

Kräfte im Magnetfeld

- Befindet sich ein **stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld**, so erfährt er eine **Kraft**. Bei Umpolung des Stroms bzw. des Magnetfeldes erfolgt die Kraftwirkung in die entgegengesetzte Richtung.²
- Stehen die magnetische **Feldrichtung** und die **Stromrichtung normal** aufeinander, so kann die Krafrichtung mit Hilfe der **Rechten-Hand-Regel** bestimmt werden.

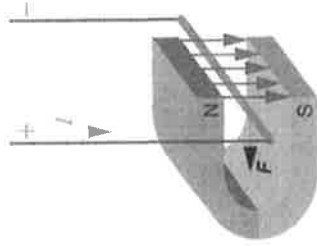


Abbildung 14: Stromdurchflossener Leiter im homogenen Magnetfeld

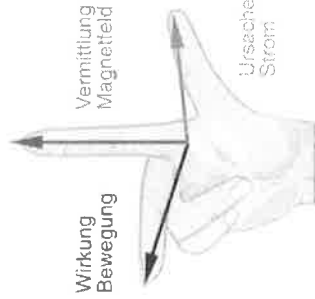


Abbildung 15: Rechte-Hand-Regel

- Die **Gesamtzahl der Feldlinien** zwischen den Polen eines Magneten bezeichnet man als den **magnetischen Fluss Φ** , er ist ein **Maß für die Gesamtwirkung des Magnetfeldes**. Ein Leiter in einem Magnetfeld wird jedoch nur von einem Teil dieses magnetischen Flusses erfasst. Die Kraft auf den Leiter in einem Magnetfeld ist umso größer, je dichter die Feldlinien an der Stelle des Leiters sind. **Die magnetische Flussdichte $B = \frac{\Phi}{A}$** (Anzahl der Feldlinien, die eine Fläche A durchsetzen) ist dann proportional der Kraftwirkung des magnetischen Feldes.

² Werden Magnetfeld und Strom umgepolt, so bleibt die Richtung der Kraft gleich.

- Der Versuch zeigt, dass die Kraft F , die ein Leiter in einem Magnetfeld erfährt, weiter proportional zur Stromstärke I und zur wirksamen Leiterlänge l im Magnetfeld ist.

$$F \sim B \cdot I \cdot l \rightarrow F = B \cdot I \cdot l^3$$

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \Rightarrow [B] = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{V \cdot As}{A \cdot m^2} = \frac{Vs}{m^2} = 1 \text{ Tesla (1 T)}$$

$$\Phi = B \cdot A = \frac{Vs}{m^2} \cdot m^2 = Vs = 1 \text{ Weber (1 Wb)}$$

- Stehen die Feldlinien nicht senkrecht zum stromdurchflossenen Leiterelement l , so gilt die allgemeine Form dieses Gesetzes:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B}) = I \cdot l \cdot B \cdot \sin(\varphi_{\vec{l}, \vec{B}})$$

$B \cdot \sin(\varphi_{\vec{l}, \vec{B}})$ entspricht, dabei der Komponente von \vec{B} , die senkrecht auf \vec{l} steht.

Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern

- Werden zwei bewegliche Leiter nebeneinander aufgehängt und von parallelen (entgegengesetzten) elektrischen Strömen durchflossen, so ziehen (stoßen) sich diese an (ab).

Erklärung 1: Denkt man sich einen der beiden Leiter fixiert, so erfährt der bewegliche Leiter durch das Magnetfeld des fixierten Leiters eine Kraft entsprechend der Rechten-Hand-Regel.

Erklärung 2: Die **Magnetfelder der beiden Leiter überlagern sich**. In der **Mitte** der beiden Leiter **heben sich diese genau auf**, im jeweils **äußeren Bereich jedoch nicht**, somit verbleibt eine **resultierende Kraftwirkung**, die im Falle paralleler Ströme bewirkt, dass sich die Leiter anziehen. Erklärung 2 zeigt somit auch, dass sich magnetische Felder überlagern können.

