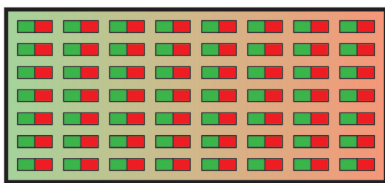
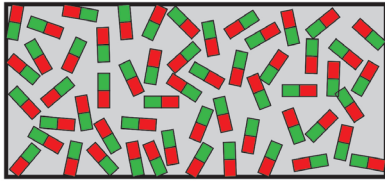


Um aus elektrischem Strom eine nutzbare mechanische Bewegung zu erhalten, werden zwei Magnetfelder benötigt, welche aufeinander wirken. Davon kann eines von einem Permanentmagneten stammen, das andere muss aber elektrisch erzeugt werden und seine Polarität periodisch wechseln.

Magnetismus

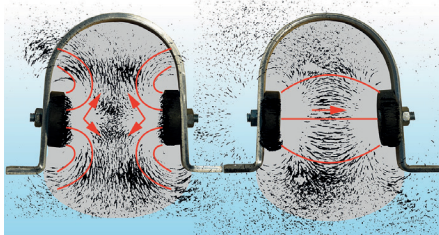
Die magnetische Wirkung ist seit vielen Jahrhunderten als Naturphänomen bekannt und konnte erst in der Neuzeit dem Atom als Summe von Hüllmoment (vor allem Elektronenspin) und Kernmoment zugeordnet werden. Als Vorstellungsmodell dienen die Elementarmagnete, welche in einem Stahlstück chaotisch ausgerichtet sind und sich dadurch in ihrer Wirkung aufheben. In einem magnetischen Stahlstück sind sie jedoch geordnet und alle Nordpole weisen in die gleiche Richtung. Damit das passieren kann, muss das Metallstück magnetisiert werden und besteht aus Eisen, Nickel oder Kobaltlegierungen. Hartmagnetische Materialien behalten nach der Erstmagnetisierung den Magnetismus (hohe Remanenz), weichmagnetische Materialien verlieren ihn gleich wieder.



Magnetismusmodell mit Elementarmagneten.

Permanentmagnet

Dauermagnete bestehen aus hartmagnetischem Material. Gemäss der Definition zeigt der magnetische Nordpol eines Stabmagneten (Kompassnadel) ungefähr in Richtung des geografischen Nordpols. Durch die Regel, dass sich gleichnamige Pole abstossen, muss sich in der Nähe des geografischen Nordpols der magnetische Südpol befinden.

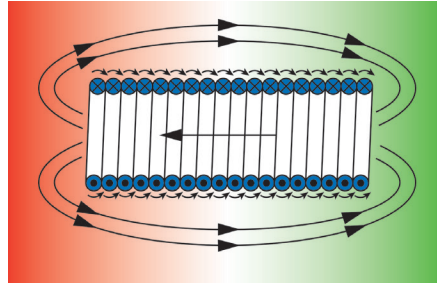
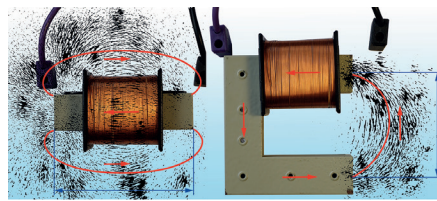


Die Permanentmagneten in einem Aluminiumbügel. Links: Norden gegen Norden, rechts: Norden gegen Süden.

Elektromagnet

Die physikalischen Grundlagen lehren, dass sich um jeden stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld bildet.

Nach der Schraubenzieherregel drehen die Feldlinien im Uhrzeigersinn um den Leiter, wenn der Strom vom Betrachter wegfließt. Wird aus diesem Leiter eine Spule gewickelt, so kann die Polarität mit der Rechten-Hand-Regel herausgefunden werden: Legt man die Finger der rechten Hand so um die Spule, dass sie in die Richtung des fließenden Stromes weisen, zeigt der abgewinkelte Daumen zum Nordpol.



