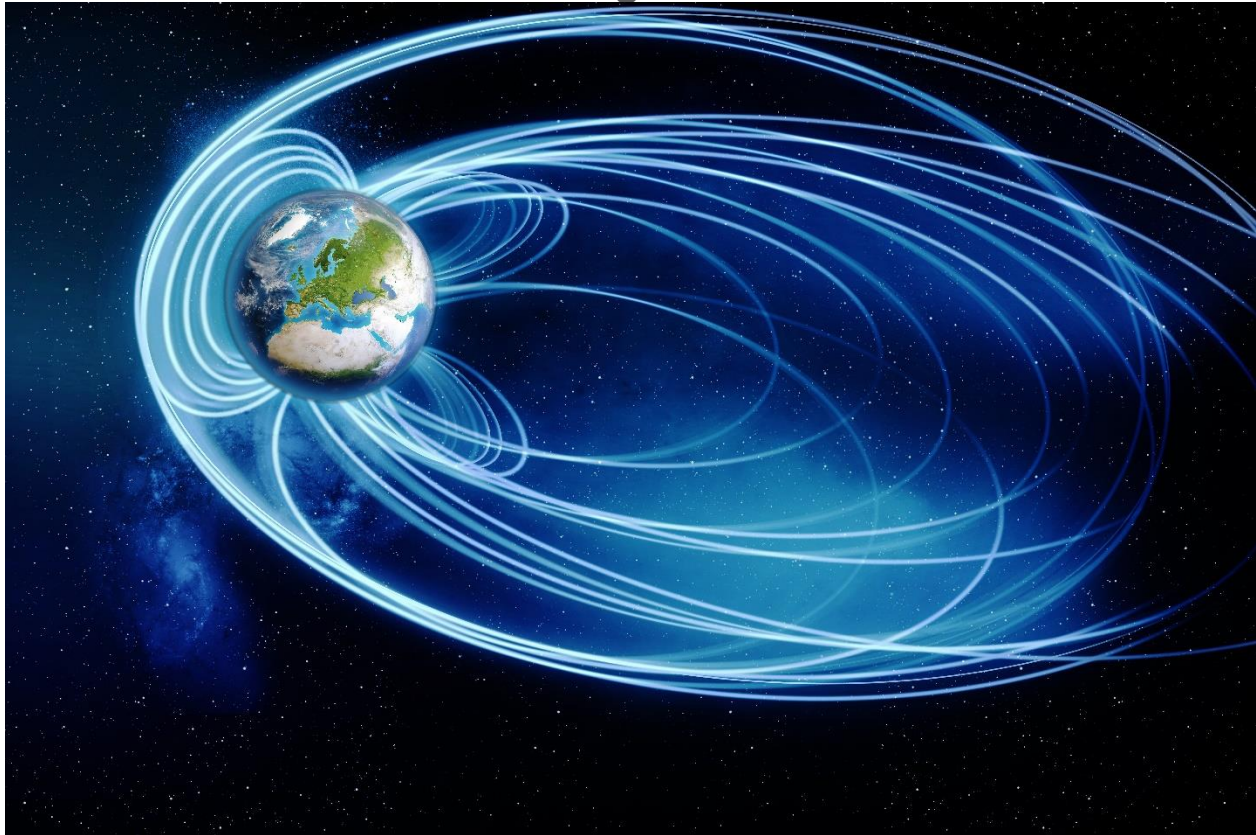


## Erdmagnetfeld



Bildquelle: <https://stock.adobe.com/de/images/magnetosphere-des-planeten-erde-elements-of-this-image-furnished-by-nasa/245507396>

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungsniveau	Durchführungsniveau	Vorbereitung
Teil 1: Sek. 1 Teil 2: Sek. 2	Magnetismus	Natürlicher Magnetismus	• ••	•• ••	10 Min. 10 Min.

### Aufgabenstellung

Wie modelliert man die Magnetfeldlinien der Erde? Wie verändert sich die Feldstärke in Relation zum Standort? Wie hilft das Erdmagnetfeld bei der Navigation?

## 1. Hintergrund Teil 1

Alle magnetischen Objekte erzeugen unsichtbare Kraftlinien, die die Pole des Objekts verbinden. Obwohl das Magnetfeld der Erde den Anschein erweckt, dass es in der Nähe des Erdmittelpunkts einen starken Stabmagneten gibt, existiert ein solcher Stabmagnet nicht. Das Magnetfeld der Erde wird durch eine komplexe Wechselwirkung zwischen den Konvektionsströmen im geschmolzenen äußeren Kern und dem festen inneren Kern erzeugt, die beide große Mengen an ferromagnetischen Metallen wie Eisen, Nickel und Kobalt enthalten.