³ Der Proportionalitätsfaktor kann hier 1 gewählt werden, da die Flussdichte noch nicht näher festgelegt wurde und nun mittels dieser Beziehung definiert werden kann.

Spannungsstoß kann mittels eines Verstärkers hörbar gemacht werden.

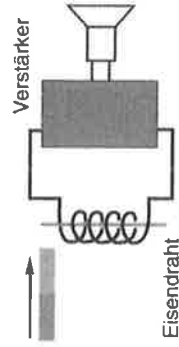


Abbildung 6: Versuch zum Barckhauseneffekt

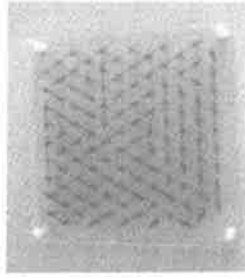


Abbildung 7: Weiss'sche Bezirke un- ausgerichtet

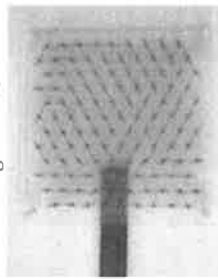


Abbildung 8: Ausrichtung mittels Magneten

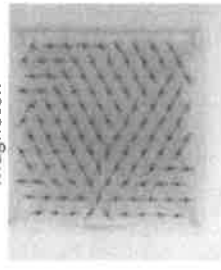


Abbildung 9: Ausrichtung bleibt bestehen

Magnetfeld von stromdurchflossenen Leitern

- Jeder **stromdurchflossene Leiter** ist von einem **Magnetfeld umgeben** (Oerstedt ~1820). Versuch von Oerstedt: Nach dem Einschalten des elektrischen Stroms, richtet sich eine **Magnetnadel parallel** zu den **magnetischen Feldlinien** um einen stromdurchflossenen Leiter.

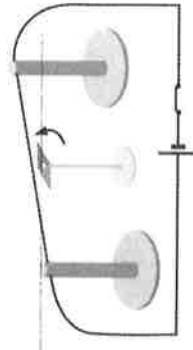


Abbildung 10: Oersted-Versuch



Abbildung 11: Feld um stromdurchflossenen Leiter (veranschaulicht durch Eisen-späne)

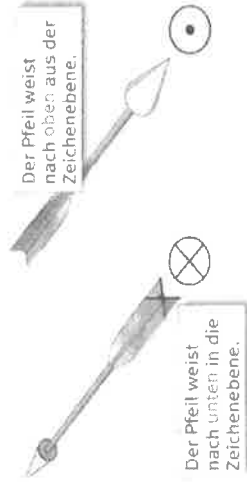


Abbildung 12: Veranschaulichung des Zusammenhangs der Richtung der magnetischen Feldlinien mit der Richtung des elektrischen Stroms.

- Das **Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule** kann man sich als das zusammengesetzte Magnetfeld von Drahtschleifen vorstellen. Der Verlauf der magnetischen Feldlinien um eine stromdurchflossene Spule ist dem eines Permanentmagneten sehr ähnlich (vergleiche mit Abbildung 5). Es besitzt eine Art Nord- und Südpol.

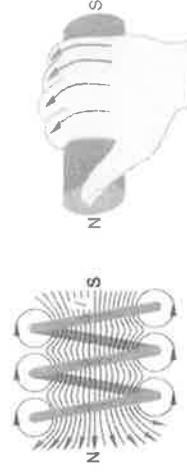


Abbildung 13: Magnetfeld einer Spule

- Sind die magnetischen Feldlinien parallel, so spricht man von einem **homogenen magnetischen Feld** – andernfalls von einem **inhomogenen magnetischen Feld**.