Die Feldlinien treten beim Nordpol aus, umkreisen den Magneten und treten beim Südpol wieder ein. Im Innern des Magneten strömen die Feldlinien vom Süd- zum Nordpol.

Größen und Einheiten

Da für das Magnetfeld die fließenden Elektronen (= el. Strom) verantwortlich sind, entspricht die magnetische Durchflutung (Θ in A) dem Produkt aus Stromstärke mal Windungszahl. Die magnetische Kraft wird grösser, wenn entweder die Stromstärke oder die Windungszahl vergrössert wird.

Die magnetische Feldstärke (H in A/m) zieht noch die mittlere Feldlinienlänge hinzu. Diese Länge entspricht bei einer Luftspule (Spule ohne Weicheisenkern) der Länge der Spule, bei einem Weicheisenstab der Länge dieses Stabes, bei einem U-förmigen Weicheisenkern dem Abstand der Schenkel und bei einem geschlossenen Weicheisenkern der neutralen Faser des Kerns. Je kürzer die mittlere Feldlinienlänge, desto grösser die magnetische Feldstärke. Diese wird aus dem Quotienten von Durchflutung und mittlerer Feldlinienlänge gebildet und stellt ein Mass dar, wie der Strom die Feldlinien eines bestimmten Magneten verstärkt.

Die elektrische Spannung verursacht über einen Widerstand einen Strom. In der gleichen Vorstellungsart entsteht durch die magnetische Durchflutung der magnetische Fluss (ϕ in Weber oder Vs). Dieser fasst die Summe aller Feldlinien zusammen.

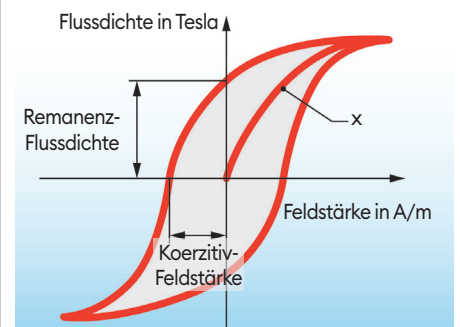


Die magnetischen Feldlinien können mit Eisenpulver sichtbar gemacht werden. Ist das Magnetfeld zu stark, wird das Eisenpulver angesaugt und bildet keine Struktur.

Die magnetische Flussdichte (B in Tesla) bestimmt, wie gross die Summe der Feldlinien (= magnetischer Fluss) pro Flächeneinheit ist, also wie stark sich die Elementarmagnete in einem Eisenkern ausgerichtet haben.

Hysteresiskurve

Die Hysterese kennt man in vielen technischen Anwendungen. Beim Tempomaten, welcher bei 77 km/h die Motorlast vergrössert und bei 80 km/h wieder verkleinert. Würden die beiden Toleranzgrenzen näher beieinander liegen, käme das System ins Schwingen. Beim Magnetismus ist ein ähnliches Phänomen zu beobachten. Ein unmagnetischer Weicheisenkern steckt in einer Spule. Wird der Spulenstrom langsam erhöht, steigen Durchflutung und Feldstärke. Im Diagramm ist die Feldstärke eingetragen. Auf der Ordinate ist die Flussdichte eingetragen. Mit zunehmender Flussdichte richten sich immer mehr Elementarmagnete im Weicheisenkern aus. Bei der ersten Magnetisierung wird von der Neukurve gesprochen (x). Im Endpunkt könnte der Strom weiter gesteigert werden, da aber offenbar alle Elementarmagnete ausgerichtet sind, macht das keinen Sinn mehr. Wird der Strom wieder auf null vermindert, bleibt ein Restmagnetismus (Remanenzflussdichte) zurück. Wird der Strom umgepolt, baut sich die Koerzitivfeldstärke auf, welche die Remanenz aufhebt. Für einen Permanentmagneten muss die Kurvenfläche möglichst gross, für einen Weicheisenkern möglichst klein sein.



Die Hysteresiskurve fasst die magnetischen Eigenschaften eines Stoffes zusammen