Der magnetische Nordpol und der geografische Nordpol sind unterschiedlich. Der magnetische Nordpol ist der Punkt, an dem das geomagnetische Feld im Norden senkrecht steht, das heißt, die magnetische Neigung beträgt  $90^\circ$ . Kompassnadeln zeigen im Allgemeinen auf den magnetischen Nord- und Südpol der Erde. Der magnetische Nordpol und der geografische Nordpol befinden sich nicht am selben Ort. Im Jahr 2005 befand sich der magnetische Nordpol bei  $82,7^\circ\text{N}$  und  $114,4^\circ\text{W}$  und der geografische Nordpol liegt per Definition bei  $90^\circ\text{N}$  und  $0^\circ\text{W}$ . Der magnetische Nordpol der Erde ist kein fester Punkt, sondern bewegt sich ständig. In den letzten 100 Jahren hat sich der magnetische Nordpol der Erde etwa 600 Meilen nach Norden gewandert, bis zu seinem heutigen Standort in der kanadischen Arktis.

Was sind magnetische Umkehrungen? Wenn man bedenkt, dass sich Schiffe, Flugzeuge und Spähtrupps daran orientieren, ist das Magnetfeld der Erde weniger zuverlässig, als man denken würde. Gesteinsbrocken in einem alten Lavastrom in Oregon deuten darauf hin, dass sich der magnetische Norden vor etwa 16 Millionen Jahren für eine kurze Zeit um bis zu 6 Grad pro Tag verschoben hat. Nach etwas mehr als einer Woche hätte eine Kompassnadel in den Vereinigten Staaten nach Mexiko-Stadt gezeigt. Nach denselben Daten hat die Lava das Magnetfeld der Erde dabei erwischt, sich umzukehren. Das zeigt, dass sich der magnetische Norden nach Süden bewegte und sich das Magnetfeld in etwa 1.000 Jahren komplett umkehrte. Geologische Beweise in Form der "paläomagnetischen" Aufzeichnungen bestätigen, dass solche Umkehrungen in der Erdgeschichte viele Dutzend Mal stattgefunden haben. Heute kann die Ausbreitung des Meeresbodens gemessen werden, indem die magnetischen Umkehrungen im Krustengestein in beide Richtungen von der divergierenden Grenze des Mittelatlantischen Rückens kartiert werden. Wenn man die Breite eines Gesteinsbands mit ähnlicher Polarität und die Zeit kennt, die es für seine Entstehung brauchte, kann man die Geschwindigkeit bestimmen, mit der sich die Platte bewegt hat.

## 2. Materialien und Ausrüstung

### Teil 1:

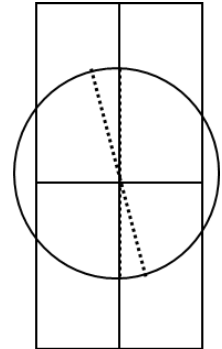
- Smart Magnetfeldsensor
- Stabmagnet
- Druckvorlagen siehe Anhang 1 & 2
- Magnetfeld-Demonstrationsplatten

### Teil 2:

- Smart Magnetfeldsensor
- Smart Drehbewegungssensor
- Null-Magnetfeld Kammer
- Stativmaterial (nicht magnetisch, d.h. z.B. aus Edelstahl)
- Kompass und Wasserwaage

### 3. Versuchsablauf Teil 1a

- 1) Lege die vier Magnetfeld-Demonstrationsplatten zu einem großen Rechteck über die Vorlage der Erde.
- 2) Platziere nun den Stabmagnet über den Platten so, dass er mit dem eingezeichneten Magneten übereinstimmt.
- 3) Stelle sicher, dass der Magnet richtig orientiert ist. Der Südpol des Magneten sollte zum Nordpol der Erde zeigen.

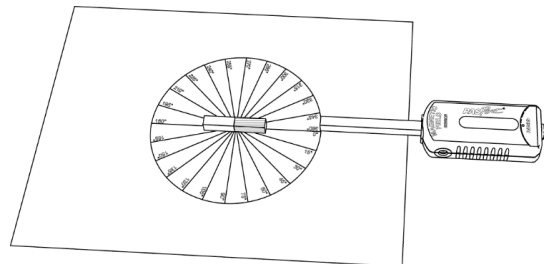


### 4. Fragen zu Teil 1a

- 1) Warum zeigt der Südpol des Magneten zum Nordpol der Erde?
- 2) Beschreibe das Muster, das die Stäbchen der Magnetfeldplatten erzeugen.
- 3) Zeichne das Muster auf die Vorlage. Achte auf die Orientierung der Stäbchen und zeichne diese mit ein.

