

# Das Magnetfeld der Erde



Stephen Kimbrough · Damjan Štrus  
Corina Toma



## 1 | Zusammenfassung

Warum ist es so wichtig, die Werte des Magnetfelds der Erde zu kennen? Warum untersucht die aus drei Satelliten bestehende Konstellation Swarm der ESA seine Veränderungen?

Das Magnetfeld der Erde ist verantwortlich für das Auftreten von Polarlichtern in den Polregionen und die überlebensnotwendige Abwendung von Sonnenwinden. Wir nennen dieses Magnetfeld den Schutzschild der Erde gegen kosmische Strahlung und geladene Teilchen.

Das Magnetfeld der Erde lässt sich mit verschiedenen Methoden messen, aber in dieser Einheit können die Schüler ihre Messungen des Magnetfelds mit zwei Helmholtz-Spulen und einem echten Kompass oder einer Smartphone-Kompass-App mit einer direkten Messung mit dem Magnetsensor des Smartphones vergleichen.

- ▶ **Stichwörter:** Magnetfeld der Erde, Helmholtz-Spulen, Deklination
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik, Informations- und Kommunikationstechnologien, Erdkunde
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 12–19 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Smart Compass, Sensor Kinetics, Compass
- ▶ **iOS-Apps:** Compass, Magnetometer

## 2 | Vorstellung des Konzepts

Das Magnetfeld der Erde ist mehr oder weniger wie ein Stabmagnet mit einer Neigung von elf Grad zur Drehachse der Erde. Es sieht so aus, als seien die elektrischen Ströme im Erdkern und ihr Dynamoeffekt für das Vorhandensein dieses Magnetfelds verantwortlich. Das Magnetfeld der Erde verändert sich ständig in seinen Ausmaßen und seiner Richtung. Gleichzeitig ändert sich auch die Position der Pole. Das vom U.S. National Geophysical Data Center berechnete World Magnetic Model wird alle fünf Jahre aktualisiert. Laut NGDC waren die Koordinaten der magnetischen Pole im World Magnetic Model 2010 bei 84,97° N und 132,35° W für den magnetischen Südpol und 64,42° S und 137,34° O für den magnetischen Nordpol.

Das Magnetfeld  $B$  der Erde wird mit den SI-Einheiten Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) oder Nanotesla ( $\text{nT}$ ) gemessen und sein Wert schwankt zwischen  $24\mu\text{T}$  und  $66\mu\text{T}$ .

Der Zweck dieses Experiments ist es, die horizontale Komponente des Erdmagnetfelds mit zwei Helmholtz-Spulen, einem Kompass und einem Smartphone mit Sensor für Magnetfelder zu messen.

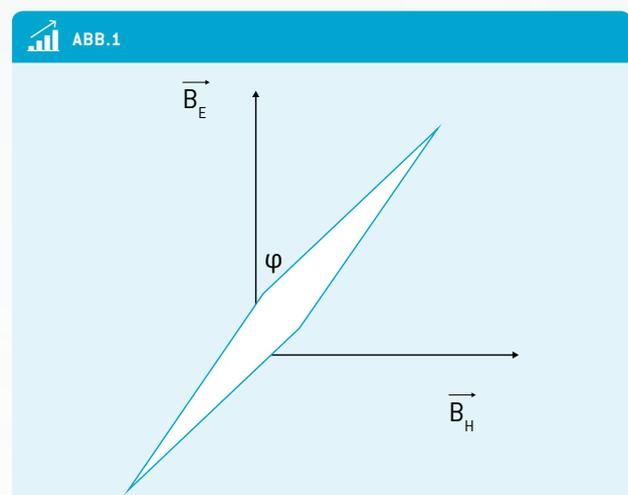
Diese Einheit passt gut zu den Physiklehrplänen in allen europäischen Ländern (jeder Physikschüler lernt etwas über das statische Magnetfeld und das Magnetfeld durch Gleichstrom).

