

## Dem Erdmagnetfeld auf der Spur

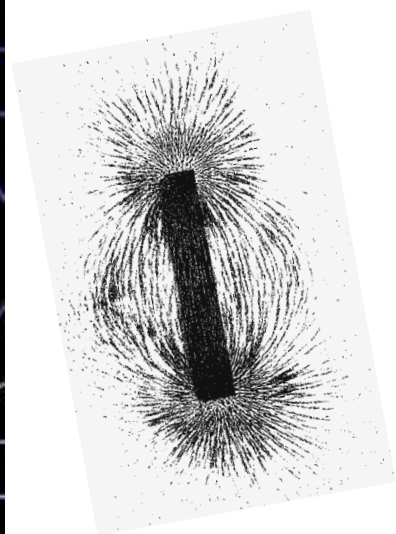
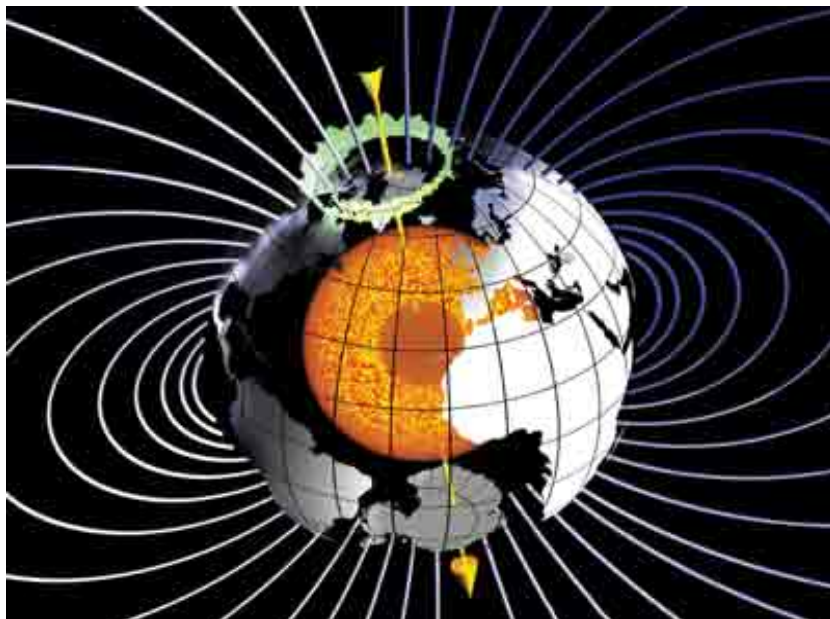
Messungen des lokalen Magnetfelds der Erde (Feldlinienverlauf und Flussdichte) sind bereits mit Schulmitteln möglich. Eine [Versuchsanleitung](#) zur Bestimmung der Horizontalkomponente der magnetischen Flussdichte wird dazu vorgeschlagen. Weiterführende Messungen können u. a. zeigen, dass (geografisch) Nord nicht gleich (magnetisch) Nord ist.

Das irdische Magnetfeld geht zu einem großen Teil auf den Vorgang der Induktion im flüssigen äußeren Erdkern zurück. Auch wenn die sich dort abspielenden Induktionsvorgänge zu komplex sind, um in einem einfachen Bild erklärt zu werden, so kann doch ein [roter Faden](#) „gesponnen“ werden, der es dem Schüler erlaubt, zur Thematik einige eigene Schlüsse zu ziehen.

Ein kurzer Lesetext soll dem Schüler zeigen, dass Magnetfelder im Kosmos auf allen Skalen existieren. [Einfache Aufgaben zum Text](#) dienen der Anwendung physikalischer Grundkenntnisse und der Kontrolle des Leseergebnisses.

Feldlinienbilder bilden eine wichtige Hilfe zur Beschreibung von Feldern. Sie ermöglichen die für die Lehre so grundlegend [notwendige Anschauung](#) – so auch für das Erdmagnetfeld. Teile der Erdkruste besitzen ein magnetisches „Gedächtnis“. Der [Begriff der Curie-Temperatur](#) findet im Zusammenhang mit dem Erdmagnetfeld eine interessante Anwendung.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Magnetisches Feld	<a href="#">Dipolfeld</a> , <a href="#">Induktion</a> , <a href="#">Curie-Temperatur</a> , <a href="#">magnetische Flussdichte im Inneren einer Spule</a> , <a href="#">Energieerhaltung</a>
Astronomie	Planeten, Diffuses Medium	<a href="#">Erde</a> , <a href="#">kosmische Magnetfelder</a>
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo, Astro-Ma,	<a href="#">Erdaufbau</a> , <a href="#">Inklination und Deklination im Feldlinienverlauf des Erdmagnetfelds</a> , <a href="#">Magnetit</a> , <a href="#">Erdkrustenbildung</a> , <a href="#">Vektorzerlegung</a>

