

# Elektrotechnik: Übungsblatt 6 - Magnetisches Feld

---

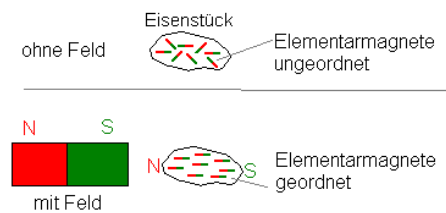
## 1. Aufgabe:

Warum ziehen beide Pole eines Magneten ein nichtmagnetisches Stück Eisen an?

### Lösung:

Im nichtmagnetisierten Eisen sind die mikroskopischen Elementarmagnete statistisch angeordnet und heben sich auf. Nähert man sich mit dem Nordpol des Magneten dem Eisenstück, so orientieren sich Südpole der Elementarmagnete im Eisen in Richtung Nordpol des Magneten.

Dreht man den Magneten um, können sich die Elementarmagnete entsprechend umorientieren und werden analog auch vom Südpol angezogen. Dies funktioniert auch mit einem paramagnetischen Stoff.



In ferromagnetischen Stoffen (wie Eisen) ist dieser Effekt besonders stark, weil sich Elementarmagnete untereinander wechselwirken und ihre Ausrichtung verstärken.

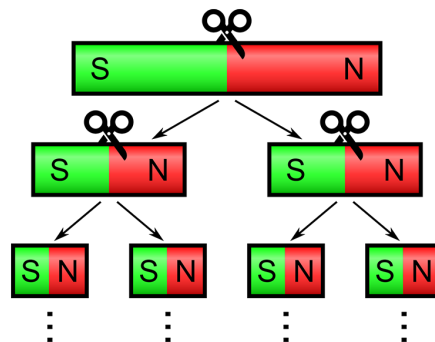
## 2. Aufgabe:

Was passiert mit den Einzelstücken, wenn Sie einen Magnetstab wiederholt immer weiter in der Mitte teilen?



### Lösung:

Teilt man wiederholt einen Magnet, erhältst man immer einen kleineren Magnet mit zwei Polen (magnetischer Dipol). Es gibt keine magnetischen Monopole!



### 3. Aufgabe:

Erklären Sie mit eigenen Worten, wie man mit Hilfe eines konstanten magnetischen Feldes und einer Leiterschleife eine Wechselspannung erzeugen kann.  
Durch welche Parameter ist die Amplitude der Wechselspannung bestimmt?

#### Lösung:

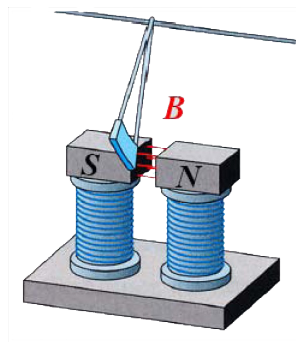
Eine Möglichkeit ist es, die Leiterschleife im Magnetfeld rotieren zu lassen. Dabei darf die Rotationsachse nicht senkrecht auf der Fläche der Leiterschleife liegen und nicht parallel zum Magnetfeld sein.

Durch die Rotation des Leiters ändert sich der magnetische Fluss durch die Schleife periodisch und es wird eine Wechselspannung im Draht induziert.

Die Amplitude der induzierten Wechselspannung ist abhängig von der Stärke des Magnetfeldes, von der Rotationsgeschwindigkeit sowie der von der Leiterschleife eingeschlossenen Fläche.

### 4. Aufgabe:

Erklären Sie mit eigenen Worten das Prinzip der Wirbelstrombremse an folgendem Beispiel, realisiert mit einem Elektromagneten.



