

# **MAGNETISCHE FELD**

## **Das magnetische Feld**

In der Umgebung eines Magneten (Ursache) wird der Raum, der als magnetisches Feld bezeichnet wird, zum Träger physikalischer Eigenschaften. Dieser besondere Raumzustand macht sich dadurch bemerkbar, dass eine Kraftwirkung auf ferromagnetische Stoffe ausgeübt wird.

## **Magnetische Feldlinien**

Magnetische Feldlinien, sind gedachte Linien und dienen der Veranschaulichung von magnetischen Feldern.

### ***Eigenschaften***

1. Die magnetischen Feldlinien enden nicht an den Polen, sondern durchsetzen auch den Magneten. Magnetische Feldlinien sind in sich geschlossen; sie haben weder Anfang noch Ende.
2. Magnetische Feldlinien treten immer senkrecht aus der Magnetoberfläche aus oder ein.
3. Die Magnetischen Feldlinien verlaufen außerhalb des Magneten vom Nordpol zum Südpol und innerhalb des Magneten vom Südpol zum Nordpol (Festlegung).
4. Magnetische Feldlinien schneiden sich nicht.

## **Homogene, inhomogene magnetische Felder**

Homogene Feldlinien sind parallel wobei inhomogene Feldlinien nicht parallel sind.

# **Elektromagnetismus**

Um einen stromdurchflossenen Leiter bildet sich ein Magnetfeld aus. Ursache für das magnetische Feld ist der Strom. Die Richtung des Feldes ist abhängig von der Stromrichtung.

## **Stromrichtungsschreibweise**

Wir benötigen eine standard Schreibweise die es erlaubt die Richtung des Stroms sowie die des magnet Feldes zu beschreiben:

1. • bedeutet der Strom fließt aus dem Leiter wo der Punkt sich befindet heraus.
2. × bedeutet der Strom fließt in den Leiter wo das Kreuz sich befindet heraus.

## **Korkenzieherregel, Schraubenzieherregel, Rechtsschraubenregel**

Man dreht die Rechtsschraube in Richtung des Stromes. Die Drehrichtung der Schraube entspricht der Richtung der magnetischen Feldlinien

## **Magnetfeld einer Leiterschleife,**

Das Magnetfeld des hinlaufenden Stroms und des rück- laufenden Stroms addieren sich im Inneren der Leiterschleife zu einem Gesamtfeld, dies nennt man Feldverstärkung.

## **Magnetfeld einer Spule**

Um die magnetische Wirkung einer einzelnen Leiterschleife zu steigern, werden mehrere Leiterschleifen in Reihe geschaltet. Man erhält so eine Spule. Die einzelnen Leiterschleifen werden als Windungen bezeichnet.

Die Magnetfelder der einzelnen Windungen überlagern sich zu einem

Gesamtmagnetfeld. Es entsteht ein Magnetfeld, das dem eines Stabmagneten gleicht. Die Polarität des Magnetfeldes ist von der Stromrichtung abhängig.

## **Magnetische Flussdichte**

### ***Definition***

Die magnetische Flussdichte  $B$  ist ein Maß für die Stärke des magnetischen Feldes in einem bestimmten Punkt.

### ***Einheit***

$$[B] = \frac{Vs}{m^2}$$

$$[B] = T$$

$T$ , *Tesla*

## **Magnetische Fluss**

### ***Definition***

Der magnetische Fluss  $\Phi$  ist die gesamte Zahl der Feldlinien pro Fläche  $A$ .

### ***Formel***

Da für ein homogenes Feld die magnetische Flussdichte  $B$  konstant ist und Feldlinien die Fläche senkrecht schneiden gilt:

$$\Phi = B \cdot A$$

### ***Einheit***

$$[\Phi] = Vs$$

$$[\Phi] = Wb$$

$Wb$ , *Weber*  $\rightarrow$  veraltet

## **Elektrische Durchflutung**

$$\Theta = I \cdot N$$

$N$ , Windungszahl

## **Magnetische Feldstärke**

Der Quotient aus der elektrischen Durchflutung  $\Theta$  und der mittleren Feldlinienlänge  $l_m$  wird als magnetische Feldstärke  $H$  bezeichnet.

$$H = \frac{\Theta}{l_m}$$

$$[H] = \frac{A}{m}$$

### ***Bemerkung***

Die mittlere Feldlinienlänge hängt vom Feldlinienweg ab. Bei der Ringspule entspricht dies dem Mittelwert zwischen dem inneren und äußeren Umfang des Kerns. Im Allgemeinen ist der Feldlinienweg von Spulen und somit die mittlere Feldlinienlänge nicht bekannt.