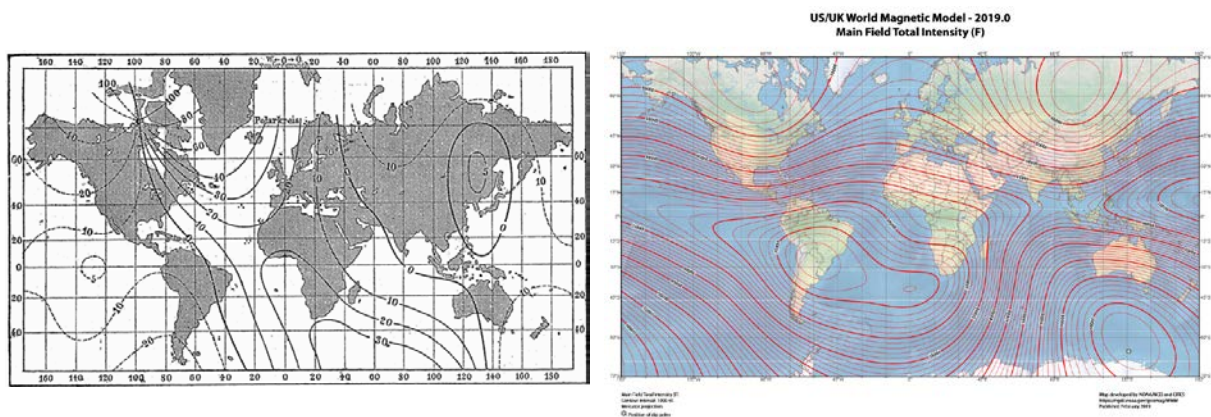


**Abbildung 1:** Gegenüberstellung von Magnetfeldbildern für die Erde (©: GFZ Potsdam, 1999, M. Rother, <https://www.gfz-potsdam.de/medien-kommunikation/meldungen/detailansicht/article/satellitentrio-swarm-erkundet-das-erdmagnetfeld/>) und für einen Stabmagneten. Beide Objekte haben Gemeinsamkeiten im Dipolcharakter des Feldes und bei den Feldlinienverläufen. Im Inneren der Erde befindet sich jedoch kein permanent magnetisches Objekt (das muss dem Schüler klarwerden). Der Geomagnetismus muss ständig durch Induktion erzeugt werden.

## Vermessung des örtlichen Erdmagnetfelds mit Schulmitteln

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Das gegenwärtige Magnetfeld der Erde ist in erster Näherung so geformt wie das eines um etwa  $12^\circ$  zur Rotationsachse der Erde gekippten Stabmagneten (Dipolfeld, siehe Abb. 1). Dementsprechend weicht das Erdmagnetfeld von der geografischen Nordrichtung ab (dazu kommen noch lokale Abweichungen vom „Idealfeld“). Die Abweichung von der Nordrichtung wird als **Deklination** bezeichnet. Die **Inklination** bezeichnet die Abweichung von der Horizontalen. An der Magnetpolen der Erde verläuft das Feld vertikal (Inklination:  $90^\circ$ ) und hat eine Flussdichte von ca.  $70 \mu\text{T}$ . Am Äquator verlaufen die Feldlinien horizontal (ca.  $26 \mu\text{T}$ ). In Deutschland sind typische Werte für das Magnetfeld der Erde: magnetische Flussdichte =  $50 \mu\text{T}$ , Deklination =  $2^\circ$ , Inklination =  $65^\circ$  (siehe auch Abb. 2).



**Abbildung 2:** Weltkarten mit Isolinien gleicher Deklination links (Isogenen, ©: Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43170>) und gleicher magnetischer Flussdichte rechts (©: National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/image.shtml>). Es wird ersichtlich, dass der magnetische Nordpol weit abseits vom geografischen Nordpol liegt.



Bereits mit den relativ einfachen Mitteln der Schulphysik ist es möglich, das Magnetfeld an der Erdoberfläche zu vermessen. Zur Deklinationsbestimmung wird ein Horizontpunkt über eine mit einer Peilvorrichtung versehene Magnetnadel angepeilt. Die Deklination entspricht dann dem Winkelabstand zu dem zuvor ermittelten geografischen Nordpunkt am Horizont (ermittelt z. B. aus dem Kulminationspunkt von Sternen). Der Inklinationswinkel kann mit einem Inklinatorium (Bild links)

direkt gemessen werden. Zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte wird nachfolgend eine Versuchs-anleitung gegeben. Der Versuch (siehe auch [\[1\]](#), S. 71) bietet einige Freiräume für die Schülerarbeit, u. a.:

- **Anwendung des Wissens um das Magnetfeld einer Spule,**
- Selbstbau einer Spule,
- Ideen zur Ausführung der Winkelmessung im Versuch.



## Versuchsanleitung

### Magnetometer –

### Bestimmung der Horizontalkomponente der magnetischen Flussdichte des Erdfeldes

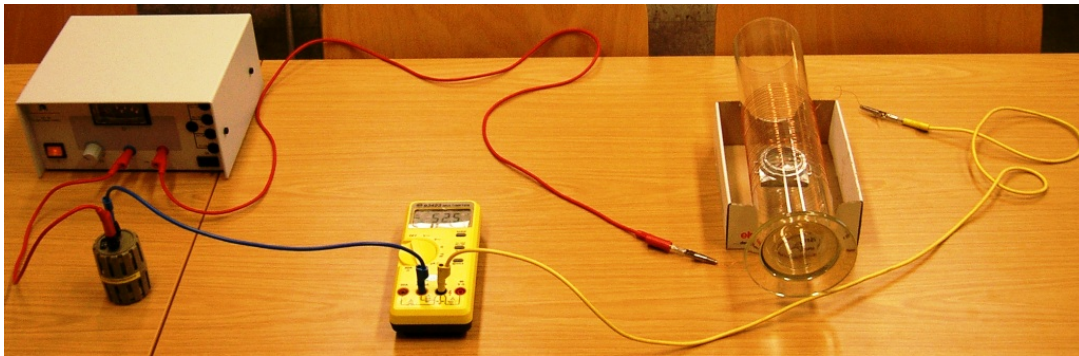
#### Einführung

Die magnetischen Feldlinien der Erde sind je nach geografischem Ort verschieden orientiert (parallel zur Erdoberfläche verlaufen sie nur am Äquator) und verschieden dicht (man denke an die Bezeichnung Flussdichte).