### 5. Versuchsablauf Teil 1b

- 1) Starte SPARKvue und wähle „Manuelle Eingabe“.
- 2) Verbinde den Magnetfeldsensor über das Bluetooth Symbol oben rechts.
- 3) Über der linken Spalte klicke auf „x“ und ändere den Namen auf Winkel und die Einheit auf „°“.
- 4) In der Tabelle geben die Werte 0 bis 360 in 15° Schritten in die linke Spalte ein.
- 5) Über der rechten Spalte wähle „y“ aus und im rechts aufklappenden Menü auf die Einheit „G“ hinter im Feld „Magnetische Feldstärke X“. Wähle die Einheit „mT“ aus.
- 6) Wiederhole Schritt 5 mit der y-Achse des Graphen.
- 7) Platziere den Sensor mit dem kleinen Punkt auf der Spitze bei der 0° Position auf dem Kreisumfang. Halte bei den Messungen den Punkt auf dem Kreisumfang.
- 8) Starte die Messung mit dem grünen Knopf



unten.

- 9) Bestätige den Messwert des Magnetfeldsensors mit dem grünen Häkchen.
- 10) Lege den Sensor  $15^\circ$  weiter auf die nächste Position und bestätige die Messung mit dem grünen Häkchen. Wiederhole bis du einmal um den Magneten herumgekommen bist. Die letzte Messung ist bei  $360^\circ$ .
- 11) Beende die Messung mit dem roten Quadrat.

## 6. Datenanalyse und Fragen zu Teil 1

- 1) Welcher Messwert hat die höchste bzw. niedrigste gemessene Wert?
- 2) Einige Messwerte sind positiv und andere negative. Was sagt dies über die Polarität aus?
- 3) Wie ändert sich das Erdmagnetfeld? Begründe deine Aussage mit deiner Messung.
- 4) Wie würde die Kurve aussehen, wenn der Magnet andersherum orientiert gewesen wäre?

## 7. Einführung Teil 2

Größe und Richtung des Erdmagnetfelds werden in diesem Teil mit dem Smart Magnetfeldsensor gemessen, der auf dem Smart Drehbewegungssensor montiert ist. Der Smart Magnetfeldsensor wird je einmal um 720° horizontal und vertikal gedreht. Dies ermöglicht die Bestimmung der horizontalen Komponente, des Gesamtfeldes und des Neigungswinkels des Erdmagnetfeldes. Um eine quantitative Messung durchführen zu können, muss der Magnetfeldsensor mit der Null-Magnetfeld Kammer kalibriert werden.

## 8. Hintergrund Teil 2

Die Stärke des Erdmagnetfeldes variiert von Ort zu Ort. Die horizontale Komponente zeigt zum magnetischen Nordpol. Das Magnetfeld steht aber in einem Winkel zur horizontalen Erdoberfläche. Dieser Winkel  $\theta$  wird als Neigungswinkel bezeichnet.

$$\cos \theta = \frac{B_{\text{Horizontal}}}{B_{\text{Gesamt}}}$$

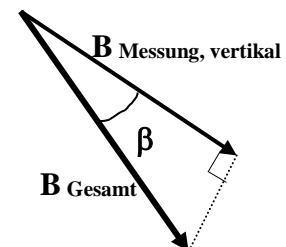
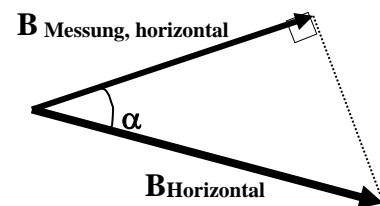
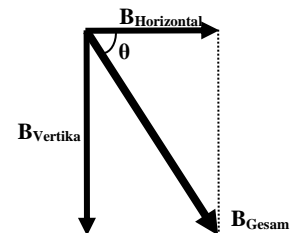
In diesem Versuch wird die Magnetfeldkomponente, die parallel der Sensorlängsachse („Magnetische Feldstärke X“) verläuft, erfasst. Wird der Sensor in der horizontalen Ebene gedreht, erfasst der Sensor den Anteil von  $B_{\text{Horizontal}}$ , der entlang des Sensors verläuft und sich wie folgt beschreiben lässt:

