zunutze:

Der Transformator



Der Transformator besteht aus einer Primärspule und einer Sekundärspule von verschiedenen Windungszahlen, beide über einem gemeinsamen Weicheisenkern gewickelt.

Die von der Primärspule I erzeugten magnetischen Kraftlinien werden von dem Eisenkern gesammelt und gehen daher alle auch durch die Sekundärspule II.

Wird in die Primärspule ein Wechselstrom geschickt, so entsteht, da ein Wechselstrom dauernd induzierend wirkt, durch Induktion in der Sekundärspule ebenfalls ein Wechselstrom und zwar von derselben Frequenz wie der Primärstrom.

Die **Spannungen** U_1 und U_2 der Primärspule und der Sekundärspule verhalten sich ungefähr wie die Windungszahlen n_1 und n_2 der Spulen, also

$$U_1 : U_2 = n_1 : n_2$$

Die **Stromstärken** I_1 und I_2 des Primär- und des Sekundärstromes verhalten sich aber umgekehrt wie die Spannungen!

$$I_1 : I_2 = U_2 : U_1$$

Erklärung:

Nach dem Energiesatz müssen die Leistungen in den beiden Stromkreisen ja gleich sein:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2$$

Ist daher die Spannung des Sekundärstromes größer als die des Primärstromes, so ist seine Stromstärke entsprechend kleiner und umgekehrt.

- Schickt man daher einen Wechselstrom in einen Trafo, dessen Sekundärspule eine größere Windungszahl als die Primärspule hat, so hat der Sekundärstrom eine höhere Spannung und eine entsprechend kleinere Stromstärke als der Primärstrom.
- Schickt man einen Wechselstrom in einen Trafo, dessen Sekundärspule eine kleinere Windungszahl als die Primärspule hat, so hat der Sekundärstrom eine niedrigere Spannung und entsprechend größere Stromstärke als der Primärstrom.

Man nennt eine solche „Verwandlung eines Wechselstromes“ durch einen Transformator **„Transformieren“**.

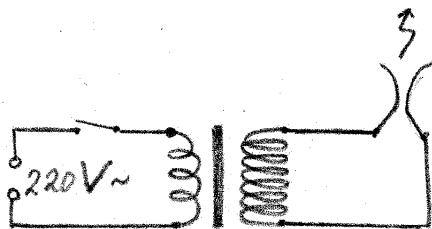
a) Einen Wechselstrom **hinauftransformieren**

heißt, ihn in einen Wechselstrom höherer Spannung und geringerer Stromstärke verwandeln, indem man ihn in einen Transformator schickt, dessen Sekundärspule eine größere Windungszahl als die Primärspule hat.

b) Einen Wechselstrom **hinuntertransformieren**

heißt, ihn in einen Wechselstrom von niedriger Spannung und entsprechend größerer Stromstärke verwandeln, indem man ihn in einen Transformator schickt, dessen Sekundärspule eine kleinere Windungszahl als die Primärspule hat.

Hochspannungstransformator

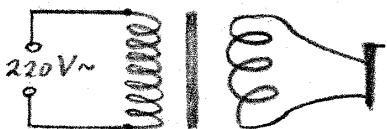


Versuch zu a: Hinauftransformieren

Zwischen den an die Spule II des Transformators angeschlossenen Hörner – Elektroden zündet ein Lichtbogen, wenn Wechselstrom durch Spule I fließt. Die Entladung im Lichtbogen zeigt an, daß zwischen den Enden der Sekundärspannung eine sehr hohe Wechselspannung liegt.

$$\begin{aligned} n_1 &= 500 & n_2 &= 23\,000 \\ U_1 &= 220\text{V} & U_2 &= \dots? \dots\text{V} \end{aligned}$$

Hochstromtransformator = Starkstromtransformator



Versuch zu b: Hinuntertransformieren

Geringe Spannung, dafür hohe Stromstärke in der Sekundärspule: Ein dicker Eisennagel schmilzt durch.

$$\begin{aligned} n_1 &= 500 & n_2 &= 5 \\ U_1 &= 220\text{V} & U_2 &= \dots? \dots\text{V} \end{aligned}$$

Bem.: Nur der Wechselstrom ist transformierbar, nicht der Gleichstrom. Beim Transformieren bleibt die Frequenz des Wechselstromes dieselbe.

Wichtige Anwendung findet das Transformieren eines Wechselstroms bei der Übertragung der elektrischen Energie auf weite Strecken, um den Energieverlust durch die Joulesche Wärme herabzusetzen.

Wegen der langen Überlandleitung ist der Widerstand ($R = \rho \cdot \frac{S}{A}$... "Elektrodynamik", Seite 7) und mit

ihm die elektrische Wärmemenge ($Q = I^2 R \cdot t$, S.9, "Elektrodynamik") in der Leitung sehr groß.

In dem Elektrizitätswerk wird daher Wechselstrom erzeugt und dieser durch einen Trafo auf das Tausendfache herauftransformiert ($220\text{V} \rightarrow 220\,000\text{V}$), wodurch die Stromstärke 1000 mal kleiner und die entwickelte Wärmemenge, das heißt der Verlust an elektrischer Energie, 1000^2 - also 1000 000 mal kleiner wird.

An dem Empfangsort wird der hochgespannte Strom, da er zu gefährlich ist, wieder auf 220V heruntertransformiert.



Elektromagnetismus



Literatur:

- Bayer, Reinhardt et al.: Impulse Physik 2. Verlag Ernst Klett: Stuttgart 1997.
- De Curtis, Stefania/Ferrer, Julian Fernandez: Physik. Reihe: Wissen heute auf einen Blick. Verlag Kaiser: Klagenfurt 1992.
- Höfling, Oskar: Physik. Lehrbuch für Unterricht und Selbststudium. Verlag Ferdinand Dümmler: Bonn 1990 (15.Auflage).
- Jaros, Albert/Nussbaumer, Alfred/Nussbaumer, Peter: Basiswissen 3. Physik - compact. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky: Wien 1991.
- Schreiner, Josef: Angewandte Physik 1. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky: Wien 1983.
- Schreiner, Josef: Lehrbuch der Physik, 1.Teil. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky: Wien 1971. 4.Auflage.
- Schreiner, Josef: Physik 2. Verlag Hölder-Pichler-Tempsky: Wien 1990.
- Sckell, O.: Physik-Repetitorium. Verlag Dr. O. Sckell: Marburg a.L. o.J. 31.Auflage.
- Sexl/Raab/Streeruwitz: Physik, Teil 3. Verlag Ueberreuter: Wien 1983, Nachdruck 1989.
- Tipler, Paul A.: Physik. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg Berlin Oxford 1994.
- Völker, Diethelm: Mentor Lernhilfe, Band 61, Physik. Verlag Mentor: München 1997, 8.Auflage.