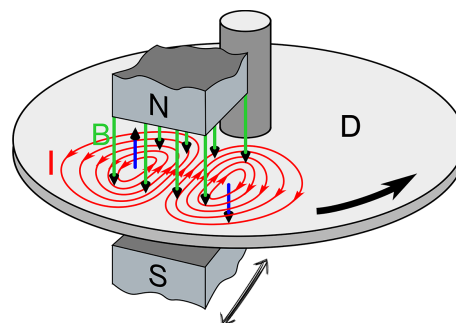
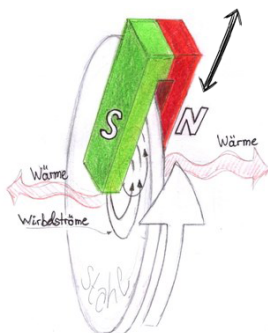
#### Lösung:

Bewegt sich eine Metallplatte durch das von dem Elektromagneten erzeugte Magnetfeld, so wird diese abgebremst.

Wenn sich die Metallplatte in das Magnetfeld bewegt, so ändert sich der magnetische Fluss  $\Phi$  durch die Metallplatte. Es wird eine Spannung induziert  $U = -\frac{d\Phi}{dt}$ .

Auf die in der Metallplatte entstehenden Wirbelströme wirken im Magnetfeld die Lorentzkräfte. Nach der Lenzschen Regel sind die Ströme so gerichtet, dass sie ihrer Ursache der Bewegung der Metallplatte im Magnetfeld entgegenwirken.

Die kinetische Energie der Metallplatte wird über die Wirbelströme (Joule-Energie) in Wärme umgewandelt. Zum Bremsen im folgenden Beispiel wird der Dauermagnet über die Bremsscheibe eingerückt (Doppelpfeil).



### 5. Aufgabe:

Viele moderne Kocher (sog. Induktionsherde) funktionieren mittels Induktion. Dabei fließt ein Wechselstrom durch eine Spule unter der Kochplatte. Erläutern Sie weshalb eine Metallpfanne darauf erwärmt wird, ein Glasgefäß dagegen nicht.

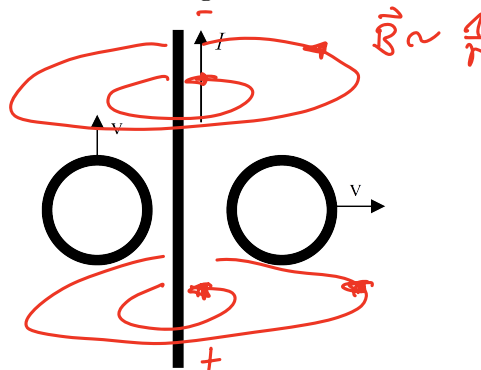
#### Lösung:

Der Wechselstrom durch die Spule im Induktionsherd erzeugt ein zeitlich veränderliches Magnetfeld, das seinerseits in der Metallpfanne Wirbelströme erzeugt (vgl. Wirbelstrombremse). Diese Wirbelströme werden durch den Ohmschen Widerstand gedämpft, die so verlorene Energie geht in Wärme über, und die Pfanne wird heiß. Wenn man außerdem einen ferromagnetischen Topf verwendet, wird dieser durch das ständige Umagnetisieren zusätzlich aufgeheizt. Im Glasgefäß können sich dagegen keine Wirbelströme ausbilden.

### 6. Aufgabe:

Zwei Drahtschleifen bewegen sich in der Nähe eines sehr langen, geraden Drahts, indem ein konstanter Strom fließt.

Geben Sie für jede Schleife die Richtung des induzierten Stroms an.