## 3 | Aufgabe der Schüler

Die Schüler bestimmen das Ausmaß der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds. Dazu müssen sie zunächst einen elektrischen Kreislauf aufbauen. Zu beachten ist, dass die Stromquelle wegen ihres eigenen Magnetfelds weit von den Spulen entfernt sein muss. Wenn Ihre Schule keine Helmholtz-Spulen hat, lassen sie sich leicht mit den Schülern zusammen bauen (siehe Bauanleitung für Helmholtz-Spulen im eBook oder unter [www.science-on-stage.de/istage2-downloads](http://www.science-on-stage.de/istage2-downloads)). Das Gerät erzeugt in der mittleren Ebene zwischen den beiden Rundspulen ein homogenes Magnetfeld. Für dieses Experiment müssen die Helmholtz-Spulen in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet werden und sich in vertikaler Position befinden, so dass ihr Magnetfeld ( $B_H$ ) senkrecht zur horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds ( $B_E$ ) steht. Ein Kompass oder Smartphone mit Kompass-App zentral in dem Gerät zeigt in Richtung der Vektorsumme der beiden Komponenten des Magnetfelds, wie in **ABB. 1** dargestellt.

Natürlich gilt:  $\tan \varphi = \frac{B_H}{B_E}$

Anmerkung: Ist der Magnetsensor des Smartphones ungenau, dann muss er neu kalibriert werden. Dazu wird das Smartphone einige Sekunden bewegt und gedreht, bis wieder die richtigen Werte angezeigt werden. Es darf sich kein Magnet in der Nähe des Smartphones befinden.





### 3|1 Schritt 1

Durch Drehen des Knopfs für die Stromzufuhr wird der Strom so angepasst, dass der Winkel  $\varphi = 45^\circ$  beträgt.

In diesem Fall gilt:  $\tan \varphi = 1$

Die Größenordnung des durch das Gerät erzeugten Magnetfelds entspricht der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds:  $B_H = B_E$ .

Wert des Stroms ablesen. Das Magnetfeld der Helmholtz-Spulen lässt sich mit folgender Formel berechnen:

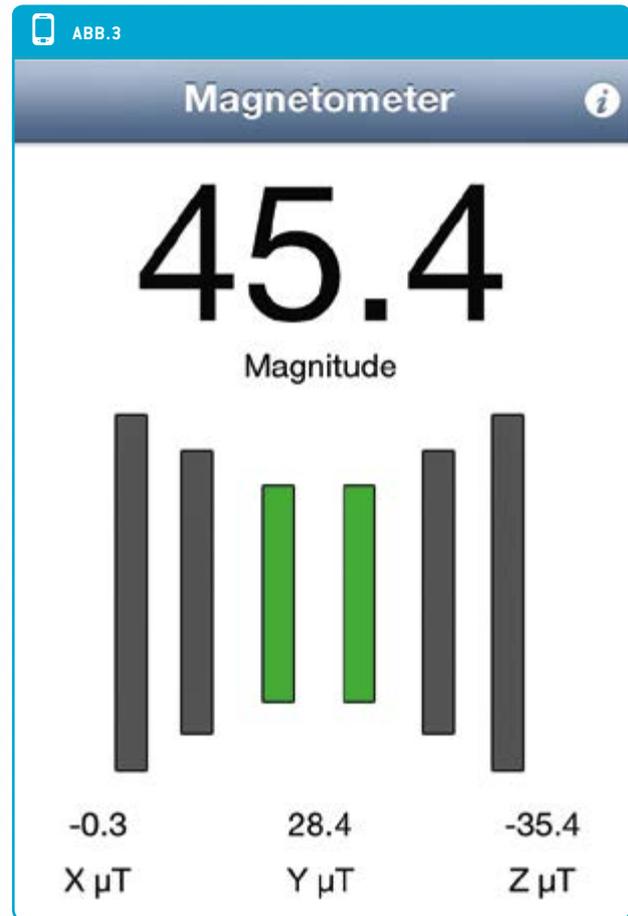
$$B_H = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot N \cdot I}{R \cdot 5\sqrt{5}}$$

wobei  $N$  für die Anzahl der Windungen in jeder Spule steht (hier 20),  $I$  für den Strom in den Spulen in Ampere,  $R$  für den Radius der Spulen in Metern (hier 20 cm).

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

ist die magnetische Permeabilität im Vakuum.

Um den aus der Formel errechneten Wert zu vergleichen, wird eine Smartphone-App benötigt. Das Smartphone wird auf einen flachen Untergrund gelegt und mit Hilfe der Kompass-



App oder einer magnetischen Nadel parallel zur Nord-Süd-Richtung ausgerichtet (siehe Abbildung 2). Mit einer App wird das Magnetfeld in drei Dimensionen gemessen. Hier (siehe ABB. 3) sollte eine der Komponenten (in unserem Fall  $B_x$ ) fast null sein. Die andere zeigt die horizontale Komponente ( $B_y$ ).  $B_z$  zeigt dann die vertikale Komponente des Magnetfelds.

