Magnete – die geheimnisvolle Kraft?

Magnete stellen für viele Leute etwas Mysteriöses dar. Schließlich kann der Mensch Magnetismus weder sehen, hören, riechen, schmecken noch direkt fühlen. Zudem ziehen Magnete ferromagnetische Gegenstände wie von Geisterhand an. Glauben sie etwa, dass es sich um ein unerklärbares Phänomen handelt? Dem ist mitnichten so! Magnetismus ist etwas, was die Wissenschaft schon seit sehr langer Zeit kennt und versteht. Nur leider ist nicht naturwissenschaftlichen geprägten Menschen das Wissen darüber nicht sehr leicht zu vermitteln, weil man Magnetismus halt weder mit Händen fassen kann noch sich mittels einfacher Versuchsaufbauten zu Hause begreifbar machen kann. Nachfolgend finden Sie den Versuch der Erklärung des Magnetismus anhand von Bildern statt durch Formeln.

Für die zugunsten der Einfachheit etwas ungenaue Beschreibung bitte ich um Nachsicht. Wer es genauer wissen möchte, findet geeignete Literatur in der Regel bei den Physikbüchern für Oberstufe der Universität. Meiner Meinung nach sind übrigens für Studenten gedachte Bücher oft besser als Schulbücher zu verstehen, weil sie oft für das Selbststudium vorgesehen sind.

Es dürfte wohl jedem bekannt sein, dass ein Stabmagnet zwei, in Anlehnung an die Erde normalerweise als Süd- und Nordpol bezeichnete Enden besitzt, auch Pole genannt. Hat man zwei Magnete, so ziehen sich Nord- und Südpol an, während sich gleiche Pole abstoßen, ohne dass man hierzu Energie zuführen muß. Auf dieser Basis funktionieren auch Kompaßnadeln: Es handelt sich um kleine, leichte Magnete, die sich üblicherweise im Magnetfeld der Erde ausrichten und aufgrund ihrer Ausrichtung eine Information über das umgebende Magnetfeld liefern.

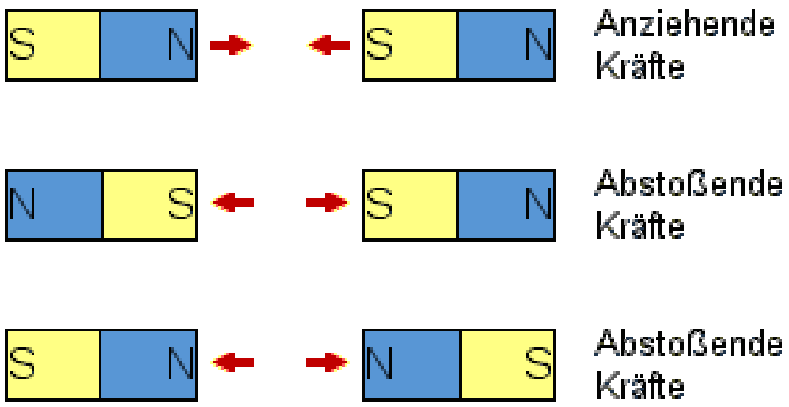

Bild 1: Wirkung von Magneten aufeinander

Indem man z.B. auf einen mit vielen Kompaßnadeln versehenen Karton einen Stabmagneten legt, kann man die Auswirkungen des starken Magnetfeldes eines Magneten auf die Umgebung d.h. die schwachen Magnetfelder der Kompaßnadeln studieren. Mit einer Reihe von Kompaßnadeln kann man also Magnetfelder „sichtbar“ machen. In Bild 2 ist dies anhand einer Graphik verdeutlicht.

