

1. Parallelen zwischen magnetischem und elektrischem Feld und die Ursache dieser Verwandtschaft

Zwischen zwei geladenen Polen existiert ein **elektrisches Feld**. Es zeigt sich darin, dass geladene Teilchen, die in dieses Feld gelangen, eine anziehende oder abstoßende Kraft spüren. Analog dazu gibt es ein **Magnetfeld**, das sich zwischen zwei magnetischen Polen ausbildet. Ausnahmslos alle Stoffe, die in dieses Feld gebracht werden, spüren eine magnetische Anziehungs- oder Abstoßungskraft. In beiden Fälle, lassen sich diese Felder mit Feldlinien beschreiben, die Auskunft über die Orientierung und die Stärke der Kräfte geben. Sie besitzen dieselbe Gestalt:

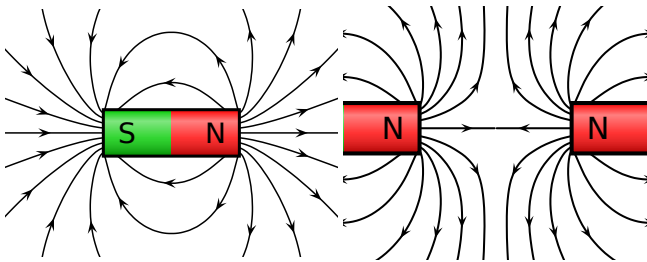


Abb. 1.1: Feldlinienverlauf zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen Magnetpolen Q: siehe Abb. 1.2

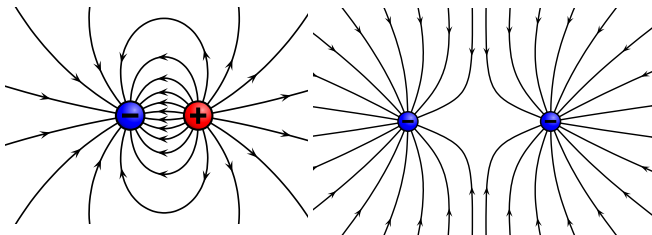


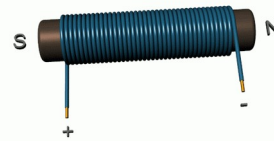
Abb. 1.2: Feldlinienverlauf zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen elektrischen Polen. Q: wikicommons. A: Geek3

Die Parallelen beider Phänomene fußen darauf, dass sie miteinander gekoppelt sind.

Magnetische Felder treten immer dann auf, wenn elektrische Ladungen sich bewegen oder rotieren.

So besteht ein Elektromagnet aus einer Drahtspule. Lässt man Strom durch den Draht fließen, kommt es aufgrund

der kreisförmigen Anordnung des Stromflusses zur Ausbildung eines relativ starken magnetischen Felds.



Q: wikicommons. A: Berserkerus

Auch in Atomen und Molekülen liegen Ladungsträger in Bewegung vor:

1. Dazu gehören sämtliche Bewegungen der Elektronen, incl. der Rotationen um die eigene Achse (Elektronenspin). Sie kombinieren/addieren sich alle zu einem Magnetismus der Elektronenhülle (Hüllenmagnetismus).
2. Auch der Atomkern ist geladen. Der Kernspin führt zum Magnetismus des Atomkerns (Kernmagnetismus). Der Kernmagnetismus ist viele Größenordnungen kleiner als der Hüllenmagnetismus und tritt nur bei sehr starken magnetischen Feldern in Erscheinung.

Es gibt allerdings auch einige eklatante Unterschiede zwischen magnetischen und elektrischen Feldern: So existieren einzelne separate elektrische Ladungen (z.B. Proton, Elektron), also elektrische Mono-Pole ($\oplus$ und $\ominus$). Darüber hinaus existieren auch elektrische Di-Pole ($\oplus \dots \ominus$ oder wenn die Ladungen klein sind $\delta+ \dots \delta-$). Im Gegensatz dazu ist es allerdings bisher nicht gelungen, magnetische Mono-Pole herzustellen. Magnete sind immer magnetische Dipole. Nord- und Südpol sind miteinander verbunden.

2. Die Drei Haupttypen des Magnetismus

1845 erkannte MICHAEL FARADAY, dass sämtliche Materie auf äußere Magnetfelder reagiert. Im Gegensatz dazu reagieren auf elektrische Felder nur elektrisch geladene Teilchen. Je nach Verhalten in einem Magnetfeld, kann man die Materie in drei Kategorien einteilen.

■ Diamagnetismus

Bei diamagnetischen Stoffen besitzen die Teilchen (Atome oder Moleküle) für sich alleine, ohne äußeren Einfluss, gar kein magnetisches Moment und bilden deshalb auch kein eigenes Magnetfeld. Zu den diamagnetischen Stoffen gehören die allermeisten Substanzen, da sich die magnetischen Momente der Elektronen voll besetzte Schalen, Unterschalen und Orbitale gerade aufheben. Als Faustregel kann man festhalten:

Teilchen mit ausschließlich doppelt besetzten Orbitalen sind diamagnetisch.