$$B_{\text{Messung, horizontal}} = B_{\text{Horizontal}} \cdot \cos \alpha$$

Wenn der Sensor in der vertikalen Ebene gedreht wird, in der  $B_{\text{Gesamt}}$  liegt, dann misst der Sensor den Anteil  $B_{\text{Messung, vertikal}}$  an  $B_{\text{Gesamt}}$ , der parallel zur Sensorlängsachse ist. Dieser Anteil lässt berechnen aus:

$$B_{\text{Messung, vertikal}} = B_{\text{Gesamt}} \cdot \cos \beta$$

Der Winkel  $\theta$  gegenüber der Horizontalen, bei dem  $B_{\text{Messung, vertikal}}$  maximal ist ( $\beta = 0$ ), ist der Neigungswinkel.



## 9. Versuchsaufbau

HINWEIS: Während des Versuchs muss mit den Sensoren der größtmögliche Abstand zu allen Quellen (elektro-)magnetischer Felder (Strom, Computer, Dauermagnete etc.) gehalten werden. Zudem sollte auch der Abstand zu ferromagnetischen Materialien (Eisen,

Stühle, Tische usw.) so groß wie möglich sein. Dies ist für gute Ergebnisse unerlässlich, da das Erdmagnetfeld um ein Vielfaches kleiner ist als das Feld eines Kühlschranksmagnets.

- 1) An den Smart Magnetfeldsensor wird der beiliegende Stativstab geschraubt. Alle Aufsätze werden vom Smart Drehbewegungssensor heruntergenommen. Der Smart Magnetfeldsensor wird nun mit Hilfe des Stativstabs auf die Welle des Smart Drehbewegungssensor gesteckt. Achten Sie auf die Nut auf der Welle und die Feder im Stativstab. Der Drehbewegungssensor wird auf einem Stativ möglichst hoch über allen Störeinflüssen montiert.
- 2) SPARKvue starten und Messwerte auswählen. Den Smart Drehbewegungssensor und den Smart Magnetfeldsensor mit SPARKvue verbinden. Als Messwert nur „Magnetische Feldstärke X“ ausgewählt lassen. Keine Messwerte des Smart Drehbewegungssensor auswählen. Eine graphische Darstellung starten.
- 3) Die Messrate auf 20 Hz einstellen. Bei der x-Achse die „Zeit (s)“ mit dem „Winkel (°)“ austauschen. Die Einheit der „Magnetische Feldstärke X“ von Gauss „G“ auf die Einheit „mT“ ändern. Eventuell muss auf kleinen Bildschirmen die Werkzeugleiste für den Graphen zuerst eingeklappt werden.

## 10. Messung des horizontalen Anteils des Erdmagnetfelds

- 1) Der Magnetfeldsensor wird mit dem Kompass nach Westen ausrichten. Den Kompass entfernen, damit er die Messung nicht stört. Die Ebene, in der gedreht wird, sollte mögliche horizontal verlaufen. Eine Abweichung um wenige Grad hat jedoch keinen merklichen Einfluss auf die Messgröße. Wohl aber auf den Neigungswinkel.
- 2) Der Magnetfeldsensor wird senkrecht zum Erdmagnetfeld gedreht. Dann wird die Null-Magnetfeld Kammer über den Sensor gesteckt. Die hochpermeable Ummantelung der Null-Magnetfeld Kammer leitet Magnetfelder um die Kammer herum. In SPARKvue klicken Sie unten links auf die Messwertvorschau des Sensors. Dann einfach „Sensor nullen“ auswählen. Das Erdmagnetfeld liegt in der Größenordnung einiger hundertstel  $mT$  und das Rauschen des Sensors liegt in der gleichen Größenordnung. Die Durchführung und das Ergebnis werden jedoch kaum beeinträchtigt.
- 3) Der Sensor wird nach Norden ausgerichtet und eine Messung gestartet. Der Sensor wird dreimal ( $720^\circ$ ) gedreht und die Messung beendet. Auf eine positive Drehrichtung (Smart siehe Drehbewegungssensor) sollte geachtet werden.
- 4) Schritt 3 sollte dreimal wiederholt werden.

## 11. Messung des vertikalen Anteils des Erdmagnetfelds

- 1) Damit der Smart Magnetfeldsensor sich in der vertikalen Ebene drehen kann, wird der Smart Drehbewegungssensor vom Stativstab genommen und um  $90^\circ$  gedreht wieder montiert. Der Magnetfeldsensor soll sich in der Nord-Süd-Ebene des Erdmagnetfelds drehen.