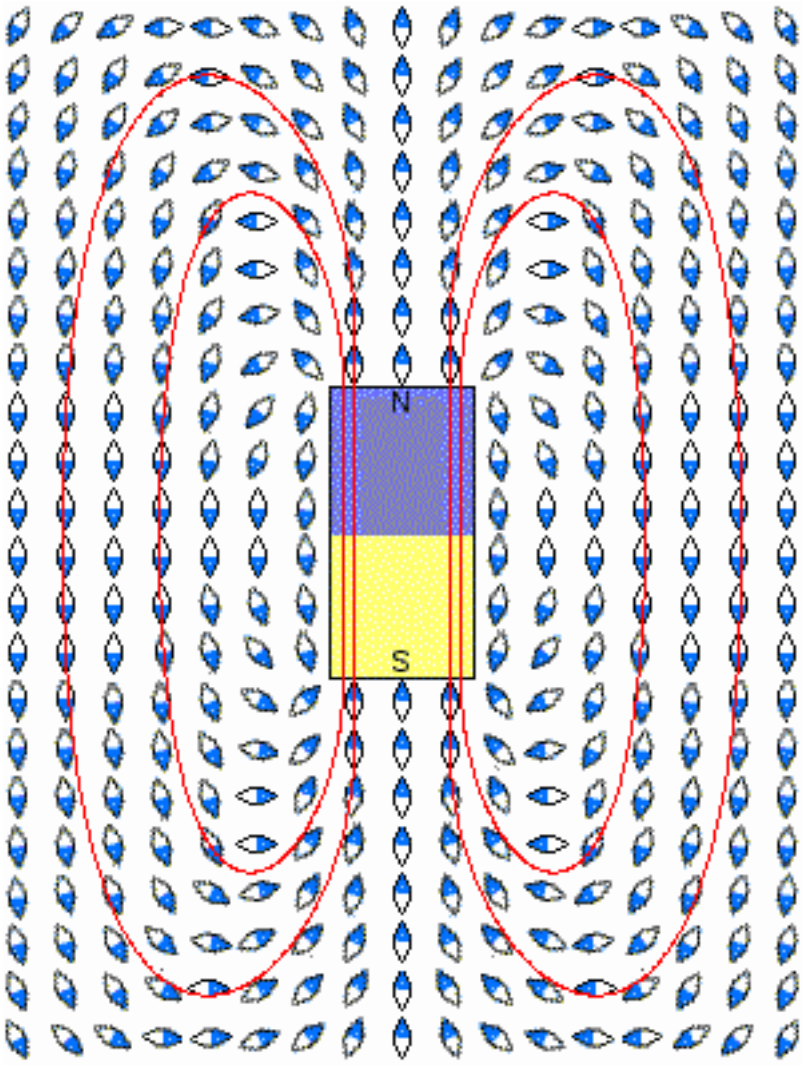

Bild 2: Das Magnetfeld eines Stabmagneten

Die Kompaßnadeln richten sich hierbei an den magnetischen Feldlinien aus, von denen in roter Farbe vier Stück exemplarisch eingezeichnet sind. Es handelt sich hierbei nur um gedachte Linien, denn sehen kann man sie selbstverständlich nicht.

Schon im Jahr 1820 stellte der Physiker Oersted fest, dass eine Kompaßnadel von stromdurchflossenen Leitern beeinflußt wird. Magnetismus kann also durch Stromfluß erzeugt werden. Wenn man den oben beschriebenen Versuch mit einem stromdurchflossenen Leiter wiederholt, der durch den mit Kompaßnadeln versehenen Karton geführt wird, stellt man fest, dass um den Leiter ein ringförmiges Magnetfeld erzeugt wird (Bild 3, linke Seite).