Bringt man diamagnetische Stoffe in ein äußeres magnetisches Feld (B), so wird jetzt allerdings auch eine magnetische Polarisation der Teilchen induziert.

Modellhaft kann sich vorstellen, dass jetzt im diamagnetischen Festkörper lauter kleinen Stabmagneten (**Elementarmagneten**) entstehen, die sich zwar drehen, aber nicht verrutschen können. Jeder Elementarmagnet symbolisieren den magnetischen Charakter eines Atoms oder Moleküls. Bei diamagnetischen Festkörpern richten sich die Elementarmagneten so aus, dass ihr magnetisches Feld dem äußeren Feld entgegengesetzt ist. Innerhalb des diamagnetischen Stoffs ist das insgesamt vorherrschende

magnetische Feld deshalb etwas schwächer als das äußere Feld. In Abbildung 2.1 (linker Teil) zeigt sich das darin, dass die Feldlinien weiter sind.

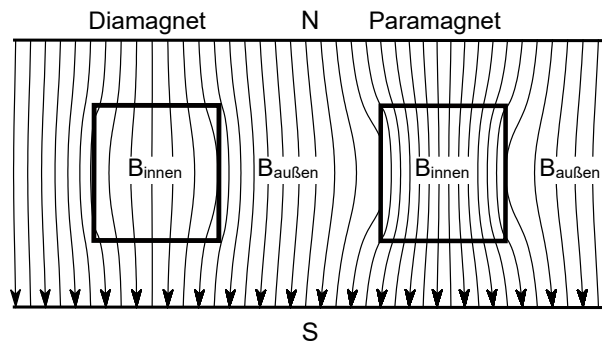


Abb. 2.1: Magnetische Feldlinien eines Dia- und eines Paramagneten im äußeren mag. Feld. Q: wikicommons. A: Minihaa

Entfernt man das äußere Magnetfeld, so existieren auch keine Elementarmagneten mehr,

Paramagnetismus

Atome oder Moleküle in denen unpaare Elektronen vorhanden sind, besitzen ein *permanentes* magnetisches Moment, es handelt sich um **paramagnetische Stoffe**. Ohne

äußeres magnetisches Feld sind die magnetischen Momente der Teilchen allerdings statistisch ausgerichtet und völlig unabhängig voneinander. Die Elementarmagneten paramagnetischer Stoffe sind bzgl. der magnetischen Eigenschaften untereinander isoliert. Aufgrund der statistischen Verteilung hebt sich die Wirkung gegenseitig auf und die Verbindung ist nicht magnetisch.

Legt man jedoch ein äußeres magnetisches Feld an, so richten sich die Elementarmagneten so aus, dass die magnetischen Momente in Feldrichtung zeigen. Es entsteht ein magnetisches Feld, das dem äußeren magnetischen Feld gleichgerichtet ist. Innerhalb der Verbindung wird das magnetische Feld deshalb etwas stärker, der Stoff also magnetisiert. (vgl. Abb. 2.1, oben!)

Die Magnetisierung ist dabei proportional zum angelegten Magnetfeld. Schaltet man das äußere Magnetfeld ab, führen thermische Bewegungen der Teilchen, sofort zu einer chaotischen Anordnung der Elementarmagnete, so dass insgesamt der Stoff nach außen hin keine magnetischen Eigenschaften besitzt.