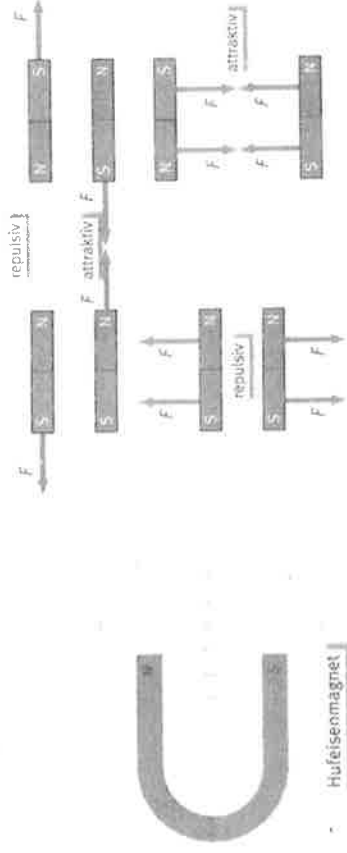


Abbildung 5: Magnetische Feldgeometrien

Permanentmagnete

- Gewisse Materialien (Nickel, Kobalt, Eisen usw.) sind von Natur aus mehr oder weniger magnetisch (Permanentmagnete), diese Materialien werden als **Ferromagnetika** bezeichnet.
- Der Permanentmagnetismus dieser Materialien lässt sich erklären, indem man die atomare Struktur dieser Stoffe genauer betrachtet.

Modell:

- Jedes **Elektron** weist ein **kleines Magnetfeld** auf. In Stoffen mit **vollbesetzten Elektronenschalen** heben sich jedoch die Magnetfelder der Elektronen mit entgegengesetztem Spin auf und es herrscht **kein resultierendes magnetisches Feld** bzw. magnetisches Moment.
- Ist jedoch eine Elektronenschale **nicht vollbesetzt**, so bleibt ein atomares magnetisches Moment bestehen. In manchen Stoffen mit **permanenten magnetischen Momenten** kommt es nun aus Gründen der **Mi-**

nimierung der potentiellen Energie dazu, dass sich die atomaren **magnetischen Momente** benachbarter **Atome gleich ausrichten**. Die Bereiche mit parallel ausgerichteten Elementarmagneten bezeichnet man als **Weiß'sche Bezirke**.

- Bringt man nun einen ferromagnetischen Stoff in ein Magnetfeld, so werden die **Weiß'schen Bezirke parallel ausgerichtet und verstärkt das äußere Feld** (d.h. das Material wird mehr magnetisch). Diese Gleichrichtung der Weiß'schen Bezirke bleibt bei ferromagnetischen Stoffen auch nach dem Ausschalten des äußeren Magnetfeldes bestehen. Ein **makroskopischer Magnet** wird in diesem Modell also aus vielen gleichgerichteten **mikroskopischen Magneten zusammengesetzt**. Dieses Umklappen der Weiß'schen Bezirke kann hörbar gemacht werden und wird als Barkhausen-Effekt bezeichnet.
- Die **Ausrichtung der Weiß'schen Bezirke** hängt von **äußeren Magnetfeldern** und von der **Temperatur ab**. Eine Temperaturerhöhung, bewirkt infolge einer Art Wärmebewegung eine mehr oder weniger statistische Verteilung der Ausrichtung der Weiß'schen Bezirke. Ab einer bestimmten Temperatur, der sogenannten **Curie-Temperatur** (abhängig vom Material), **verschwindet der Magnetismus** eines Stoffes komplett, da die Weiß'schen Bezirke zerstört werden. Bei einer **Abkühlung** entstehen **spontan wieder Weiß'sche Bezirke**, die jedoch **keine Vorzugsrichtung** mehr besitzen (Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 veranschaulichen das Verhalten von Weiß'schen Bezirken mittels kleinen Magneten).
- **Barkhausen-Effekt** (siehe Abbildung 6): Wird einem Eisenstück in einer Spule ein Magnet angenähert, so kommt es zu einem Ausrichten der Weiß'schen Bezirke im Eisen, dies erhöht den magnetischen Fluss in der Spule, was einen Spannungsstoß in der Spule bewirkt. Dieser