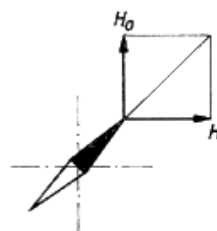
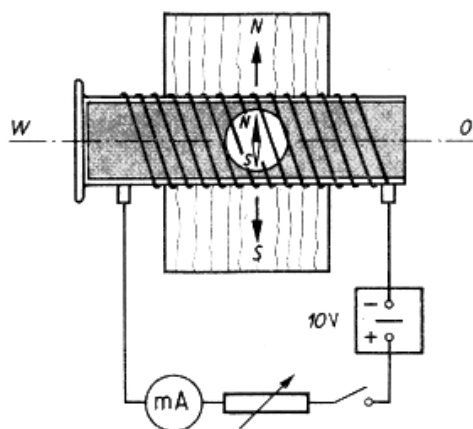
Zur Bestimmung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds kommt das Wissen um das **Magnetfeld im Inneren einer Spule** zur Anwendung.

#### Versuchsaufbau/-durchführung

Für den Aufbau eines einfachen Magnetometers zur Messung der Magnetfeldstärke der Erde werden benötigt: ein Standzylinder (Durchmesser so, dass ein Kompass hinein passt), einige Meter dickerer Kupferdraht, der um den Zylinder zu wickeln ist, eine regulierbare Spannungsquelle (bis 10V-) oder ein regelbarer Widerstand (eventuell zusätzlich ein Schutzwiderstand) und ein Milliampereometer.



Der Standzylinder wird zunächst so orientiert, dass die Zylinderachse senkrecht zur Richtung der Horizontalkomponente des Erdfeldes ausgerichtet wird (man halte sich dabei von großen Eisenmassen fern). Nun wird durch die Zylinder-Spule ein Strom geschickt, der ein Spulenfeld erzeugt. Der Versuch basiert auf dem Abgleich des Spulenfeldes (Feldrichtung entlang der Standzylinderachse) mit dem Erdfeld, so dass die Kompassnadel sich in 45°-Richtung einstellt und damit gilt:



Nun wird durch die Zylinder-Spule ein Strom geschickt, der ein Spulenfeld erzeugt. Der Versuch basiert auf dem Abgleich des Spulenfeldes (Feldrichtung entlang der Standzylinderachse) mit dem Erdfeld, so dass die Kompassnadel sich in 45°-Richtung einstellt und damit gilt:  
 $B_{\text{Erde}} = B_{\text{Spule}}$ .

#### Aufgabe

Ermitteln Sie mit der dargestellten Anordnung die Horizontalintensität der magnetischen Flussdichte der Erde! Bestimmen Sie dazu die Windungszahl der Spule  $N_{\text{Spule}}$ , die Spulenlänge  $l_{\text{Spule}}$  und den Spulenstrom  $I_{\text{Spule}}$  für den Abgleich.

Ergebnis

$$B_H = \mu_0 \cdot \frac{I_{\text{Spule}} \cdot N_{\text{Spule}}}{l_{\text{Spule}}} \quad \text{mit } \mu_0 = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ T m/A}$$

Gemessen wurden z. B.  $N_{\text{Spule}}=33$ ,  $l_{\text{Spule}}=15 \text{ cm}$ ,  $I_{\text{Spule}}=55 \text{ mA}$ . Daraus erhält man

$$B_H = 1,25664 \text{ T} \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{A}} \cdot \frac{0,055 \text{ A} \cdot 33}{0,15 \text{ m}} \approx \underline{\underline{15 \cdot 10^{-6} \text{ T}}}$$

Wenn man für Deutschland eine Inklination von  $65^\circ$  voraussetzt, so kann man aus der Horizontalkomponente die gesamte Flussdichte bestimmen.

$$B = B_H \cdot \frac{1}{\cos 65^\circ} = B_H \cdot 2 \approx \underline{\underline{35 \mu \text{ T}}}$$