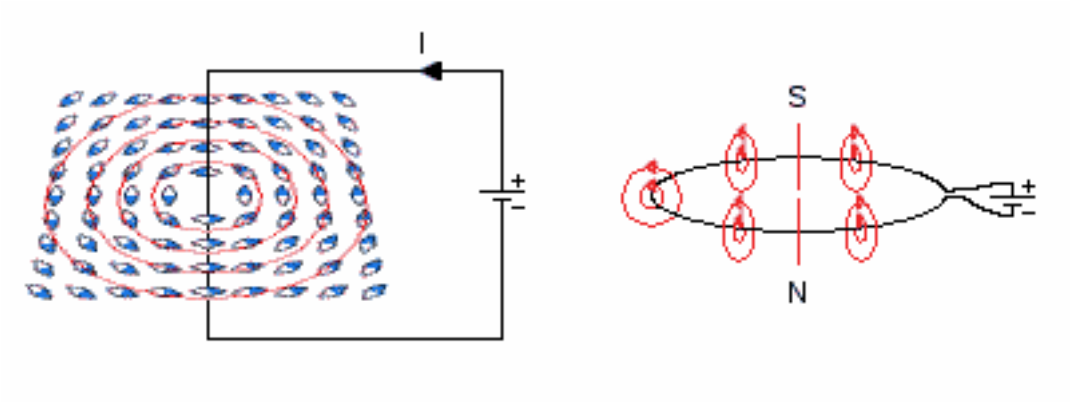

Bild 3: Das Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter

Auf der linken Seite von Bild 3 sind nur diejenigen Feldlinien dargestellt, die sich in einer Ebene rechtwinklig zum stromdurchflossenen Leiter befinden, da die Kompaßnadeln ja nur in einer Ebene angeordnet sind. Man kann aber den gesamten Karton mit den Kompaßnadeln auf dem Leiter hin- und herschieben und erhält immer das gleiche Bild. Somit gilt der dargestellte Sachverhalt für jede Stelle des Leiters, so dass sich bei einem ringförmigen Leiter das auf der rechten Seite von Bild 3 dargestellte magnetische Feld ergibt, wobei Sie die rot gezeichneten Feldlinien auf dem linken Bild denjenigen auf der rechten Seite entsprechen. Selbstverständlich haben die eingezeichneten Feldlinien nur exemplarischen Charakter, denn es gibt unendlich viele davon. Alle Feldlinien zusammen ergeben das magnetische Feld.

Die wichtige Erkenntnis Ist: **Magnetfelder werden durch elektrischen Strom, d.h. sich bewegende Elektronen hervorgerufen.**

Oben wurde dargestellt, wie man mit elektrischem Strom Magnetfelder erzeugen kann. Wie aber funktioniert Permanentmagnete? Diese erzeugen nämlich völlig ohne Strom Magnetfelder. In der Tat arbeiten auch sie mit Strom, nur dass dieser nicht von außen zugeführt werden muß. Die kleinsten Magnete sind nämlich die Atome. Bei ihnen umkreist mindestens ein Elektron den Atomkern. In Bild 4 ist dies anhand eines Wasserstoffatoms, welches nur ein einziges ,Elektron besitzt und damit das am einfachsten gebaute Atom darstellt, dargestellt.

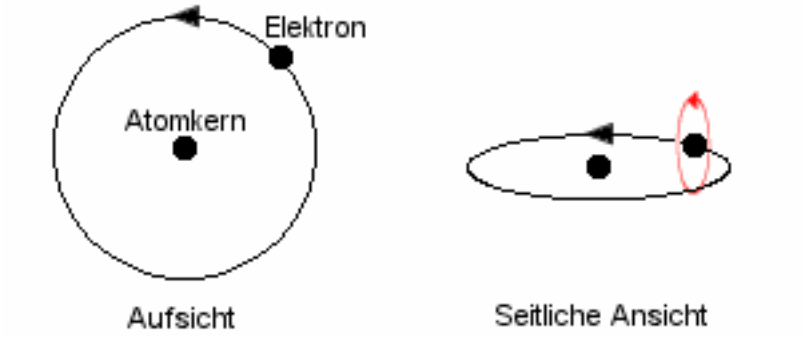

Bild 4: Das Magnetfeld eines Wasserstoffatoms

Dieses eine Elektron wirkt genauso wie weiter oben beschrieben ein elektrischer Strom z.B. einen Kupferdraht und erzeugt durch seine Bewegung ein magnetisches Feld. Denn der elektrische Strom ist nichts anderes als sich in eine Richtung bewegende Elektronen. Sind sie überrascht, dass Wasserstoffatome magnetisch sind? Nun, das Gas Wasserstoff ist in seiner Gänze nicht magnetisch, auch wenn die einzelnen Atome Magnetfelder erzeugen. Der Grund liegt darin, dass Wasserstoffatome sich völlig ungeordnet bewegen und sich daher in Summe die Magnetfelder der einzelnen Atome kompensieren. Denn statistisch gesehen sind zu jedem Zeitpunkt genauso viele Magnete in die eine Richtung ausgerichtet wie in die entgegengesetzte. Es handelt sich daher, wie auch die Erfahrung betätigt, bei Wasserstoff nicht um einen Permanentmagneten.