Magnetismus

Grundlagen

Allgemeines

- Das Phänomen des Magnetismus war bereits den Griechen bekannt. (Magnetenstein Fe_2O_3 - gefunden Nahe der Stadt *Magnesia*.)
- *Pierre de Maricourt*: Entdeckung der Pole als Stellen stärkster Anziehung zwischen zwei Magneten.
- *Coulomb* (1780) untersuchte die Kraftwirkungen zwischen Magneten.
- Anfang des 19. Jh. erforschten *Oersted*, *Faraday* und *Ampere* die Wechselwirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magnetfeldern und lieferten so die Grundlagen für *Maxwell*, der die Lehre der Elektrizität und des Magnetismus zur elektromagnetischen Theorie vereinigte.

Das Magnetfeld

- Unter einem Magnetfeld versteht man einen **Zustand des Raumes**, in welchem ein **magnetischer Dipol** bzw. ein **Magnet** eine **Kraft** erfährt.
- Die **Richtung und Stärke** dieser Wechselwirkung (Kraft) wird durch **Feldlinien** veranschaulicht, die vom **Nord- zum Südpol** weisen¹.
- Im Gegensatz zu den elektrischen Feldlinien (Quellenfeld: Feldlinien entspringen in den positiven Ladungen und enden in den negativen Ladungen) laufen die **magnetischen Feldlinien** im **Inneren des Magneten zurück**, d.h. sie sind in sich geschlossen. Das magnetische Feld ist somit ein **Wirbelfeld**, daraus folgt, dass es **keine magnetischen Monopole** gibt.

¹ Der Verlauf der Feldlinien rund um einen Magneten lässt sich mittels Eisenfeilspäne veranschaulichen oder kann mittels einer Magnethaare, welche sich tangential zu den Feldlinien stellt, untersucht werden. Der Südpol der Magnethaare zeigt in diesem Fall



Abbildung 1: Verlauf der Feldlinien in einem elektrischen Feld

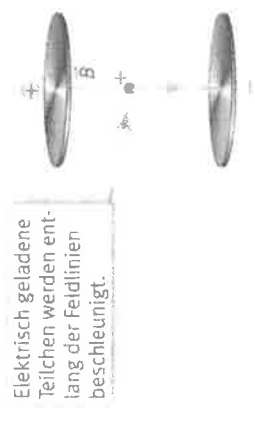


Abbildung 2: Verlauf der magnetischen Feldlinien bei einem Stabmagneten

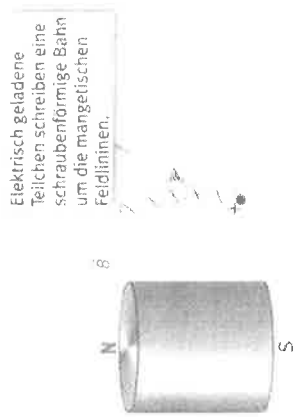


Abbildung 3: Ladung im elektrischen Feld

Abbildung 4: Bewegte Ladung im magnetischen Feld

- **Gleiche** magnetische **Pole stoßen sich ab** – entsprechend **ziehen sich verschiedene** magnetische **Pole** an.
- Die magnetische Kraft ist an den **Polen am stärksten**. Diese Eigenschaft kann man dazu nutzen, um bei zwei identischen Stäbchen herauszufinden, welches magnetisch ist und welches nicht.

gegen die Richtung der magnetischen Feldlinien (also zum gedachten Nordpol, wo die Feldlinien entspringen) und der Nordpol in Richtung der Feldlinien.

Beispiele: Stationäre Ströme

Beispiel 1: Ein Gewitterblitz transportiert in der Zeitspanne von 10^{-4} s eine Ladungsmenge von 5 C. Wie groß ist seine Stromstärke?

Beispiel 2: Wie viele Elektronen wandern bei einer Stromstärke von 1 A pro Sekunde durch einen metallischen Leiter? ($e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

Beispiel 3: Welche Spannung liegt an einem Metallfilmwiderstand mit 470Ω an, wenn eine Stromstärke von 5,8 mA gemessen wird?