- 2) Zu Anfang jeder Messung sollte der Smart Magnetfeldsensor waagrecht mit einer Wasserwaage ausgerichtet werden.
- 3)

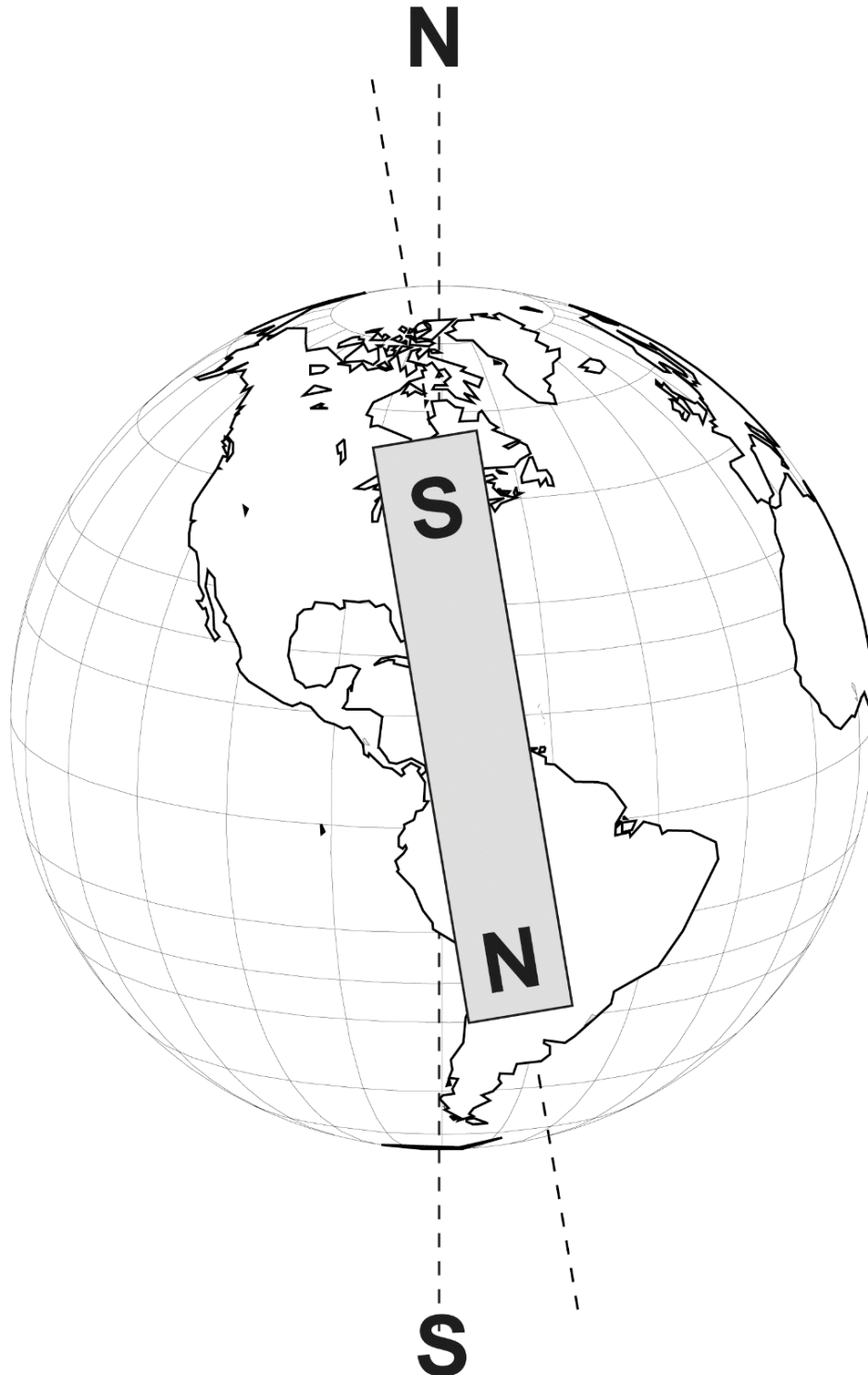
## 12. Auswertung

Multiple-Choice Fragen (nur bei amerikanischen Versuchsanleitungen vorhanden)

## 13. Fragen zu Teil 2

Lückentext (nur bei amerikanischen Versuchsanleitungen vorhanden)

## 14. Anhang 1: Karte des Erdmagnetfelds





**15. Anhang 2: Gradscheibe**

