

I. Felder

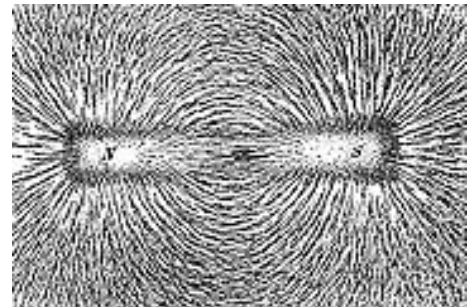
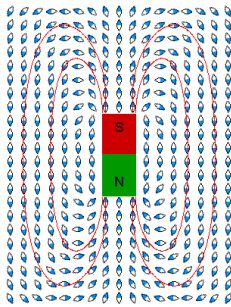
1. Das magnetische Feld

Ein Raumgebiet, in dem auf *Magnete* oder *ferromagnetische Stoffe* Kräfte wirken, heißt *magnetisches Feld*.

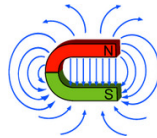
Die Richtung, in die sich der Nordpol einer frei drehbaren Magnetnadel (*Probemagnet*) in einem Punkt einstellt, nennt man die Richtung des Magnetfeldes in diesem Punkt.

Die Linien, deren Tangenten in Richtung des Magnetfeldes laufen, heißt *magnetische Feldlinien*.

a) Das Magnetfeld eines Stabmagneten

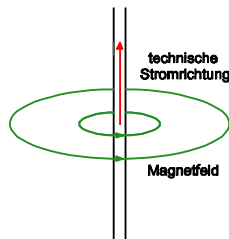


b) Das Magnetfeld eines Hufeisenmagneten



2. Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

Christian Oerstedt (1777 -1851) dänischer Physiker und Chemiker :



Ein gerader, stromdurchflossener Leiter erzeugt ein Magnetfeld, dessen Feldlinien konzentrische Kreise senkrecht zum Leiter sind.

Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit wachsender Entfernung vom Leiter ab.

Es gilt die **Rechte-Hand-Regel** :

Zeigt der Daumen in die technische Stromrichtung (vom Pluspol zum Minuspol gerichtet), dann greifen die Finger in Feldlinienrichtung um den Leiter.

Anwendung :

- a) Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule gleicht im Außenraum dem eines Stabmagneten. Im Innenraum ist das Feld nahezu homogen → **Elektromagnet**.
 - b) Das Magnetfeld der Erde wird wahrscheinlich von elektrischen Strömen im flüssigen Erdkern erzeugt.
-

3. Das elektrische Feld

Ein Raumgebiet, in dem auf elektrisch geladene Körper Kräfte wirken, heißt **elektrisches Feld**.

Die Richtung des elektrischen Feldes in einem Punkt ist gleich der Richtung der Kraft, die auf eine positive Ladung (**Probeladung**) in diesem Punkt wirken würde.

Elektrische Felder werden von Ladungen bzw. geladenen Körpern erzeugt.

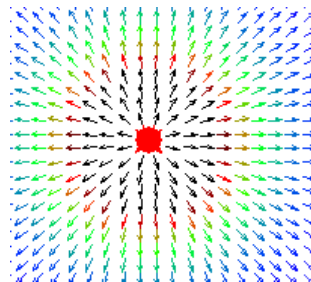
Man veranschaulicht elektrische Felder ebenfalls durch Feldlinien. Die Tangenten an die Feldlinien zeigen in Richtung des elektrischen Feldes.

Die Dichte der Feldlinien ist dabei ein Maß für die Stärke des elektrischen Feldes. Dabei ist ein elektrisches Feld stärker als ein anderes, wenn die Kraftwirkung auf die gleiche Ladung größer ist.