Aber bei bestimmten Materialien (wie z.B. Eisen mit geringen Verunreinigungen) bilden sich kleine Bereiche, in denen die Magnetfelder der Atome in die gleiche Richtung orientiert sind. Man nennt sie Weißsche Bezirke oder Elementarmagnete. Man kann sie sich als winzig kleine magnetische Körnchen vorstellen, die selbstverständlich nicht so schön regelmäßig geformt sind wie in Bild 5. Da diese Weißschen Bezirke nach dem Erkalten der Schmelze zuerst einmal völlig wahllos orientiert sind, heben sich wie bei den Wasserstoffatomen die Magnetfelder der einzelnen Elementarmagnete komplett auf. Legt man aber ein ausreichend großes magnetisches Feld von außen an, so richten sich einige Elementarmagnete entsprechend aus und verbleiben in dieser Stellung auch dann, wenn das äußere Feld verschwindet. Sie können sich das so vorstellen, dass zum Ausrichten der Elementarmagnete eine unterschiedlich hohe Kraft erforderlich ist, die davon abhängt, wie die Elementarmagnete schon im jungfräulichen Zustand ausgerichtet sind und wie sie mit den Nachbarkörnchen „verhakt“ sind. Je stärker das äußere Feld ist, desto mehr Weißsche Bezirke richten sich entsprechend aus, bis bei einer bestimmten Feldstärke alle Elementarmagnete ausgerichtet sind. Damit hat man einen Permanentmagneten hergestellt.

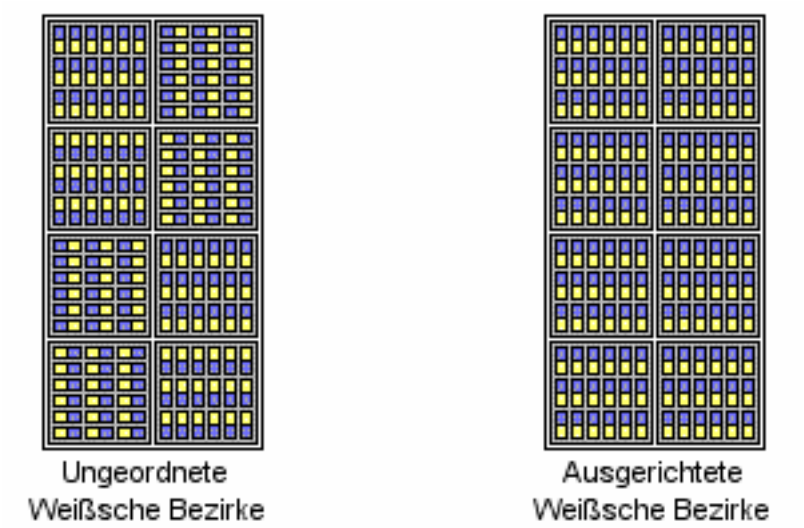

Bild 5: Weißsche Bezirke

Nur wenige Stoffe sind ferromagnetisch d.h. salopp gesagt magnetisierbar. Nur bei diesen existieren Weißsche Bezirke, es handelt sich also um eine besondere materialspezifische eigenschaft. Die Bedingungen, die zum Entstehen von Weißschen Bezirken führen, sind zu komplex, um an dieser Stelle erläutert zu werden. Viele Atome anderer Stoffe kann man zwar auch in einem externen Magnetfeld ausrichten (wie auch den o.g. Wasserstoff), aber bei ihnen geraten die Atome z. B. infolge thermischer Effekte sehr leicht und sehr schnell wieder in Unordnung.

Wie weiter oben beschrieben werden magnetische Felder durch sich bewegende Elektronen hervorgerufen. Da in der Physik die meisten Effekte umkehrbar sind, stellt sich die interessante Frage, ob dies hier auch der Fall ist. Die Antwort sei vorweggenommen und lautet schlicht „ja“. Aber das haben Sie sicher in Anbetracht unserer Elektrizitätswerke schon geahnt.

