

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. Stoffe, die in dieses Feld gelangen, 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:

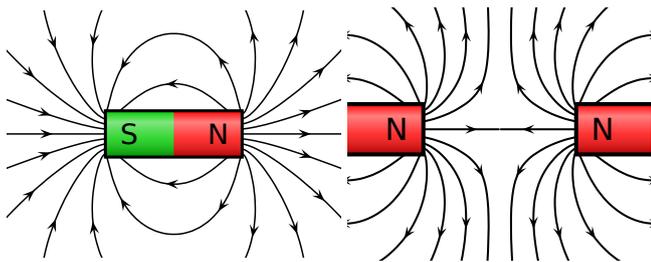


Abb. 1.1: Feldlinienverlauf zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen Magnetpolen Q: siehe Abb. 1.2

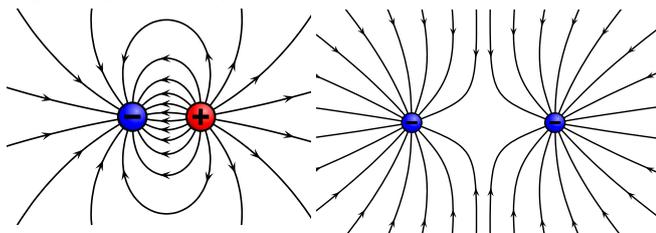


Abb. 1.2: Feldlinienverlauf zwischen gleichnamigen und ungleichnamigen elektrischen Polen. Q: wikicommons. A: Geek3

Die Parallelen beider Phänomene fußen darauf, dass sie miteinander gekoppelt sind. Magnetische Felder treten auf, wenn elektrische Ladungen sich bewegen oder rotieren. So besteht ein Elektromagnet aus einer Spule, in der sich infolge eines elektrischen Stromes ein magnetisches Feld bildet. Auch in Atomen und Molekülen liegen Ladungsträger in Bewegung vor. Dazu gehören die Bewegung und Rotationen von Elektronen um Atomkerne, der Elektronenspin und der Kernspin des Atomkerns. Sie bilden die Grundlage der elektrischen und magnetischen Eigenschaften von Materie.

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 **Dipole** ($\oplus \dots \ominus$ oder wenn die Ladungen klein sind $\delta+ \dots \delta-$). Wir kennen Sie beispielsweise von mehratomigen Molekülen mit einer Elektronegativitätsdifferenz. 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. Unterscheidung von Dia- und Paramagnetismus

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.

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

heben sich daher gegenseitig auf. Legt man ein äußeres magnetisches Feld an, so richten sich die die Teilchen so das, dass die magnetischen Momente in Feldrichtung zeigen. Es entsteht ein magnetisches Feld, das dem äußeren magnetischen Feld gleichgerichtet ist. Modellhaft kann man sich eine paramagnetische Probe aus lauter kleinen Stabmagneten (**Elementarmagneten**) aufgebaut vorstellen, die sich zwar drehen, aber nicht verrutschen können. Bringt man eine paramagnetische Probe in ein Magnetfeld, so werden sich die Elementarmagnete bevorzugt in Richtung der magnetischen Feldlinien ausrichten.

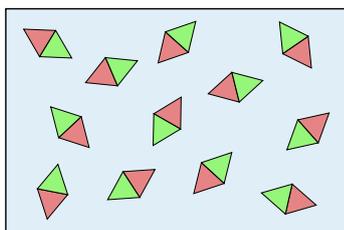


Abb. 2.1a) Paramagnetischer Stoff ohne äußeres Magnetfeld

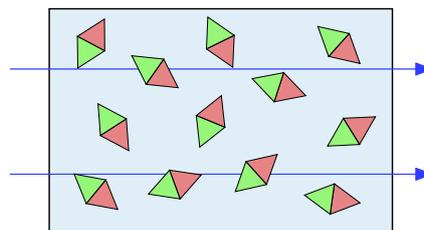


Abb. 2.1b) Paramagnetischer Stoff mit schwachem äußeren Magnetfeld

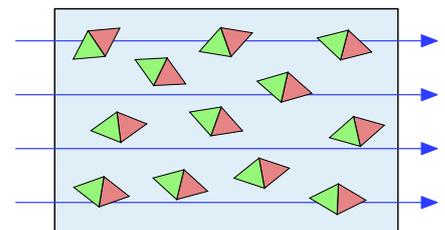


Abb. 2.1c) Paramagnetischer Stoff mit stärkerem äußeren Magnetfeld

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

Innerhalb der Verbindung wird das magnetische Feld deshalb etwas stärker, der Stoff also magnetisiert. 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..

Alle Teilchen bei denen die Anzahl der *spin-up*- und *spin-down*-Elektronen identisch ist, sind hingegen **diamagnetisch**. Sie besitzen für sich alleine, ohne äußeren Einfluss, kein magnetisches Moment und keine Elementarmagneten. Sie haben deshalb ohne äußeren Einfluss ebenfalls kein eigenes Magnetfeld. Zu den diamagnetischen Stoffen gehören die aller-

meisten Substanzen, weil Teilchen mit unpaaren Elektronen (**Radikale**) selten sind: Die meisten Teilchen sind nur mit abgeschlossene Schalen und Unterschalen stabil.