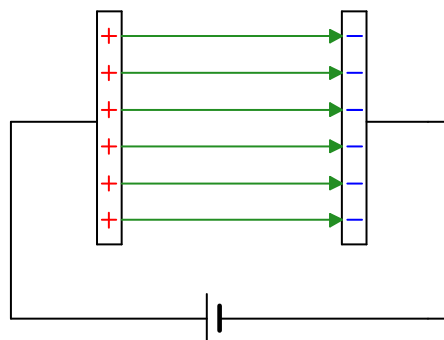
Die Feldlinien entspringen den positiven Ladungen - **Quellen des elektrischen Feldes** - und enden an den negativen Ladungen - **Senken des elektrischen Feldes**.

Frei bewegliche Ladungen werden in elektrischen Feldern beschleunigt.

a) Das elektrische Feld einer geladenen Kugel bzw. einer punktförmigen Ladung.

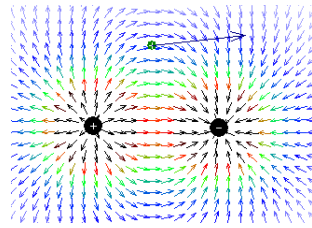


b) Das elektrische Feld eines **Plattenkondensators**



Zwei gleich große, sich parallel gegenüberstehende Metallplatten bilden einen Plattenkondensator. Werden die Platten unterschiedlich aufgeladen, erhält man im Innern ein Feld, das überall gleich stark ist. Man nennt ein solches Feld **homogen**.

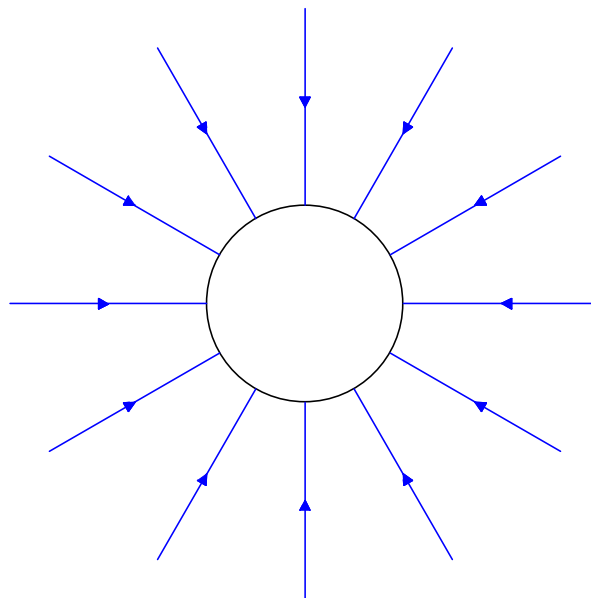
c) Elektrisches Feld zweier entgegengesetzt geladenen Kugeln



Anwendung : *Die Braunsche Röhre - Oszilloskop*

4. Das Gravitationsfeld

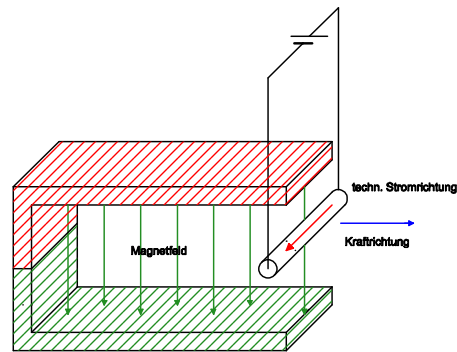
Massen erzeugen Gravitationsfelder, d.h. sie üben auf andere Massen anziehende Kräfte aus.



Die Kraft, die ein kugelförmiger Himmelskörper auf Probemassen ausübt, ist zu seinem Mittelpunkt gerichtet. Es ergibt sich ein *radialsymmetrisches Feld*, dessen Feldlinien sich zum Himmelskörper hin verdichten. Das Feld wird stärker.