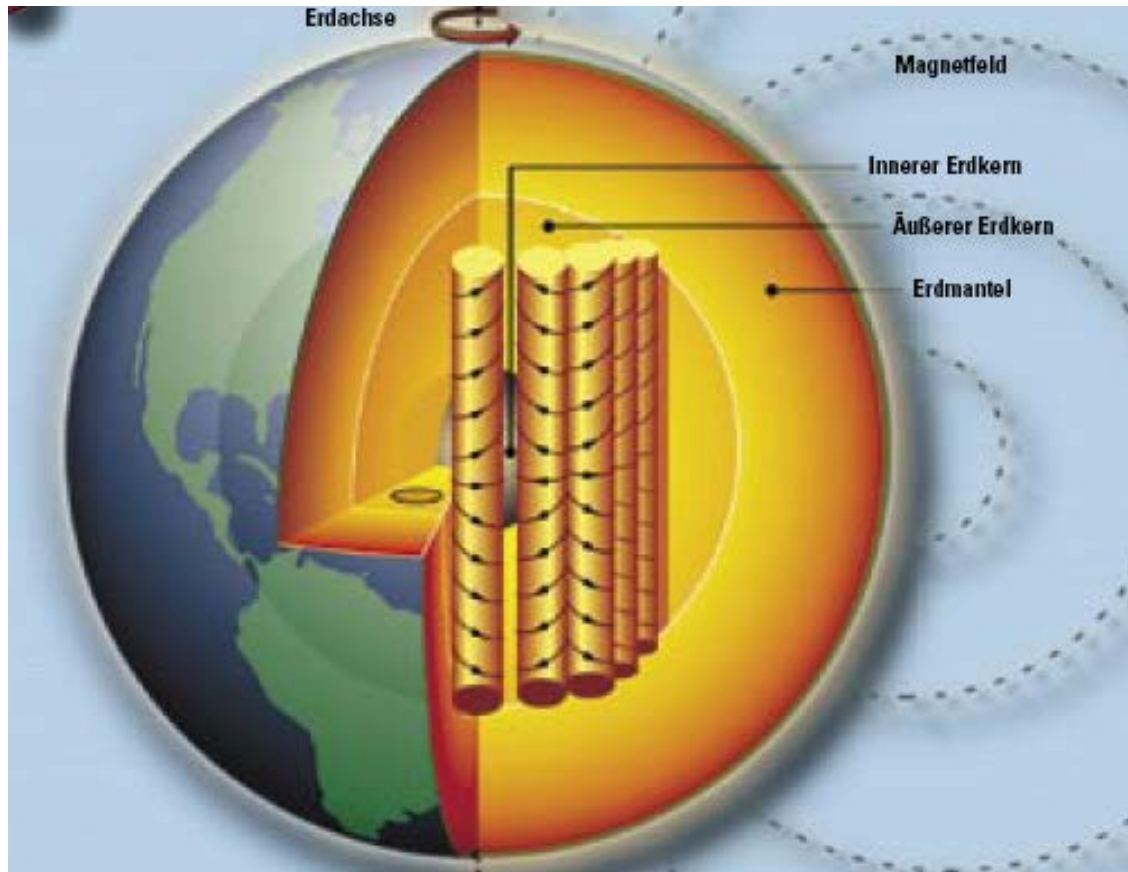
Dieser Wert liegt in der Größenordnung des typischen Wertes von  $50 \mu\text{T}$  für die magnetische Flussdichte in Deutschland.

## Elementares zur Entstehung des Erdmagnetfeldes

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Das globale Magnetfeld der Erde entsteht durch Induktionsströme, die im Erdinneren erzeugt werden. Auch wenn die komplexen Vorgänge des sich selbst erhaltenden Erddynamos letztlich nur mit leistungsfähigen Rechenanlagen „beschrieben und zu einem Ergebnis zusammengefasst werden können“ (der Vergleich mit der Wettervorhersage ist vielleicht angebracht) - gewisse grundlegende Zusammenhänge sollten trotzdem für den Schüler offensichtlich gemacht werden. Es geht darum, die Schulphysik nutzen zu können. Im Folgenden wird ein **roter Faden** vorgestellt, der es dem Schüler erlaubt, eigene Schlüsse zu ziehen.

- Die mittlere Dichte der Erde beträgt  $5,52 \text{ g/cm}^3$ , die Dichte der Erdkruste dagegen liegt bei  $2,5\text{-}3 \text{ g/cm}^3$  - **Was lässt sich daraus schließen?**
  - Die Erde wird zum Zentrum hin dichter, sie ist inhomogen aufgebaut.
- **Welcher Stoff ist im Erdinneren zu erwarten?** Man denke an die Häufigkeit der Elemente im Sonnensystem (Meteoriten).
  - Das einzige Material mit dieser Dichte, welches im Sonnensystem in ausreichender Menge vorkommt, ist Eisen.
- Eisen ist ein guter Leiter. **Unter welchen Voraussetzungen kann in ihm in der Erde ein Strom induziert werden?**
  - Ein Strom wird induziert, wenn sich das Eisen in einem veränderlichen Magnetfeld befindet (Ruheinduktion) oder wenn es relativ zum Magnetfeld bewegt wird und dabei Magnetflussveränderungen auftreten (Bewegungsinduktion). Das Magnetfeld der Erde ist kurzfristig gesehen konstant. Ein Induktionsstrom, der zur Aufrechterhaltung des Feldes gebraucht wird, muss also durch Bewegungsinduktion erzeugt werden.
- **Welche Bewegung ermöglicht die Bewegungsinduktion?**
  - Die Rotation der Erde (samt ihres leitenden Erdkerns) ermöglicht keine Bewegungsinduktion, da das Magnetfeld mitrotiert (außer, man nimmt eine differentielle Rotation an). Eine andere Möglichkeit ergibt sich aus Strömungsvorgängen flüssigen Eisens. Seismische Wellen verraten, dass der äußere Erdkern flüssig ist und eine Dichte von etwa  $10 \text{ g/cm}^3$  haben muss.
- **Wodurch werden die Strömungsvorgänge des flüssigen Eisens verursacht und beeinflusst?**
  - Die Strömung des flüssigen Eisens im äußeren Erdkern (vergleichbar mit der Bewegung von Leiterschleifen) entsteht durch Temperatur- und damit Dichteunterschiede – es handelt sich um Konvektion. Die Konvektionsbewegungen werden durch die Zentrifugalkräfte beeinflusst, so dass ein Konvektionsmuster entsteht (Konvektionswalzen mit Achsen parallel zur Erdachse, siehe folgendes Bild).



(aus Datei [geomax9.pdf](#), S. 2, [2]).