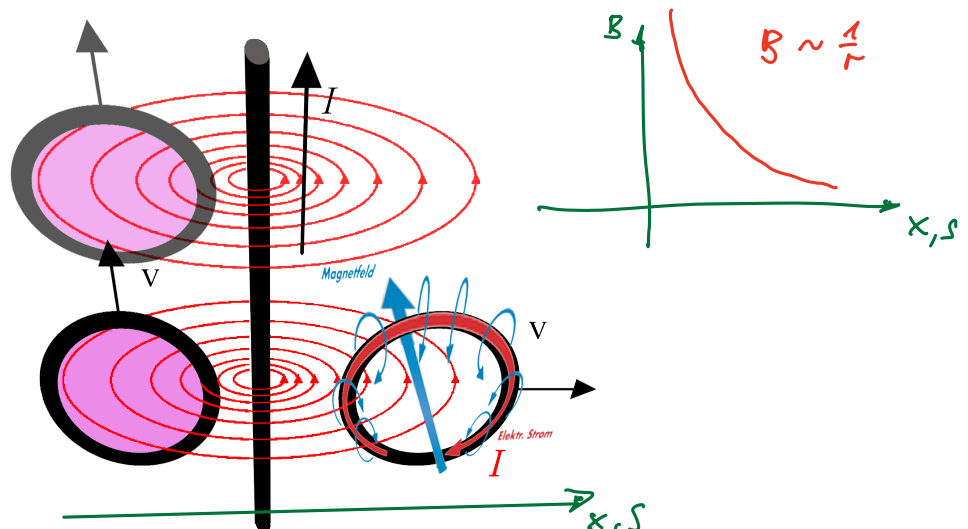


#### Lösung:

Der Strom durch den geraden Draht erzeugt eine um den Draht radiales Magnetfeld gegen den Uhrzeigersinn (von oben gesehen; Rechtefaustregel), das nach außen hin abnimmt:

$$B(r) = \mu_0 I / (2\pi r) \sim 1/r.$$

Da der Draht sehr lang ist, ändert sich das Magnetfeld längs des Drahts nicht.



$$U_{ind} = - \frac{d}{dt} \cdot \Phi = 0$$

Die linke Schleife bewegt sich längs des Drahts. Der magnetische Fluss durch die Schleife bleibt konstant, da sie entlang ihrer Bewegungsrichtung stets dasselbe Feld sieht (und auch die Fläche gleich bleibt).

Folglich ist die induzierte Spannung  $U_{ind} = -d/dt\Phi = 0$  und es fließt kein Strom.

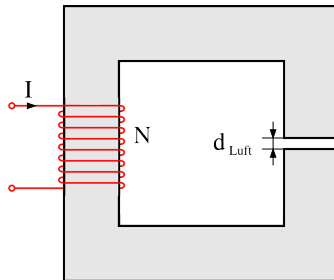
Die rechte Schleife bewegt sich weg vom Draht. Das Magnetfeld durch die Schleife und damit auch der magnetische Fluss wird zunehmend schwächer.

Es wird also eine Spannung  $U_{ind} = -d/dt\Phi > 0$  induziert und es fließt ein Strom.

Die Richtung des Stromflusses kann man mit der Lenzschen Regel herleiten: Der induzierte Strom ist so gerichtet, dass er seiner Ursache (Erniedrigung des Magnetfelds) entgegenwirkt, also versucht das Magnetfeld durch die Schleife zu verstärken. Das Magnetfeld zeigt an der rechten Schleife in die Blattebene hinein, anhand der Rechtefaustregel kann man sehen, dass dieses dann verstärkt wird, wenn der Strom im Uhrzeigersinn fließt.

## 7. Aufgabe:

Der skizzierte Eisenkern besitzt die mittlere Eisenlänge  $l$  und die Querschnittsfläche  $A$ . In den Eisenkern wurde ein Luftspalt der Dicke  $d$  gesägt.  $\rightarrow l_E = l-d$

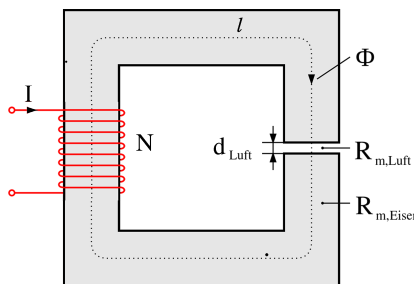


Ein Schenkel ist mit einer Spule mit  $N$  Windungen umwickelt, die den Strom  $I$  führt. Der Eisenkern besitzt die relative Permeabilität  $\mu_r$ .

Berechnen Sie die magnetische Feldstärke im Luftspalt.