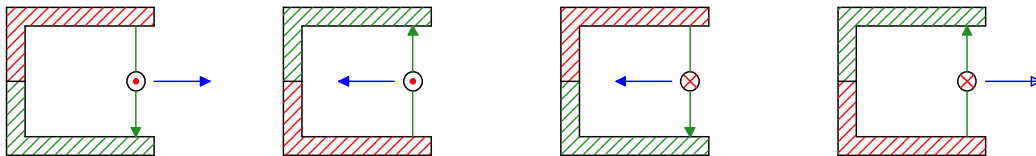
Die *Fallbeschleunigung g* ist die *Gravitationsfeldstärke*.

5. Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld



Steht ein stromdurchflossener Leiter senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfeldes, dann wirkt auf den Leiter eine Kraft, die senkrecht zum Leiter und senkrecht zu den Magnetfeldlinien verläuft.

Technische Stromrichtung, Magnetfeld und Krafrichtung bilden in dieser Reihenfolge ein **Rechtssystem**, d.h. es gilt die Drei-Finger-Regel der rechten Hand.

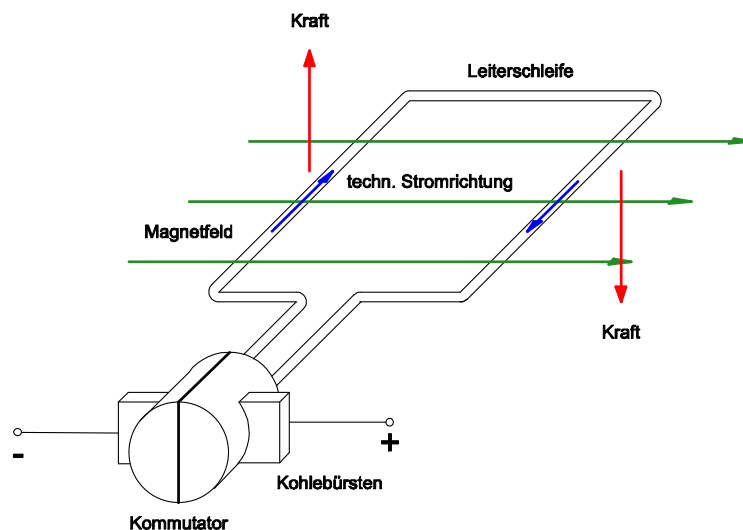


Bemerkung:

Es wirkt auch eine, allerdings kleinere Kraft auf den Leiter, wenn der Strom nicht senkrecht zu den Feldlinien verläuft. Nur wenn der Strom in oder entgegen der Feldrichtung des Magnetfeldes fließt, wirkt keine Kraft.

Anwendung :

a) **Elektromotor**

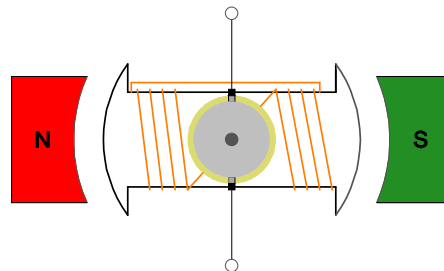


Auf eine stromführende Leiterschleife wirkt in einem Magnetfeld ein Drehmoment, hervorgerufen durch die Kräfte, die auf die beiden Leiterstücke wirken, die senkrecht zum Magnetfeld verlaufen.

Dieses Drehmoment ist am größten, wenn die Leiterschleife in einer Feldlinienebene liegt, es verschwindet, wenn die Leiterschleife senkrecht zu den Feldlinien verläuft (*toten Punkt*).

Die nach einer Halbdrehung erforderliche Umpolung beim Elektromotor erreicht man durch Zuführung des Stroms über Kohlebürsten, die auf einem geschlitzten Eisenring (*Kommutator*) gleiten.

