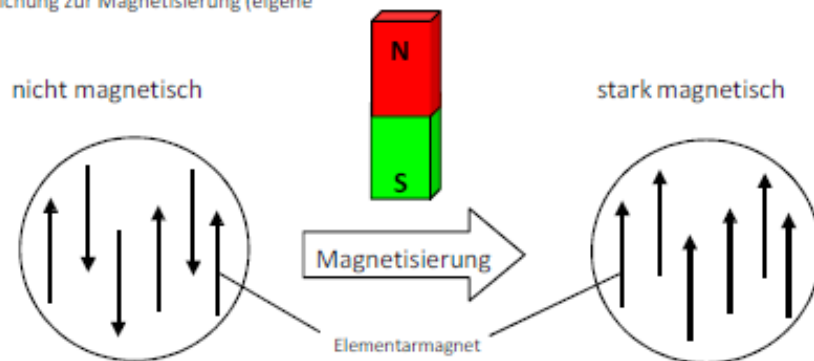


Physikalische Grundlagen: Superparamagnetismus

Ursachen für Magnetismus

Elektronen bewegen sich um den Atomkern, wodurch ein „schwaches“ Magnetfeld erzeugt wird. Zwei Elektronen mit entgegen gesetzter Drehrichtung (=Spin) heben ihre Magnetfelder gegenseitig auf. Werden über alle Elektronen im Atom, Ion oder Molekül die entgegen gesetzten Spins nicht ausgeglichen, entsteht ein so genannter Elementarmagnet. Bestimmte Stoffe können durch Einfluss eines äußeren Magnetfeldes magnetisiert werden. Dies bedeutet, dass sie selbst magnetisch werden. Hierbei werden alle Elementarmagnete im Stoff gleich ausgerichtet.

Abb. : Veranschaulichung zur Magnetisierung (eigene Quelle)



Ferromagnetismus

Ferromagnetische Materialien sind zum Beispiel Nickel, Eisen, Kobalt oder Magnetit. Atome ferromagnetischer Materialien besitzen in ihren Elektronenschalen ungepaarte Elektronen. Dadurch ist der Gesamtspin der Atome ungleich null und sie besitzen ein magnetisches Moment. Die Atome werden daher als Elementarmagneten bezeichnet. Bei ferromagnetischen Materialien entstehen hohe Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementarmagneten (Austauschenergie). Da diese Energie bei Raumtemperatur höher ist als die thermische Energie der einzelnen Atome, richten sich die magnetischen Momente benachbarter Atome spontan innerhalb bestimmter Bereiche (**Weiss-Bezirke** oder auch Weiss'sche Bezirke genannt) parallel aus. Die Weiss-Bezirke sind je nach Material unterschiedlich groß (0.01 μm bis 1 μm). Die Ausrichtung aller Weiss-Bezirke des Materials ist vor dem erstmaligen Kontakt mit einem externen Magnetfeld statistisch gleichverteilt und die magnetischen Momente heben sich im Bulkmaterial gegenseitig auf. Die einzelnen Bezirke sind durch sogenannte Bloch-Wände getrennt, welche der spontanen gegenseitigen Ausrichtung der Weiss-Bezirke entgegenwirken. Wenn nun aber ferromagnetische Materialien einem externen Magnetfeld ausgesetzt werden, reicht die Kraft aus, um alle Weiss-Bezirke gleichermaßen parallel entlang den Feldlinien des Magnetfeldes auszurichten. Man spricht von **Magnetisierung**. Da bei Raumtemperatur die Austauschenergie zwischen den einzelnen magnetischen Momenten höher ist, als die thermische Energie der einzelnen Atome, lässt sich diese Ausrichtung der Weiss-Bezirke (Magnetisierung) nicht mehr rückgängig

machen. Das ferromagnetische Material besitzt nach der Magnetisierung ein intrinsisches, dauerhaftes und starkes magnetisches Moment, von welchem ein magnetisches Feld ausgeht. Ferromagnetische Materialien sind demnach sogenannte Dauer- oder Permanentmagnete und werden von magnetischen Feldern sehr stark angezogen. Nur durch Erhitzen der magnetisierten Materialien über die sogenannte Curie-Temperatur lässt sich die Magnetisierung rückgängig machen. Die Materialien sind oberhalb der Curie-Temperatur paramagnetisch (siehe unten). Die Curie Temperatur entspricht der kritischen Temperatur, bei der die thermische Energie der einzelnen Atome die Austauschenergie der

Elementarmagnete überschreitet und die gegenseitige Ausrichtung rückgängig gemacht wird. Oberhalb der Curie-Temperatur findet keine spontane Ausrichtung der Elementarmagnete mehr statt. Auch die Magnetisierung durch ein externes Magnetfeld ist viel schwächer. Die Curie-Temperatur liegt bei allen bekannten Ferromagneten unter dem Schmelzpunkt. Daher lässt sich ein Ferrofluid nicht einfach durch Erhitzen ferromagnetischer Materialien herstellen. Der Schlüssel zur Herstellung von Ferrofluiden sind sogenannte Superparamagnete.