### 3|2 Schritt 2

Der Knopf für die Stromzufuhr wird so aufgedreht, bis der vorgeschlagene Stromwert durch die Spulen, den Widerstand und den Strommesser fließt. Die Werte werden wie in ABB. 4 aufgeschrieben.

Die Deflektion des Kompass messen und die Winkel aufschreiben. Die dritte Spalte berechnen und aufschreiben.

Die beiden Graphen zeichnen:

- ▶  $\varphi = f(I)$   $\varphi(I)$
- ▶  $\tan \varphi = f(I)$ , eine lineare Funktion  $\tan \varphi(I)$

Die Linie ziehen, die am besten zu den Messpunkten des Graphen  $\tan \varphi(I)$  passt, zwei Punkte dieser Linie auswählen und ihre Werte aufschreiben. Mit der Steigung  $k$  der linearen Kur-



ABB.4

I [mA]	$\varphi$ [°]	$\tan(\varphi)$
0		
30		
60		
90		
120		
150		
180		
210		
240		
270		
300		

ve wird die Größenordnung der horizontalen Komponente wie folgt berechnet:

$$\tan \varphi = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot 8}{\underbrace{B_E \cdot R \cdot 5\sqrt{5}}_{\text{Steigung } k}} \cdot I \quad \text{und} \quad B_E = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot 8}{k \cdot R \cdot 5\sqrt{5}} .$$

Die erhaltenen Werte durch Messung mit dem Smartphone wie in Ebene 1 dargestellt vergleichen. Die Werte außerdem mit den geschätzten Werten zum Erdmagnetfeld am eigenen Standort auf <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/> vergleichen. Der Längen- und Breitengrad lässt sich mit dem Smartphone ermitteln.

ABB.5

$\varphi$ [°]	I [mA]	$\tan(\varphi)$
0	0	0.00
9	28	0.16
17	59	0.31
25	92	0.47
31	120	0.60
37	153	0.57
41	180	0.87
45	210	1.00
49	241	1.15
52	276	1.28
56	320	1.48

ABB.6

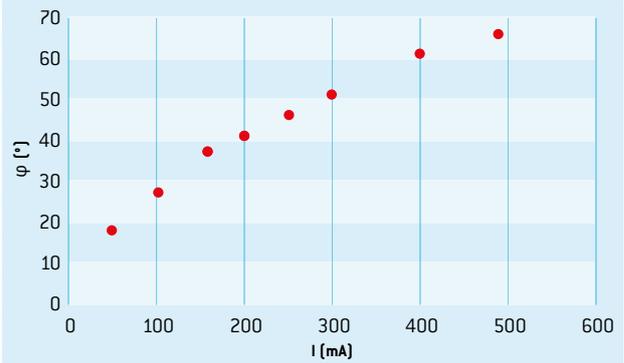
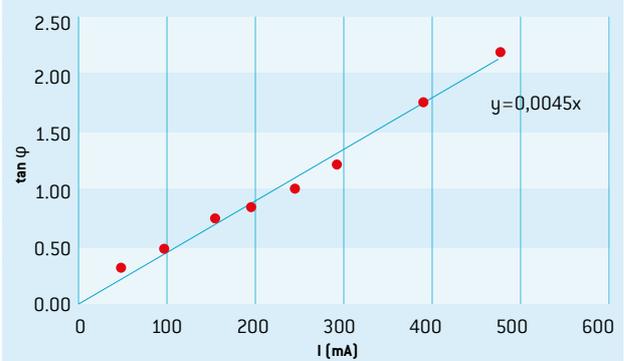


ABB.7



Die ABB. 5 – 7 zeigen Beispiele für unsere Messungen mit  $R = 20$  cm und  $N = 20$ .

Der Wert der Steigung ist  $k = 0,00451/\text{mA}$  und deshalb  $B_E = 19,98 \mu\text{T}$ .

### 3|3 Weitere Versuche

#### 3|3|1 Beobachtung der Veränderung des Erdmagnetfelds über längere Zeit (etwa drei Monate)

Die Schüler können die horizontale und die gesamte Größenordnung des Erdmagnetfelds über eine längere Zeit hinweg messen. In dieser Phase brauchen die Schüler nur ihr Smartphone und die Magnetometer-App (Sensor Kinetics – Android). Die Messung muss jedes Mal am selben Ort erfolgen, um vergleichbare Werte zu liefern. Danach können die Schüler die Daten in einen Graphen einzeichnen und die Fluktuation besprechen.