Bringt man diamagnetische Stoffe in ein äußeres magnetisches Feld (B), so wird jetzt allerdings auch eine magnetische Polarisation in der Verbindung induziert. Das magnetische Feld beeinflusst die Bewegung der Elektronen, sodass unter diesem Einfluss jetzt Elementarmagneten vorhanden sind. Die Ausrichtung ist allerdings dem äußeren Feld entgegengesetzt! Innerhalb des diamagnetischen Stoffs ist das magnetische Feld deshalb etwas schwächer (vgl. Abb. 2.2):

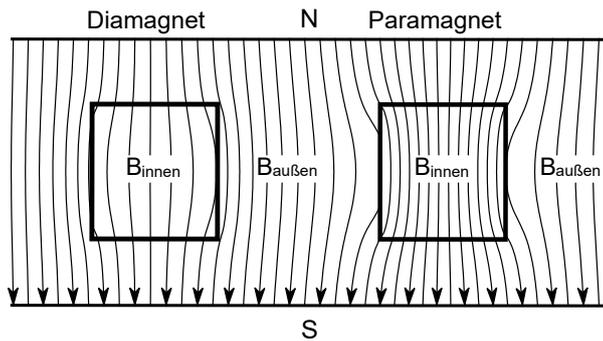
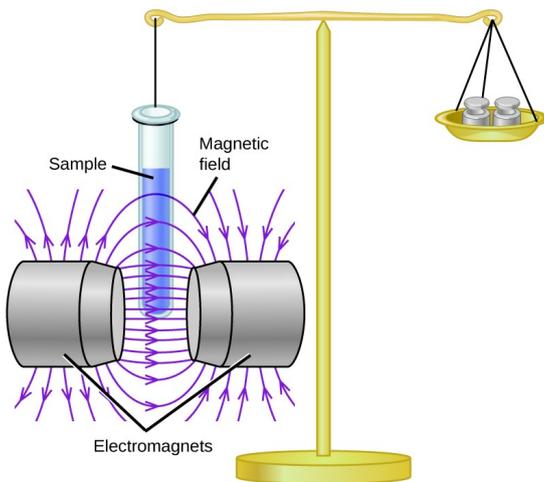


Abb. 2.2: Magnetische Feldlinien eines Dia- und eines Paramagneten im äußeren magnetischen Feld. Q: wikicommons. A: Minihaa

Abb. 2.3 Graphit, das durch Diamagnetismus über Permanentmagneten schwebt. Q: wikicommons. Ar: Splarka



Ob ein Stoff dia- oder paramagnetisch ist, kann man experimentell mit Hilfe einer **Magnetwaage** bestimmen. Bringt man einen diamagnetischen Stoff in ein inhomogenes Magnetfeld, beispielsweise durch Halten an die Oberfläche eines Permanentmagneten (vgl. Abb. 2.3 oder Anordnung in Abb. 2.4), so wird er mit einer bestimmten Kraft aus dem Magnetfeld abgestoßen, d.h. herausgedrängt. Dies kann man beispielsweise mit einer Waage, an der der Stoff aufgehängt ist, experimentell bestimmen. Vgl. Abb. 2.4. Das Reagenzglas befindet sich in einem inhomogenen Feld, da es nur im oberen Teil zwischen den beiden Elektromagneten positioniert ist!

Paramagnetische Stoffe werden im Gegensatz dazu, in das inhomogene magnetische Feld hineingezogen.

Diamagnetischer Effekt ist sehr schwach ⇒ sehr starke Magnete nötig!

Abb. 2.4: Magnetwaage. Quelle: chem.libretexts.org (CC)

Sehenswerte Doku (5.40 min) über einen diamagnetischen Frosch, der deshalb schwebt. <https://youtu.be/KJJsVqc0ywm>



3. Ferromagnetismus

Im Gegensatz zu diamagnetischen oder paramagnetischen Stoffen, zeigen Ferromagneten die Tendenz, ihre magnetische Ordnung auch entgegen äußeren Einflüssen beizubehalten. Hat man diese innere Ordnung durch ein äußeres magnetisches Feld induziert (= „Magnetisiert“), 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. Aber auch ohne vorherige Magnetisierung von außen, zeigen viele ferromagnetische Materialien von Natur aus magnetische Eigenschaften. Dies hängt damit zusammen, dass die magnetischen Momente der Atome (Elementarmagnete) dieser Ferromagnetika auch ohne Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes in begrenzten Bezirken parallel ausgerichtet sind. Die Größe dieser Bezirke erstreckt sich von etwa 10 bis 1000 µm linearer Ausdehnung (Weiss-Bezirke).

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!