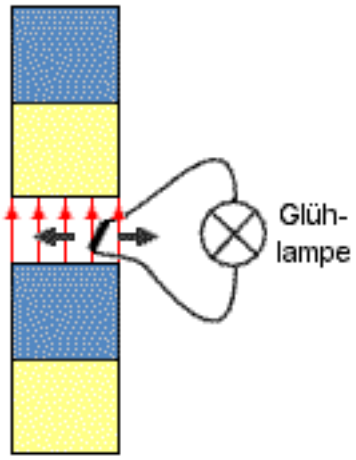

Bild 6: Induktion eines Stromes

Dargestellt sind zwei Stabmagnete, zwischen deren Pole sich ein Magnetfeld befindet, deren Feldlinien parallel zueinander verlaufen (rot dargestellt). Wenn der Abstand zwischen den Magnetpolen sehr gering ist, kann man alle anderen Feldlinien in erster Näherung vernachlässigen, weil sie im Vergleich sehr schwach sind. Aber selbstverständlich sind sie vorhanden.

Bewegt man nun eine Leiterschleife, also ein ganz normales Stück Draht, an die ein Lämpchen angeschlossen ist, von außen in den Spalt zwischen den Magneten, leuchtet das Lämpchen kurz auf. Je schneller man die Leiterschleife in das Magnetfeld bewegt, desto heller leuchtet das Lämpchen. Beim Herausziehen ist dies ebenso der Fall. Mit diesem sehr einfachen Versuchsaufbau hat man nachgewiesen, dass durch Bewegung eines Leiters ins Magnetfeld ein Strom induziert wird. Auf diese Weise funktioniert prinzipiell der Dynamo Ihres Fahrrads genauso wie die Generatoren der Elektrizitätswerke.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Eine Änderung des Magnetfelds induziert in einem Leiter einen Strom, d.h. die im Leiter vorhandenen Elektronen werden in eine Richtung abgelenkt.

Das sich ändernde Magnetfeld haben wir im obigen Experiment dadurch „simuliert“, dass wir einen Leiter ins Magnetfeld hineinbewegt und wieder herausgezogen haben. Die letzte Frage lautet nun: Trifft dies auch zu, wenn sich überhaupt nichts bewegt, sondern sich nur die Stärke des Magnetfelds ändert? Auch diese Antwort lautet „ja“. Bei einem Permanentmagneten kann man die Feldstärke aber nicht ändern, ohne diesen wegzubewegen. Aus diesem Grund muß man auf einen Elektromagneten, d.h. eine stromdurchflossene Leiterschleife zurückgreifen. Zum Beweis bringt man wie in Bild 7 dargestellt zwei Leiterschleifen dicht zusammen und ändert in einer den Strom, z.B. durch Ein- und Ausschalten. Zur genaueren Beobachtung verwenden wir diesmal aber ein Strommeßgerät anstelle eines Lämpchens.

Bild 7: Induktion bei zwei ortsfesten Leiterschleifen

Die blau gekennzeichnete Schleife nennt man Primärseite, die schwarz gekennzeichnete Sekundärseite. Im Ruhezustand d.h. im stromlosen Zustand steht der Zeiger des Strommeßgeräts (auf der rechten Seite des Bildes) in Mittelstellung, d.h. zeigt keinen Strom an. Schaltet man nun auf der Primärseite den Strom mit dem Schalter ein, wird man beobachten können, dass der Zeiger des Strommessgeräts auf der Sekundärseite kurzzeitig ein Strom erzeugt (man sagt induziert) wurde. Beim Abschalten zuckt der Zeiger kurz in die andere Richtung. Auch in diesem Moment wird ein Strom induziert, der allerdings in die andere Richtung fließt. Die Stromumkehr ist auch beim Versuch weiter oben (Bewegen der Leiterschleife aus dem Magnetfeld heraus) gegeben, nur konnte man dies dort nicht sehen, weil das Lämpchen keine Polung besitzt und unabhängig von der Stromrichtung leuchtet.

Fazit: Bei einer Änderung des Magnetfelds wird in einer Leiterschleife ein Strom induziert. Bei einem konstanten Magnetfeld wird hingegen kein Strom induziert.

Die Gewinnung elektrischen Stroms kann also dadurch erfolgen, dass man periodisch eine Leiterschleife in ein Magnetfeld hinein und wieder heraus bewegt. Dadurch entsteht ein Strom, der z.B. beim Hineinbewegen positiv ist und beim Herausbewegen negativ, d.h. dass die Stromrichtung sich dauernd ändert. Man nennt dies Wechselstrom. Nichts anderes macht im Prinzip ein Generator im Elektrizitätswerk.