#### 3|3|2 Vergleich der Magnetfeldwerte mit dem Breitengrad

Schüler aus verschiedenen Schulen können in ein gemeinsames Projekt eingebunden werden. Dazu müssen sie das horizontale Magnetfeld an ihrem Heimatort messen und ihren



Breitengrad notieren. Nach Aufnahme dieser Daten werden die Schüler merken, dass das Magnetfeld der Erde sich jeden Tag minimal verändert und dass es einen beträchtlichen Gradienten in der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds vom Äquator bis zum Nordpol gibt (auf der Nordhalbkugel). Die Daten für diesen Versuch sind in einer Datenbank hinterlegt (siehe [www.science-on-stage.de/istage2-downloads](http://www.science-on-stage.de/istage2-downloads)).

#### 4 | Option zur Kooperation

##### Teilnahme an einem europäischen Wissenschaftsprojekt

Als Teil dieser Lehrereinheit haben wir eine Moodle-Datenbank erstellt ([www.science-on-stage.de/istage2-downloads](http://www.science-on-stage.de/istage2-downloads)), in die Sie Ihre Messungen der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds hochladen können. Bitte geben Sie auch das Datum Ihrer Messung sowie den Ort und seine globalen Koordinaten an.

Hier haben Sie auch Zugang zu den zuvor von anderen Teilnehmern – Lehrern wie Schülern – aufgenommenen Werten.

#### 5 | Fazit

Diese Einheit hilft Schülern dabei, zu verstehen, dass die Genauigkeit der analogen Messung (mit einem Paar Helmholtz-Spulen und einem Kompass) ebenso gut ist wie die digitaler Messungen (mit dem Smartphone).

Die Schüler werden merken, wie moderne Technologie die wissenschaftliche Forschung verbessert. Die Dauer des Messverfahrens hat sich enorm verkürzt. Außerdem ist das Smartphone ein multifunktionales Messgerät.

Die Schüler können ihre Ergebnisse mit aktuellen Daten vergleichen. Sie sehen sofort wie exakt die Ergebnisse sind und können sie teilen.



# Impressum

## Entnommen aus

iStage 2 - Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht erhältlich in Deutsch und Englisch [www.science-on-stage.de/istage2](http://www.science-on-stage.de/istage2)

## Herausgeber

Science on Stage Deutschland e.V.  
Poststraße 4/5  
10178 Berlin

## Revision und Übersetzung

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH  
[www.transformcologne.de](http://www.transformcologne.de)

## Text- und Bildnachweise

Die Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

## Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

## Illustration

tacke -atelier für kommunikation  
[www.ruperttacke.de](http://www.ruperttacke.de)

## Bestellungen

[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)  
[info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)

Zur besseren Lesbarkeit wurde auf die Verwendung der weiblichen Form verzichtet. Mit der männlichen Form ist auch stets die weibliche Form gemeint.

Creative-Commons-Lizenz: Attribution  
Non-Commercial Share Alike



1. Auflage 2014

© Science on Stage Deutschland e.V.



THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

HAUPTFÖRDERER VON  
SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND



Die Initiative für  
Ingenieurnachwuchs

Ermöglicht durch



## Science on Stage – The European Network for Science Teachers

... ist ein Netzwerk von Lehrkräften für Lehrkräfte aller Schularten, die Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) unterrichten.  
... bietet eine Plattform für den europaweiten Austausch anregender Ideen und Konzepte für den Unterricht.  
... sorgt dafür, dass MINT im schulischen und öffentlichen Rampenlicht steht.

Science on Stage Deutschland e.V. wird maßgeblich gefördert von think ING., der Initiative für den Ingenieurnachwuchs des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

## Machen Sie mit!

### [WWW.SCIENCE-ON-STAGE.DE](http://WWW.SCIENCE-ON-STAGE.DE)

Newsletter: [www.science-on-stage.de/newsletter](http://www.science-on-stage.de/newsletter)

[www.facebook.com/scienceonstagedeutschland](https://www.facebook.com/scienceonstagedeutschland)

[www.twitter.com/SonS\\_D](https://www.twitter.com/SonS_D)

Science on Stage Deutschland ist Mitglied in Science on Stage Europe e.V.

### [WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU](http://WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU)

[www.facebook.com/scienceonstageeurope](https://www.facebook.com/scienceonstageeurope)

[www.twitter.com/ScienceOnStage](https://www.twitter.com/ScienceOnStage)