Technische Ausführung:



1. Die Kraftwirkung wird durch eine höhere Zahl von Leiterschleifen erhöht.
2. Ein *Doppel-T-Anker* dient dazu, mit seiner Trägheit den toten Punkt zu überwinden.
3. Wicklungen in verschiedenen Ebenen verbessern den Gleichlauf des Motors.
4. Die Feldmagnete werden durch Elektromagnete ersetzt. Man unterscheidet :

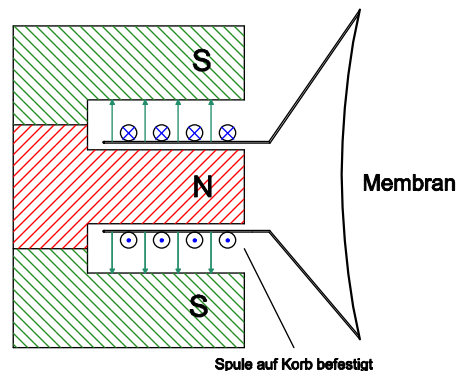
a) *Hauptschlussmotor*

Die Feldmagnete und die Motorwicklung sind in Reihe geschaltet.

b) *Nebenschlussmotor*

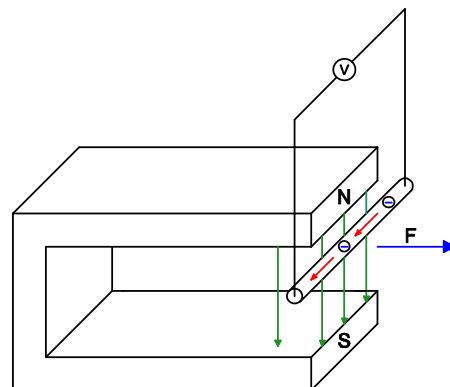
Die Feldmagnete und die Motorwicklung sind parallel geschaltet.

b) *Elektrodynamischer Lautsprecher*



5. Die elektromagnetische Induktion

A Die Induktion im bewegten Leiter



Bewegt man einen geraden Leiter senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfelds, dann bildet sich zwischen seinen Enden eine Spannung aus. Man sagt, eine Spannung wird **induziert**.

Kehrt man die Bewegungsrichtung des Leiters um, dann ändert sich die Polung der Spannung.

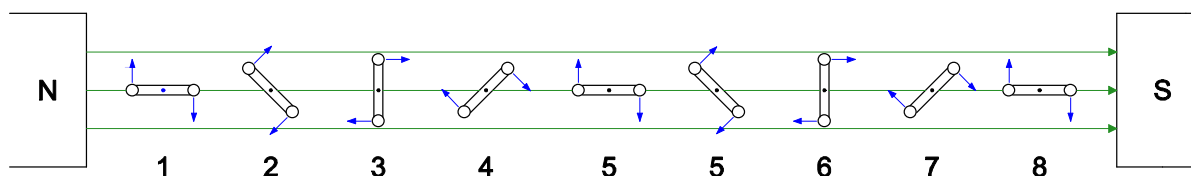
Erklärung:

- Auf die im Leiter vorhandenen Ladungen (Elektronen und Atomrümpfe) wirkt die Lorentzkraft, wenn sie von Hand im Magnetfeld bewegt werden.
- Als Folge sammeln sich die Elektronen an einem Ende des Leiters. Am anderen Ende entsteht ein Überschuss an positiver Ladung. Es entsteht eine Induktionsspannung U_{ind} .
- Ist der Stromkreis außerhalb des \vec{B} -Feldes geschlossen, dann fließt ein Induktionsstrom. Dieser fließt so lange, wie der Leiter bewegt wird.
- Fließt dieser Induktionsstrom, dann wirkt auf den jetzt stromdurchflossenen Leiter eine Kraft, die ihn abbremst. Um den Induktionsstrom aufrecht zu erhalten, muss also ständig Arbeit aufgewendet werden.

Man sagt :

Der Induktionsstrom fließt so, dass er seiner Ursache (Bewegung mit der Geschwindigkeit v) entgegenwirkt. Dieses Prinzip nennt man die **Lenzsche Regel**.

Anwendung: *Der Generator*



Dreht man eine offene Spule im Magnetfeld, dann wird zwischen ihren Enden eine **Wechselspannung** induziert.