Beispiel 4: Überlastung: Ein Widerstand mit $10 k\Omega$ hat eine maximale Belastbarkeit von einem Watt. Welche Spannung kann an den Widerstand angelegt werden, ohne ihn zu überlasten?

Beispiel 5: Weltmeister im Bügeln ... Berechne die Stromstärke beim Betrieb eines Bügeleisens mit der Leistung von 800 W bei 230 V. Welche Energie (in Joule bzw. kWh) wird dabei während einer Einschaltdauer von 12 Minuten verbraucht?

Beispiel 6: Lautsprecherkabel: Welchen Widerstand hat ein flexible Kupferlitzendraht (Draht aus vielen einzelnen Litzen) in einer Länge von 15 m und einem gesamten Kupferquerschnitt von $4 mm^2$? ($\rho_{Cu} = 0,018 \cdot 10^{-6} \Omega m$)

Beispiel 7: Gewichtsprobleme bei Freileitungen: Eine Leitung, die 350 m überspannt, wird wie in Abb. 38.2 mit Aluminiummantel (Querschnitt: $680 mm^2$) hergestellt. Der Kern ist aus Stahl (380 kV; Dauerstrom bei $40^\circ C$: 1100 A). ($\rho_{Aluminium} = 0,027 \cdot 10^{-6} \Omega m$, $\rho_{Kupfer} = 0,018 \cdot 10^{-6} \Omega m$)

- Welchen Widerstand hat der Aluminiummantel?
- Welchen Mantelquerschnitt hätte eine Leitung mit gleicher Länge und gleichem Widerstand in Kupferausführung?
- Welche Gewichtseinsparung erzielt man mit der Aluminiumausführung auf diese Länge? ($\rho_{Aluminium} = 2700 kg/m^3$, $\rho_{Kupfer} = 8900 kg/m^3$)

Beispiel 8: Warum fällt ein Vogel nicht tot von der Starkstromleitung (380 kV)? Eine Schrittspannung von 30 V könnte für eine Krähe tödlich sein. Stromstärke 1100 A, Schrittweite $d = 12 cm$, Aluminiumdraht mit Querschnitt $680 mm^2$ (der Stahlkern kann vernachlässigt werden), $\rho_{Al} = 0,027 \cdot 10^{-6} \Omega m$. Berechne den Widerstand zwischen den Krähenfüßchen und die Schrittspannung.

Beispiel 9: Widerstandsthermometer: Ein Widerstandsthermometer wird häufig mittels (teurem) Platindraht realisiert. Auf welchen Wert verändert sich der Widerstand bei $60^\circ C$, wenn er bei $20^\circ C$ 22Ω hat? ($\alpha = 0,0039 K^{-1}$)

Beispiel 10: Ein Kohleschichtwiderstand wird mit einem Dauerstrom von 1,5 mA bei einer anliegenden Spannung von 12 V belastet. Dabei stellt sich eine Temperatur von $55^\circ C$ ein.

- Welcher Widerstand liegt unmittelbar nach dem Einschalten vor? (Temperatur: $20^\circ C$, $\alpha = -0,0004 K^{-1}$)
- Wie groß ist der Einschaltstrom?

Beispiel 11: Ein Thermofühler verdoppelt seinen Widerstand bei Temperaturerhöhung. Um welchen Wert hat sich die Temperatur dabei verändert? (Ausgangstemperatur $20^\circ C$, $\alpha = 0,004 K^{-1}$)

Beispiel 12: In einer Diskothek werden $4 mm^2$ -Kupferleitungen mit PVC-Isolierung in Kabeltrassen frei verlegt. Aus Sicherheitsgründen darf die Stromdichte von $8 A/mm^2$ nicht überschritten werden. Welchen Wert sollte die Sicherung aufweisen?

Beispiel 13: Für zwei Parallelwiderstände kann der Gesamtwiderstand angeschrieben werden durch:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \text{ Leite den Zusammenhang ab und überprüfe die Einheiten.}$$