## **Zusammenhang zwischen $B$ und $H$**

Das Verhältnis von Flussdichte  $B$  und magnetischer Feldstärke  $H$  ist konstant und wird als magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  bezeichnet. Im Vakuum (und näherungsweise für Luft) gilt:

$$\mu_0 \simeq 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

### ***Formel***

$$B = \mu_0 \cdot H$$

Die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  ist jedoch abhängig von dem verwendeten Stoff in der Mitte der Spule durch Eisen wird diese Verstärkt. Die Erklärung ist die Ausrichtung der im Eisen vorhandenen Elementarmagnete die die magnetischen Flussdichte um einen Faktor Verstärken. Dieser Faktor ist die elektrische Permeabilitätszahl  $\mu_r$

### ***Formel***

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$\mu_r$ , Permeabilitätszahl

$\mu$ , Permeabilität

## **Ferromagnetische, paramagnetische, diamagnetische Stoffe**

### ***Ferromagnetische Stoffe***

$$\mu_r \gg 1$$

### ***Paramagnetische Stoffe***

$$\mu_r > 1$$

### ***Diamagnetische Stoffe***

$$\mu_r < 1$$

## **Motorprinzip**

Auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt eine Kraft  $F$  senkrecht zum Magnetfeld. Elektrische Energie wird in mechanische Energie umgewandelt durch die Lorentzkraft.

### ***Formel***

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot z$$

*l, wirksame Leiterlänge*

*z, Anzahl der Leiter*

## **Linke Hand-Regel**

Hält man die linke Hand so, dass die Feldlinien senkrecht auf die innere Handfläche auftreffen und die ausgestreckten Finger in Stromrichtung zeigen, dann zeigt der abgespreizte Daumen in Richtung der Ablenkraft des Leiters.

## **Generatorprinzip**

In einem senkrecht zu den Feldlinien bewegtem Leiter im Magnetfeld wird eine Spannung induziert. Mechanische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt.

Durch die Bewegung des Leiters im Magnetfeld wirkt eine Lorentzkraft auf die freien Ladungsträger im Leiter, die zu einer räumlichen Trennung zwischen negativen und positiven Ladungen führt. Zwischen den Leiterenden ist eine Spannung entstanden.

### ***Formel***

$$u_i = B \cdot v_n \cdot l \cdot z$$

*u<sub>i</sub>, induzierte Spannung*

*v<sub>n</sub>, Geschwindigkeit senkrecht der Feldlinien*

*l, wirksame Leiterlänge*

*z, Anzahl der Leiter*

## **Rechte Hand-Regel**

Hält man die rechte Hand so, dass die Feldlinien senkrecht auf die innere Handfläche auftreffen und der abgespreizte Daumen in Bewegungsrichtung zeigt, so fließt der Induktionsstrom in Richtung der ausgestreckten Finger.

## **Lent'sche Regel**

Der durch eine Induktionsspannung  $u_i$  hervorgerufene Strom  $I$  ist stets so gerichtet, dass er der Entstehungsursache entgegenwirkt. Die Wirkung wirkt der Ursache entgegen.

### ***Bemerkung***

Die Lenzsche Regel ist eine andere Formulierung des Energieerhaltungssatzes.

## **Induktionsgesetz**

### ***Formel***

$$u_i = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$N$ , Anzahl an Windungen

Siehe auch die Herleitung des Induktionsgesetzes

## **Selbstinduktion, induktive Spannung**

Die magnetische Flussänderung  $\Delta \Phi$ , die durch eine Stromänderung  $\Delta i$  verursacht wird, induziert in der Spule eine Spannung. Da die Flussänderung nicht durch ein äußeres magnetisches Feld, sondern durch die Stromänderung in der Spule selbst verursacht wird, nennt man die induzierte Spannung Selbstinduktionsspannung.

### ***Selbstinduktionsgesetz***

Die Selbstinduktionsspannung  $u_L$  hängt von der Stromänderungsgeschwindigkeit  $\frac{\Delta i}{\Delta t}$  und vom Aufbau der Spule ab. Der Einfluss des Spulenaufbaus wird durch eine Spulenkonstante, der sogenannten Induktivität  $L$ , berücksichtigt.

### ***Formel***

$$u_L = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

***Einheit***

$$[L] = H$$

*H, Henry*

***Bemerkung***

Wird die angelegte Spannung vergrößert, so steigt der Strom durch die Spule an. Dieser Stromanstieg hat nach der Lenzschen Regel eine Selbstinduktionsspannung (Wirkung) zur Folge, die so gerichtet ist, dass sie dem Stromanstieg (Ursache) entgegenwirkt.