- **Wie wird in einem im Äquatorbereich senkrecht aufsteigenden Eisenstrom eine Spannung induziert?**
  - Im Äquatorbereich laufen die magnetischen Feldlinien parallel zur Erdachse. Damit bewegen sich die senkrecht aufsteigenden Eisenströme senkrecht zu den Feldlinien und die frei beweglichen Elektronen im Eisen werden senkrecht zur von der Feldrichtung und der Bewegungsrichtung aufgespannten Ebene durch die Lorentzkraft ausgelenkt (zum Merken: abgespreizter Daumen: Richtung der Elektronenbewegung im Eisenstrom, abgewinkelte Finger: Richtung des Magnetfeldes, ausgestreckter Zeigefinger: Richtung der Lorentzkraft). Die Elektronen werden also tangential zum Äquator verschoben.
  - Wenn sich elektrisch leitfähiges Material in einem Magnetfeld bewegt, dann entstehen Wirbelströme, die wiederum Einfluss auf das Bewegungsverhalten haben. Diese dem Schüler bekannte Tatsache zeigt, wie komplex die Beschreibung der Bewegung des flüssigen Eisens und der damit verbundenen Induktionserscheinungen ist.
  - Die Forscher sprechen beim Erdmagnetfeld vom sogenannten Alpha-Effekt. Dieser besagt, dass eine elektrisch leitende Flüssigkeit, die sich schnell auf schraubenförmigen Bahnen bewegt, ein Magnetfeld erzeugt, das sich aus sich selbst erhält.

## **Magnetfelder von Planeten, Sternen und im interstellaren Raum** ([↪zurück zum Anfang](#))

*Im Folgenden wird ein Text mit Informationen zu Magnetfeldern im Kosmos vorgegeben. Der Text ist zu lesen und die gebotenen Daten sind mit Hilfe kleiner Aufgaben einzuordnen.*

Planetare Magnetfelder sind, zumindest in unsrem Sonnensystem, eher die Regel als die Ausnahme. Alle vier Riesenplaneten haben ein bedeutend stärkeres Magnetfeld als die Erde (In Deutschland beträgt die magnetische Flussdichte etwa  $50 \mu\text{T}$ ). Jupiter besitzt von allen Planeten das stärkste Magnetfeld. Es ist etwa 20mal stärker als das irdische Feld. Die magnetische Feldenergie Jupiters ist etwa 20.000fach größer als die der Erde. Saturn besitzt eine ca. 600fach größere Feldenergie als die Erde. Während die magnetische Achse des Saturn mit der Rotationsachse überein stimmt und die des Jupiter leicht gegenüber dieser verdreht ist, sind die magnetischen Achsen von Uranus und Neptun etwa um  $60^\circ$  gegenüber ihren Rotationsachsen geneigt. Die Ursachen der Felder sind noch unbekannt. Jupiter und Saturn sind groß genug, um im Kern metallischen Wasserstoff zu enthalten - Uranus und Neptun aber nicht. Von den erdähnlichen Planeten besitzt allein die Erde ein durch den Dynamoprozess erzeugtes Magnetfeld. Merkur und Mars besitzen magnetisierte Gesteinsformationen. Venus gilt bisher als unmagnetisch. Bei den Monden vermutet man bei Ganymed ein eigenes Magnetfeld. Der Erdmond besitzt magnetisierte Gebiete.

Die Sonne besitzt an der Oberfläche ein Magnetfeld von 0,1-0,5 mT (in Sonnenflecken wird etwa der tausendfache Wert erreicht), bei Weißen Zwergen beträgt es dann schon etwa 100 T und bei Neutronensternen sind es ca.  $10^8 \text{T}$ .

Im Raum zwischen den Sternen wirkt das galaktische Magnetfeld mit etwa 1 nT. In Molekülwolken (Orte der Sternentstehung) hat das Feld schon eine Stärke von ca.  $0,1 \mu\text{T}$ .

### **1. Vergleich der Magnetfelder auf den Oberflächen von Erde und Sonne**

In welchem Verhältnis steht die mittlere Stärke des Magnetfeldes auf der Erde zu dem auf der Sonne?

### **2. Vergleich mit Spule im Physikraum**

Zu welchem der aufgeführten Objekte passt die Feldstärke einer Spule aus dem Schulexperimentiersatz mit folgenden Parametern (Länge: 8 cm, Windungszahl 500, Stromstärke 1 A)?

### **3. Feldstärke und Feldenergie**

Wie kann man von der im Vergleich zur Erde 20fach größeren Feldstärke bei Jupiter auf eine 20.000fach größere Feldenergie schließen (eine Abschätzung ist gesucht)?

### **4. Energieerhaltung**

Die Sonne wird im Laufe ihrer Entwicklung zu einem Weißen Zwerg (etwa Erdgröße) werden. Zeigen Sie (Abschätzung), dass die magnetische Feldenergie bei der Kontraktion erhalten bleibt! Es wird angenommen, dass der energiereichste Teil des Magnetfeldes vom Stern eingeschlossen wird. Die gleiche Betrachtung ist für einen Stern zu machen, der sich wegen seiner im Vergleich zur Sonne größeren Masse zu einem Neutronenstern (Durchmesser ca. 30 km) entwickelt (für den Vorgängerstern werden der Einfachheit halber die Werte der Sonne angenommen).

## Ergebnisse

### **1. Vergleich der Magnetfelder auf den Oberflächen von Erde und Sonne**

Die Stärke des Magnetfeldes auf der Erde (in Deutschland im Mittel 0,00005 T) ist etwa zehnfach kleiner als diejenige auf der Sonne (0,0001 T bis 0,0005 T).