Paramagnetismus

Bei paramagnetischen Materialien sind ebenfalls ungepaarte Elektronen in den Elektronenschalen der Atome vorhanden, zum Beispiel beim Sauerstoff. Der Gesamtspin der Atome ist ungleich null. Sie besitzen ein magnetisches Moment und lassen sich demnach in einem Magnetfeld magnetisieren. Allerdings sind die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementarmagneten in Paramagneten viel geringer als die thermische Energie bei Raumtemperatur. Paramagnetische Materialien lassen sich daher nur sehr schwach und nicht permanent magnetisieren. Sie werden nur schwach von magnetischen Feldern angezogen.

Diamagnetismus

Diamagnetische Materialien, wie zum Beispiel Wasser, besitzen in den Elektronenschalen ihrer Atome keine ungepaarten Elektronen. Der Gesamtspin der Atome ist daher gleich null. Es ist kein magnetisches Moment vorhanden. Diamagnete werden von Magnetfeldern sehr schwach abgestossen.

Superparamagnetismus

Magnetit-Nanopartikel sind ca. 10 nm gross und besitzen spezielle magnetische Eigenschaften. Durch die Verwendung eines starken Magneten lassen sich igelartige Strukturen bilden. Man spricht von *Rosensweig Instabilität*. Das Ferrofluid befindet sich dabei in einem Kräftegleichgewicht zwischen Gravitation, magnetischer Kraft und der dagegenwirkenden Oberflächen-spannung in der Flüssigkeit. Im Vergleich zu ferromagnetischen, makroskopischen Partikeln sind die Magnetit-Nanopartikel

superparamagnetisch. Nur dank dieser speziellen Eigenschaft, lassen sich überhaupt Ferrofluide herstellen.

Wenn ferromagnetische Materialien stark zerkleinert werden und die Partikelgröße im Bereich von weniger als 100 nm liegt, bestehen die Partikel aus nur noch einem einzigen Weiss-Bezirk. Diese Eindomänenpartikel besitzen ein hohes magnetisches Moment und reagieren sehr empfindlich auf externe Magnetfelder. Da die Partikel jedoch sehr klein sind, reicht nun eine bedeutend geringere Energiemenge aus, um die parallele Ausrichtung der Elementarmagnete (Magnetisierung) nach Entfernen des externen Magnetfeldes rückgängig zu machen. Je kleiner die Partikel, desto weniger Elementarmagnete befinden sich innerhalb des Eindomänen-Weiss-Bezirks und desto geringer ist die Energie, um die Magnetisierung wieder aufzuheben. So reicht bereits die thermische Energie bei Raumtemperatur aus, um die Magnetisierung rückgängig zu machen. Superparamagnete werden daher zwar genau wie Ferromagnete sehr stark von magnetischen Feldern angezogen und magnetisiert, ihre Magnetisierung ist jedoch bei Raumtemperatur nicht permanent und verschwindet, sobald das externe Magnetfeld wieder entfernt wird. Superparamagnetische Nanopartikel sind daher die Grundlage für die Herstellung von Ferrofluiden.

Quellen:

- Experimentieranleitung Ferrofluid, © Swiss Nano-Cube/Dezember 2010 www.swissnanocube.ch 12/20.
- Markus Herrmann:, Wissenschaft in die Schulen!: Nanotechnologie – Visionen im Kleinen mit großer Zukunft – und unbedenklich?, Landesakademie Bad Wildbad, Regierungspräsidium Karlsruhe.

Aufgaben:

1. Erläutere das Zustandekommen und die atomaren Bedingungen für den Magnetismus.
2. Unterscheide die verschiedenen Arten von Magnetismus.
3. Erkläre, weshalb man nicht einfach einen Ferromagneten schmelzen kann, um ein Ferrofluid zu erhalten.