### Lösung:

Man berechnet zunächst die magnetischen Widerstände des Eisenkerns  $R_{m,Eisen}$  und des Luftspalts  $R_{m,Luft}$ .



$$R_{m,Eisen} = \frac{l-d}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$R_{m,Luft} = \frac{d}{\mu_0 A}$$

$$\oint H ds = N \cdot I \quad (\text{Durchfl. Gesetz})$$

$$H_E \cdot l + H_L \cdot d = N \cdot I$$

$$B = \mu_0 \mu_r \cdot H_E$$

$$B = \mu_0 \cdot H_L$$

$$\mu_0 \mu_r H_E = \mu_0 H_L$$

$$H_E = \frac{H_L}{\mu_r}$$

eigenl.  $(l-d)$

$$\Rightarrow \frac{H_L}{\mu_r} \cdot l + H_L \cdot d = N \cdot I$$

$$\Rightarrow H_L \left( \frac{l}{\mu_r} + d \right) = N \cdot I$$

$$\Rightarrow H_L = \frac{N \cdot I}{d + \frac{l}{\mu_r}}$$

$$H_L = \frac{N \cdot I}{d + \frac{l-d}{\mu_r}}$$

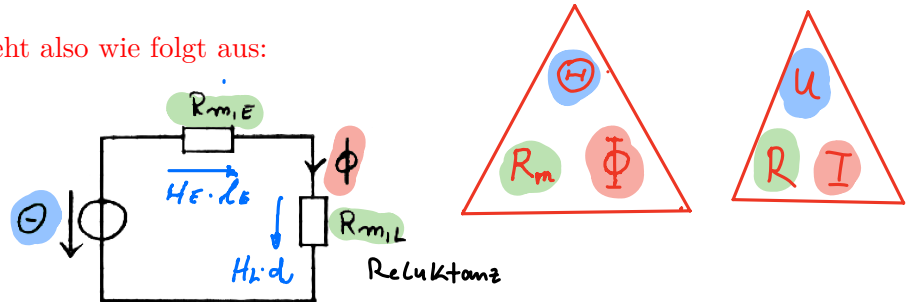
Einen magnetischen Kreis kann man in eine äquivalente elektrische Schaltung umzeichnen. Hierbei werden stromdurchflossene Wicklungen zu einer "Spannungsquelle".



$$\Theta = N \cdot I$$

Magnetische Widerstände werden wie ohmsche Widerstände eingezeichnet und die sich einstellenden Ströme im Ersatzschaltbild entsprechen dem magnetischen Fluss  $\Phi$  im Eisenkreis.

Das Ersatzschaltbild sieht also wie folgt aus:



Nach dem Ohmschen Gesetz des magnetischen Kreises lässt sich der magnetische Fluss  $\Phi$  nun einfach berechnen:

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_{m,E} + R_{m,L}}$$

Da man beim magnetischen Kreis von homogener Feldverteilung ausgeht, folgt für die magnetische Flussdichte  $B$ :

(Stromdichte  $j$ )

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

Die gesuchte magnetische Feldstärke  $H$  im Luftspalt beträgt also

Materialabhängig

$$H_L = \frac{B}{\mu_0 \cdot 1}$$

Dichte (Materialunabhängig)

$$H \Rightarrow H \cdot l$$

( $H$  ist Spannung über die Länge)

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

$$H_L \gg H_{Eisen}$$

bzw. alle Größen eingesetzt und umgeformt:

$$H_L = \frac{\Phi}{\mu_0 A}$$

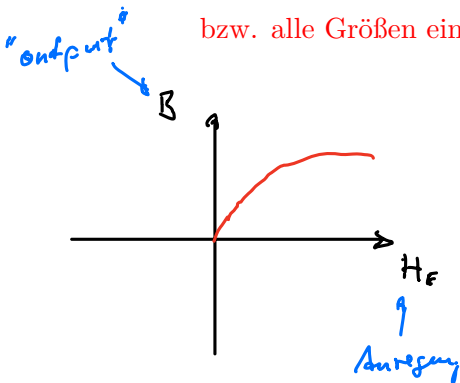
$$H_L = \frac{\Theta}{\mu_0 A (R_{m,E} + R_{m,L})}$$

$$H_L = \frac{N \cdot I}{\mu_0 A (R_{m,E} + R_{m,L})}$$

$$H_L = \frac{N \cdot I}{\mu_0 A \left( \frac{l-d}{\mu_0 \mu_r A} + \frac{d}{\mu_0 A} \right)}$$