### **2. Vergleich mit Spule im Physikraum**

$$B_H = \mu_0 \cdot \frac{I_{\text{Spule}} \cdot N_{\text{Spule}}}{l_{\text{Spule}}},$$

$$B_H = 1,25664 \text{ T} \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{A}} \cdot \frac{1 \text{ A} \cdot 500}{0,08 \text{ m}} \approx \underline{\underline{8 \cdot 10^{-3} \text{ T}}}.$$

Das Feld im Inneren der Spule hat einen Wert, der mehr als zehnfach größer ist als das Magnetfeld an der Sonnenoberfläche (0,0001 T bis 0,0005 T, nicht in den Sonnenflecken).

### **3. Feldstärke und Feldenergie**

Der Radius von Jupiter (Äquatroradius ca. 71.800 km) ist grob zehnfach größer als der Erdradius (Äquatroradius 6.378 km). Das Magnetfeld von Jupiter füllt entsprechend ein tausendfach größeres Volumen als das Magnetfeld der Erde aus. Wenn man annimmt, dass der energiereichste Teil des Magnetfeldes im Planetenvolumen eingeschlossen ist, dann ergibt sich für die magnetische Feldenergie von Jupiter ein 20 mal 1000 gleich 20.0000fach größerer Wert im Vergleich zur Erde.

### **4. Energieerhaltung**

Bei Annahme der Erhaltung der magnetischen Feldenergie bei der Kontraktion (adiabatische Kontraktion) verstärkt sich das Feld mit dem kleiner werdenden Volumen (bildlich gesprochen werden alle Feldlinien verdichtet und „verdickt“). Wenn also die Sonne von ihrer jetzigen Größe (Radius ca. 700.000 km) zu einem Weißen Zwerg (Radius grob 7000 km) schrumpft, dann verringert sich das Volumen um einen Faktor  $10^6$  und die Feldstärke wächst von 0,0001 T auf 100 T ( $0,0001 \text{ T} \cdot 10^6$ ).

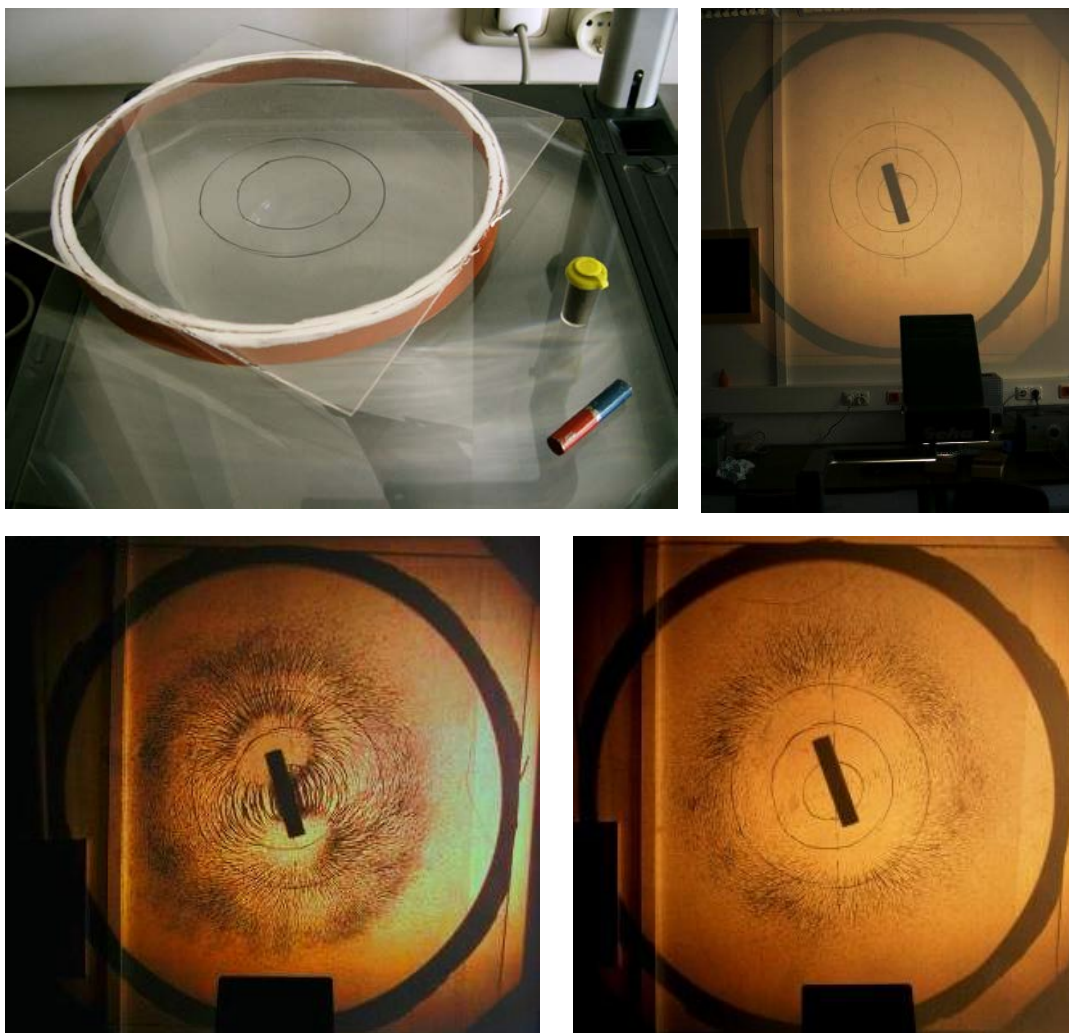
Die gleiche Betrachtung für einen Neutronenstern (Durchmesser ca. 30 km) ergibt einen Faktor von etwa  $10^{14}$  ( $\approx (700.000/15)^3$ ). Die Feldstärke wächst dann auf etwa  $10^{10}$  T. Der abgeschätzte Wert ist um den Faktor 100 falsch, was auf die groben Annahmen zurückzuführen ist.