Erklärung:

In Position 1 bewegen sich beide Seiten der Leiterschleife senkrecht, allerdings entgegengesetzt zu Feldlinien des Magnetfeldes. Zwischen den Enden des Leiters herrscht Spannung.

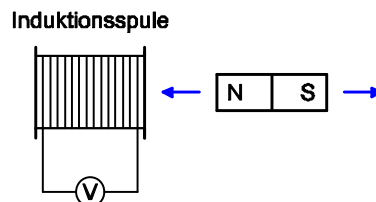
In Position 2 erfolgt die Bewegung nicht mehr senkrecht zu den Feldlinien. Die induzierte Spannung ist kleiner.

In Position 3 erfolgt die Bewegung parallel zu den Feldlinien. Es wird keine Spannung induziert.

In Position 4 wird Spannung induziert. Allerdings dreht sich ihre Polarität um.

Wird der Stromkreis geschlossen, wirkt auf die stromdurchflossene Leiterschleife ein Drehmoment, das der Drehung entgegenwirkt. Es muss zur Drehung der Leiterschleife Arbeit aufgewendet werden → Lenzsche Regel.

B Die Induktion im ruhenden Leiter - Dynamoprinzip



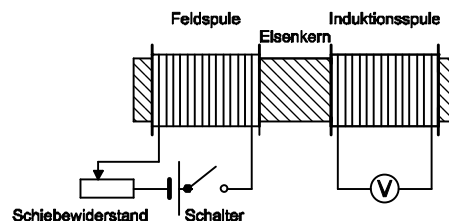
Nähert oder entfernt man einen Stabmagneten von einer (Induktions-)Spule, dann wird an ihren Enden eine Spannung induziert.

Induktionsprinzip:

Ändert sich das Magnetfeld, das eine Spule durchsetzt, dann wird zwischen den Enden der Spule eine Spannung induziert. Ist der Leiterkreis geschlossen, dann fließt ein Induktionsstrom.

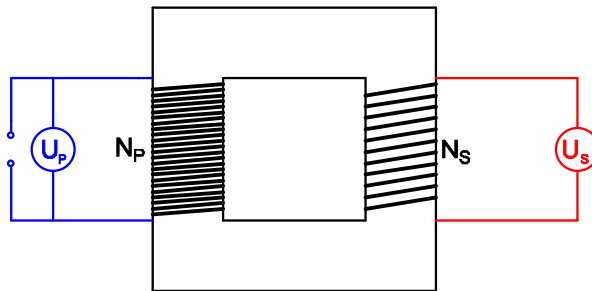
Der Induktionsstrom fließt so, dass das magnetische Feld der Induktionsspule einer Änderung ihres Magnetfeldes entgegenwirkt.

C Das Transformatorprinzip



Stammt das Magnetfeld, das die Induktionsspule durchsetzt, von einer stromdurchflossenen Spule, dann kann dieses Feld durch Ändern bzw. durch Aus- und Abschalten des Feldstromes geändert und damit in der Induktionsspule eine Spannung induziert werden.

6. Der Transformator



U_P . *Primärspannung*

U_S . *Sekundärspannung*

N_P . *Windungszahl* der Primärspule

N_S . *Windungszahl* der Sekundärspule

Legt man eine Wechselspannung U_P an die Primärspule des Transformators, so ändert sich das von ihr erzeugte Magnetfeld ständig.

Da es die Sekundärspule durchsetzt; wird an deren Ende eine Wechselspannung derselben Frequenz induziert.

Beim unbelasteten Transformator verhält sich die induzierte Sekundärspannung zur Primärspannung wie die Windungszahl der Sekundärspule zur Windungszahl der Primärspule.

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

$N_S : N_P$ heißt *Übersetzungsverhältnis* des Transformators

Ist die Sekundärseite des Transformators nur schwach belastet, d. h. ist die auf der Sekundärseite benötigte Leistung klein, und arbeitet der Transformator verlustfrei, dann wird die im Primärkreis zugeführte Energie ganz auf den Sekundärkreis übertragen.