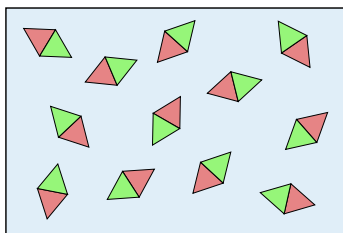


Abb. 2.1a) Paramagnetischer Stoff ohne äußeres Magnetfeld

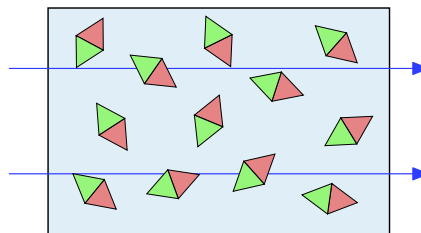


Abb. 2.1b) Paramagnetischer Stoff mit schwachem äußeren Magnetfeld

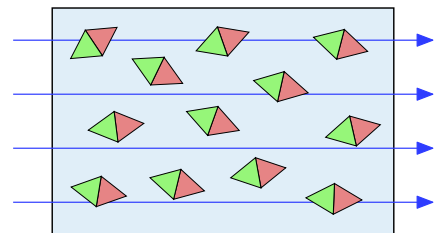


Abb. 2.1c) Paramagnetischer Stoff mit stärkerem äußeren Magnetfeld

Quelle 1a)-c): wikimedia commons. Autor: Jens Böning

Ferromagnetismus

Bei **ferromagnetischen Stoffen** liegen auch unpaare Elektronen vor. Hier interagieren aber die Elementarmagneten untereinander im Körper, d.h. sie beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Orientierung, so dass sie in begrenztem Umfang gleichsinnig (= parallel) ausgerichtet sind. Die Größe dieser Bezirke mit parallelen Ausrichtung, die WEISS-Bezirke, erstreckt sich ca. 10 bis 1000 μm in jede Raumrichtung. Auch ohne vorherige Magnetisierung von außen zeigen viele ferromagnetische Materialien von Natur aus magnetische Eigenschaften, wenn sich die Gesamtheit aller WEISS-Bezirke im Festkörper zu einem magnetischen Feld aufsummiert.

Im Gegensatz zu diamagnetischen oder paramagnetischen Stoffen, zeigen Ferromagneten deshalb die Tendenz, ihre magnetische Ordnung auch entgegen äußeren Einflüssen beizubehalten. Hat man diese innere Ordnung durch ein äußeres magnetisches Feld induziert (= „Magnetisiert“), oder verstärkt, dann erzeugen sie selbst ein eigenes bleibendes magnetisches Feld, auch ohne äußeres Magnetfeld ausgesetzt sind. So können **ferromagnetische Stoffe, wie Eisen, Cobalt oder Nickel** magnetisiert werden und bleiben es auch. Die Elementarmagneten halten sich in ihrer Ausrichtung gegenseitig stabil.

Sehenswertes Video (3 min) [mit Lehrkraft ansehen]: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Paramagnetism, ferromagnetism and spin_waves.webm

3. Prüfen, ob ein dia- oder paramagnetischer Stoff vorliegt

Ob ein Stoff dia- oder paramagnetisch ist, kann man experimentell mithilfe einer **Magnetwaage** bestimmen. Bringt man einen diamagnetischen Stoff in ein inhomogenes (!) Magnetfeld, beispielsweise durch Halten an die

Oberfläche eines Permanentmagneten (vgl. Abb. 3.1 oder Anordnung in Abb. 3.2), so wird er mit einer bestimmten Kraft aus dem Magnetfeld abgestoßen, d.h. herausge-

drängt. Dies kann man beispielsweise mit einer Waage, an der der Stoff aufgehängt ist, experimentell bestimmen.

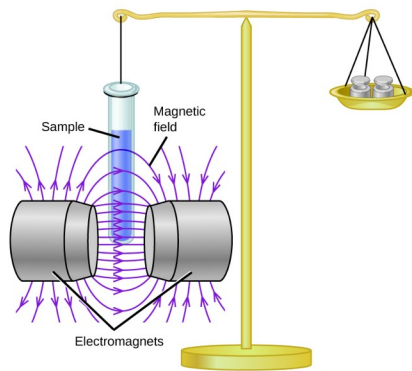


Abb. 3.1: Magnetwaage. Q: chem.libretexts.org (CC)

Das Reagenzglas befindet sich in einem inhomogenen Feld, da es nur im oberen Teil zwischen den beiden Elektromagneten positioniert ist! Der Diamagnetische Effekt ist sehr schwach. So sind sehr starke Magnete nötig, um die Gewichtskraft eines Körpers zu überwinden und diesem zum Schweben zu bringen. Dieses Phänomen wird **Levitation** genannt.

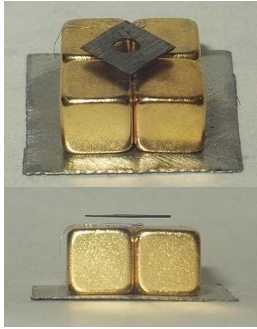


Abb. 3.2 Levitation von Graphit mit Permanentmagneten. Q: wikicommons. A: Splarka

Sehenswerte Doku (5.40 min) über einen diamagnetischen Frosch, der deshalb schwebt.

<https://youtu.be/KIJsVqc0ywm>



Paramagnetische Stoffe werden im Gegensatz dazu, in das inhomogene magnetische Feld hineingezogen. Legt man sie auf einen Permanentmagneten, werden sie also zum Magneten hin angezogen. Dieser Effekt ist allerdings viel schwächer als bei ferromagnetischen Stoffen.

Aufgabe 1. Begründen Sie mit der Molekülorbitaltheorie, einem „Kästchenschema“ oder über die Strukturformel ob Sie para- oder diamagnetisches Verhalten erwarten: a) F_2 ; b) O_2 ; c) NO ; d) $[Fe(CN)_6]^{3-}$; e) $[Fe(CN)_6]^{4-}$

Aufgabe 2.: Magnetische Messungen zeigen, dass $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ ein höheres magnet. Moment besitzt als $[Co(NH_3)_6]^{3+}$. Begründen Sie!