## Veranschaulichung des Magnetfelds der Erde

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

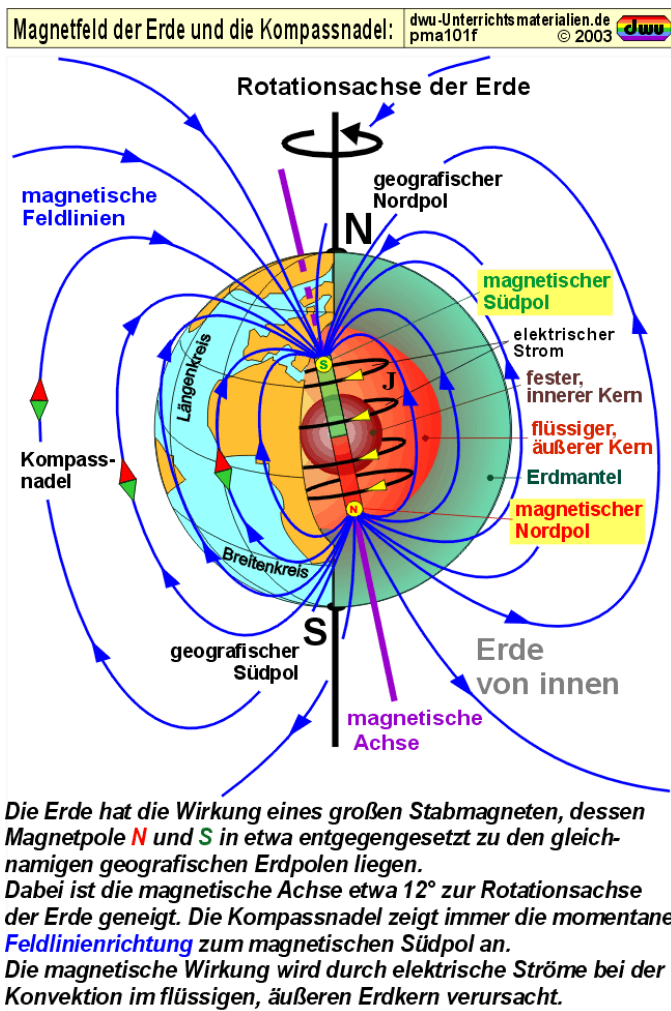
Das Magnetfeld der Erde kann in erster Näherung als **Dipolfeld** beschrieben werden (genauer mit Überlagerung durch Multipole). Feldlinienbilder ermöglichen eine Visualisierung des Feldverlaufes. Im Falle des Erdmagnetfeldes ist es wichtig, den Ort der Entstehung, die Lage der Dipolachse bezüglich der Erdachse und den Feldverlauf über der Erdoberfläche zu veranschaulichen. Im Weiteren werden verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung vorgestellt. Ein **Freihandversuch** zeigt dem Schüler eine experimentelle Nachweisidee für ein Dipolfeld, welches dann als Modell für das Erdfeld dienen kann. In einer **bildlichen Darstellung** wird das Dipolfeld mit dem Erdkörper verbunden. Auf einen weiteren Versuch, der eine **räumliche Vorstellung** vom Dipolfeld vermitteln kann, wird verwiesen. Letztlich stehen auch **Movies** zur Verfügung, die im Ergebnis von Computersimulationen entstanden sind und sowohl die Komplexität des irdischen Magnetfelds als auch seine Entwicklung (Umpolung) zeigen.



**Abbildung 2:** Freihandversuch zur Demonstration des Feldlinienverlaufes eines Dipolmagneten in der Modellerde. Benötigt werden: Overheadprojektor, Stabmagnet, Eisenfeilspäne im Streuer, Glasplatte mit Abstandshalter (hier aufgeklebter Plastikring), Folie mit Konturen vom Schalenbau der Erde und der Erdachse. Der Stabmagnet wird unter die Glasplatte und die Folie wird passend auf diese gelegt. Dann werden Eisenfeilspäne darauf gestreut, die sich durch leichtes Klopfen auf ihre Unterlage im Feld orientieren. Im Bild unten rechts wurden die Späne nur zur Veranschaulichung des Feldes oberhalb der Erdoberfläche aufgebracht.

Um einen dreidimensionalen Eindruck vom Feldverlauf eines Stabmagneten zu erhalten, siehe [www.pen.physik.uni-kl.de](http://www.pen.physik.uni-kl.de).

Das hier gezeigte Bild (Quelle: <http://www.zum.de/dwu/pma101vs.htm>, als Folienvorlage und Arbeitsblatt erhältlich) liefert eine gute Veranschaulichung des Erdmagnetfelds, wenn auch einige Kommentare noch hinzugefügt werden sollen, um **Fehlvorstellungen** vorzubeugen. Beim Dipolfeld eines Stabmagneten verlaufen die Feldlinien auch an den Seiten des Magneten (siehe auch Abb. 1 und 2). Dieses Bild ist passender für das Erdmagnetfeld, auch wenn es sich beim Erdmagnetfeld um ein Feld handelt, dass nicht durch einen Permanentmagneten im Inneren der Erde, sondern durch einen dort vorhandenen Induktionsmechanismus erzeugt wird. (Die nur an den Stabenden austretenden Feldlinien sollen vermutlich an das Feld einer Spule erinnern.)