Damit ergibt sich: $E_{zu} = E_{ab} \Leftrightarrow U_P \cdot I_P \cdot \Delta t = U_S \cdot I_S \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{I_P}{I_S} = \frac{U_S}{U_P}$

Wird dem schwach belasteten Transformator auf der Sekundärseite der Sekundärstrom I_S entnommen, dann fließt auf der Primärseite der Strom I_P so, dass

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{U_S}{U_P}$$

7. Energietransport durch Hochspannungstechnik

Eine Glühlampe (230 V; 25 W) soll über eine Fernleitung betrieben werden.

Hin- und Rückleitung haben jeweils einen Widerstand $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

1. Wir schließen die Fernleitung direkt an 230 V an.

Ergebnis: Die Lampe leuchtet nur schwach. Die erforderliche Leistung wird nicht übertragen.

Begründung:

$$\text{Erforderliche Stromstärke: } I_0 = \frac{P}{U} \quad I_0 = \frac{25 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,11 \text{ A}$$

$$\text{Widerstand der Lampe: } R_L = \frac{U}{I_0} = \frac{230 \text{ V}}{0,11 \text{ A}} = 2100 \Omega$$

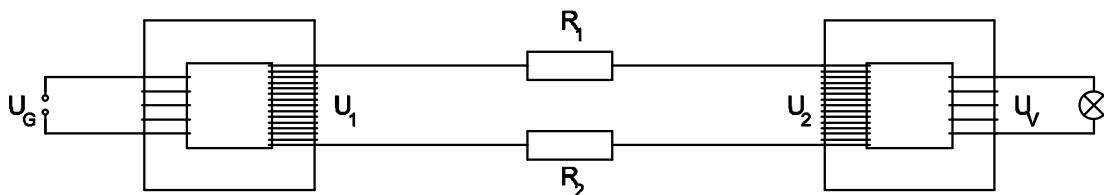
Tatsächliche Stromstärke:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_L} \quad I = \frac{230 \text{ V}}{1000 \Omega + 1000 \Omega + 2200 \Omega} = 0,056 \text{ A}$$

$$\text{Übertragene Leistung: } P = U \cdot I \quad P = 230 \text{ V} \cdot 0,056 \text{ A} = 12,9 \text{ W}$$

$$\text{Leistungsverlust: } \frac{\Delta P}{P} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot I^2}{P} \quad \frac{\Delta P}{P} = \frac{2000 \Omega \cdot (0,055 \text{ A})^2}{25 \text{ W}} = 50 \%$$

2. Wir legen die Fernleitung zwischen zwei Transformatoren mit den Übersetzungsverhältnissen 500:10000 bzw. 10000:500



Ergebnis: Die Lampe leuchtet normal hell. Die erforderliche Leistung wird übertragen.

Begründung:

$$1. \text{ Hochtransformierte Spannung: } U_1 = \frac{10000}{500} U_G \quad U_1 = 20 \cdot 230 \text{ V} = 4,6 \text{ kV}$$

$$2. \text{ Stromstärke } I_L \text{ in der Leitung: } I_L = \frac{500}{10000} I_p \approx \frac{1}{20} I_0 \quad I_L = 0,0055 \text{ A}$$

3. Spannung am 2. Transformator: $U_2 = U_1 - (R_1 + R_2) \cdot I_L$ $U_2 = 4589 \text{ V}$

4. Spannung an der Lampe: $U_v = \frac{500}{10000} U_2$ $U = 229 \text{ V}$

5. Stromstärke in der Lampe: $I = \frac{U_v}{R}$ $I = 0,11 \text{ A}$

6. Leistungsverlust: $\frac{\Delta P}{P} = \frac{(R_1 + R_2) \cdot I_L^2}{P}$ $\frac{\Delta P}{P} = \frac{2000 \Omega \cdot (0,0055 \text{ A})^2}{25 \text{ W}} = 0,25 \%$