$$H_L = \frac{N \cdot I}{\left( \frac{l-d}{\mu_r} + d \right)}$$

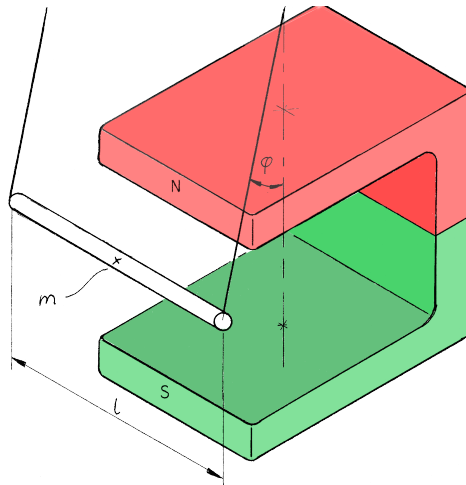
Eisenlänge  $\rightarrow \mu_r$       Luftspalt  $\mu_r = 1$



### 8. Aufgabe:

Eine stromführende Leiterschaukel (siehe Bild) wird im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten ausgelenkt. Die Auslenkung beträgt  $9.0^\circ$  bei einer Stromstärke von  $1.0\text{ A}$  durch den  $20\text{ cm}$  langen Aluminium-Stab der Masse  $5.0\text{ g}$ . (Die Masse der restlichen stromführenden Kabel darf vernachlässigt werden.)

Berechnen Sie die magnetische Flussdichte des Hufeisenmagneten an der Stelle des Alustabs. Geben Sie auch die technische Stromrichtung an

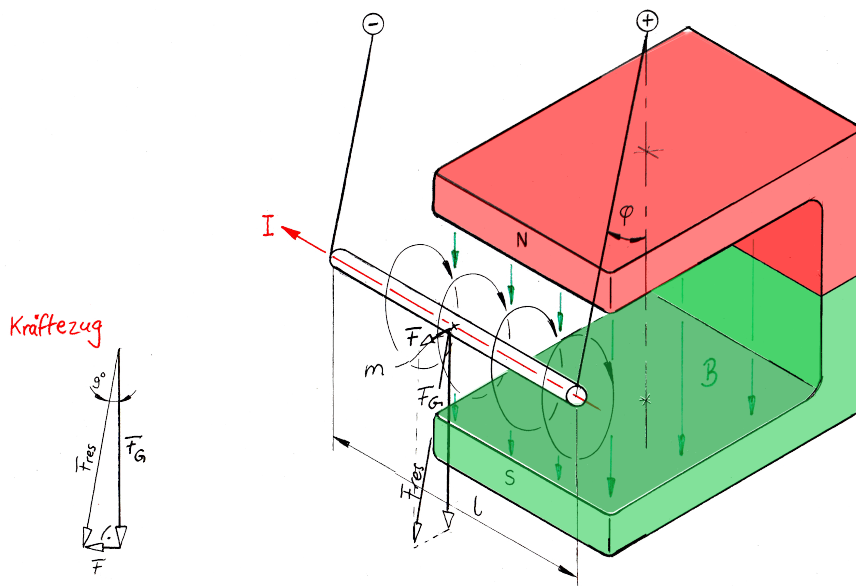


### Lösung:

$$F_{\text{mag}} = I \cdot B \cdot l \quad \text{und} \quad F_g = m \cdot g$$

$$\tan(9^\circ) = \frac{F_{\text{mag}}}{F_g} = \frac{I \cdot B \cdot l}{m \cdot g} \Rightarrow$$

$$B = \frac{\tan(9^\circ) \cdot m \cdot g}{I \cdot l} = \frac{\tan(9^\circ) \cdot 0.005\text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{1.0\text{ A} \cdot 0.2\text{ m}} = 0.039 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 39\text{ mT}$$



Am Massenmittelpunkt greifen die Kräfte an.  
Die Auslenkung wird beim Stromdurchgang verursacht, Man betrachtet die technische Stromrichtung (vom  $\oplus$ -Pol zum  $\ominus$ -Pol).