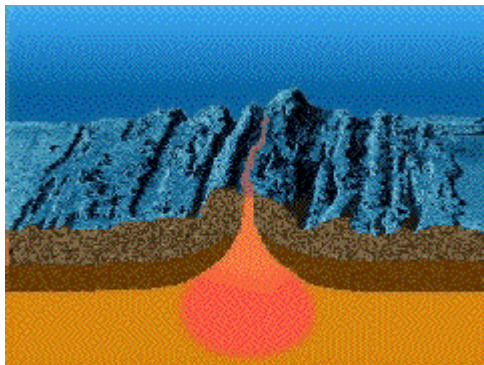
Im physikalischen Sinne ist der magnetische Pol auf der Nordhalbkugel ein Südpol. „Im allgemeinen Sprachgebrauch (gerade auch unter Geowissenschaftlern) wird mit dem magnetischen bzw. geomagnetischen Nordpol in der Regel doch der Pol der Nordhalbkugel bezeichnet, weil es geographisch logischer erscheint“ (Dr. Monika Korte, Geoforschungszentrum Potsdam).

In den Movies [erdmagnetfeld.mpeg](#) und [umpolung.mpeg](#), die im Resultat von Computersimulationen des Erdmagnetfelds entstanden sind (Quelle: <http://www.psc.edu>) wird zum einen deutlich, dass die Idealisierung ‚Dipolfeld‘ nur eine erste Näherung einer weitaus komplexeren Feldstruktur darstellt. Zum anderen kann die voraussichtliche (vorausberechnete) Entwicklung des Erdmagnetfeldes und damit auch die Umpolung im Zeitraffer verfolgt werden.

## Das „Magnetfeld-Gedächtnis“ in der Erdkruste

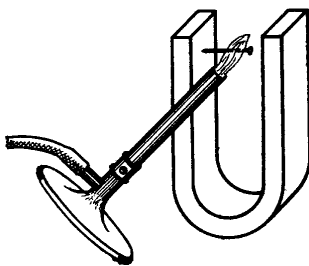
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Ferromagnetische Stoffe können auf Grund ihrer Struktur selbst magnetisch werden, wenn sie einem Magnetfeld ausgesetzt werden (eine Art magnetische Influenz). Dies sieht man sofort daran, dass ein Eisennagel durch einen Magneten angezogen wird. Seine Magnetisierung beruht darauf, dass die Bewegung der frei beweglichen Elektronen durch das von außen einwirkende Magnetfeld eine Ausrichtung erfährt. Man stellt sich die Bewegung der Elektronen in Form von molekularen Kreisströmen vor, die im unmagnetisierten Zustand zufällig, unter Einwirkung eines Magnetfeldes jedoch mehr oder weniger gleich orientiert sind.



**Magnetit** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Magneteisenstein) ist das ergiebigste Eisenerz (72 % Eisen) und zugleich das am stärksten magnetisierbare Mineral. Zusammen mit Haematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) macht es 3,7 % der Masseanteile der Erdkruste aus. Magnetit ist dann magnetisch, wenn es während des Erstarrungsprozesses einem Magnetfeld ausgesetzt war. Übrigens kann man die schwarzen Magnetitkörner auch im Ostseesand wiederfinden und aus diesem mit einem Magneten (der sollte also ins Urlaubsgepäck) entfernen.

Bei der in den Ozeanböden ständig vor sich gehenden **Erdkrustenbildung** tritt auch flüssiges Magnetit aus dem Erdinneren aus und erstarrt unter den Bedingungen des jeweils existierenden Magnetfelds (siehe **animierte gif-Datei [erdkrustenbildung.gif](#)**, Quelle: GEOLINDE, Geographie am Theodolinden-Gymnasium München, CC BY-SA 4.0). Unter Hinzuziehung einer Altersbestimmung des Krustengesteins kann dann gesagt werden, zu welcher Zeit das Magnetfeld welche Stärke und Ausrichtung hatte.



Oberhalb einer bestimmten Temperatur (**Curie-Temperatur**) verlieren ferromagnetische Stoffe ihre magnetischen Eigenschaften durch die Wärmeschwingungen im Kristallgefüge. Dies kann mit einem einfachen **Experiment** gezeigt werden (siehe [\[1\]](#), S.38). Dazu wird ein Eisennagel wie dargestellt ins Feld eines Hufeisenmagneten „gestellt“ (Spitze an Schenkel des Magneten anstoßend). Erhitzt man den Nagel (nicht den Magneten!) mit einer Gasflamme bis zur Glut (Curie-Temperatur von Eisen:  $769\text{ }^\circ\text{C}$ ), so

verliert dieser zumindest partiell seine Magnetisierung, und er klappt herunter.

Die Magnetite der Erdkruste haben Curie-Temperaturen von  $400\text{ }^\circ\text{C}$  –  $600\text{ }^\circ\text{C}$ . Deshalb ist die Magnetisierung der Erdkruste auf Tiefen von etwa 10 km - 50 km beschränkt.

## Quellen

- [1] Brunstein und Mitarbeiter: Physikalische Schulversuche, Teil 9, Elektrizitätslehre II (PS9), Volk und Wissen, Berlin, 1983
- [2] MPG, Geomax 9/2004, <https://www.max-wissen.de/230433/Geomax-09-Web.pdf>