

Messung des Erdmagnetfeldes

Prof. Dr. rer. nat. habil. E. Döpel
Prof. Dr.-Ing. habil. O. R. Hofmann
Dipl.-Lehrer B. Kley

gültig für die Studiengänge AT, TI, KMT im Fachbereich ET/IT
 MB, ME im Fachbereich MB
 FT, AO, PiUS, WT im Fachbereich SciTec
 MT, BT im Fachbereich MT

| | Bearbeiter 1 | 2 | 3 |
|---|--------------|---|---|
| Name, Vorname | | | |
| Matrikel-Nr. | | | |
| Studiengang | | | |
| Prakt-GrNr | | | |
| Datum der Ver- suchsdurchführung | | | |
| Unterschrift | | | |
| Betreuer | | | |
| Vortestat Bestätigung der Messwerte | | | |
| Testat- Protokoll | | | |

1 Vorbemerkungen und Zielstellung

Nach dem bisherigen Erkenntnisstand erzeugt die Bewegung von Ladungen im Erdinneren das magnetische Feld der Erde. An der Erdoberfläche ist es in guter Näherung von der Form eines magnetischen Dipols. Die Drehachse der Erde und die magnetische Achse fallen nicht zusammen. Der magnetische Südpol liegt z.B. im Gebiet NW-Grönland/NO-Kanada (Abb.1). In größeren Höhen ist das Magnetfeld der Erde durch den von der Sonne kommenden Strom geladener Teilchen (Sonnenwind) deformiert - es ist sonnenseitig komprimiert, schattenseitig entsteht ein magnetischer Schweif (Abb.1). Das Magnetfeld schützt die Erde vor dem Aufprall der hochenergetischen Teilchen des Sonnenwindes.

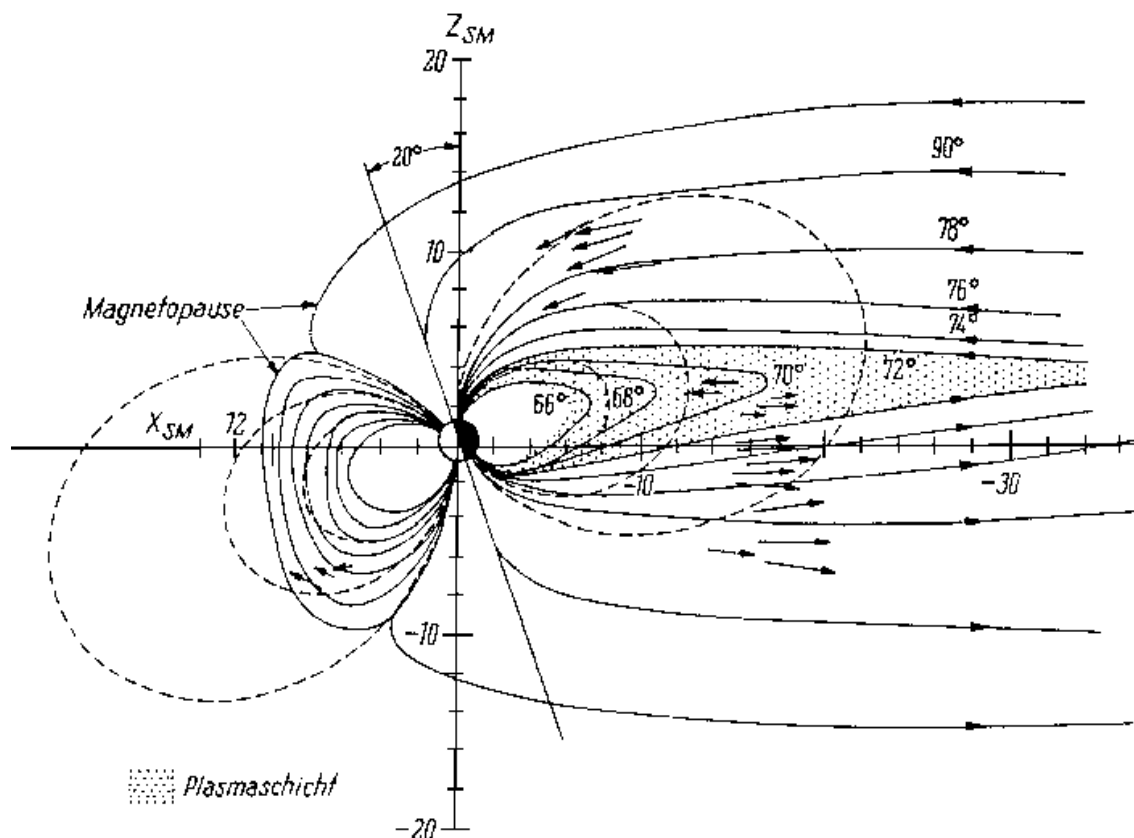


Abb. 1 : Magnetosphärisches Magnetfeldmodell auf Grund von Messungen nach FAIRFIELD (Mittags- Mitternachts-Ebene). Kompression des Feldes auf der Tagseite und weit nach hinten in den Schweif gehende Feldlinien sind klar erkennbar. Die Zahlen auf den Schweiffeldlinien geben die geomagnetische Breite der Feldlinienfußpunkte an.

Betrachtet man einen beliebigen Punkt auf der Erdoberfläche als Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems (x, y, z) , so hat die (vektorielle) magnetische Flußdichte \vec{B} allgemein die horizontalen Komponenten B_x und B_y sowie die vertikale Komponente B_z . Der Ein- bzw. Austrittswinkel der magnetischen Feldlinien bezüglich der Erdoberfläche heißt Inklination.

Aus den Messwerten für den Betrag der Horizontalkomponente des Magnetfeldes wurde eine geomagnetische Landkarte erstellt (Abb. 2, B angegeben in nT). Hier erkennt man an den auftretenden lokalen Polen, dass auch an der Erdoberfläche das Magnetfeld Abweichungen von einem Dipolfeld zeigt.

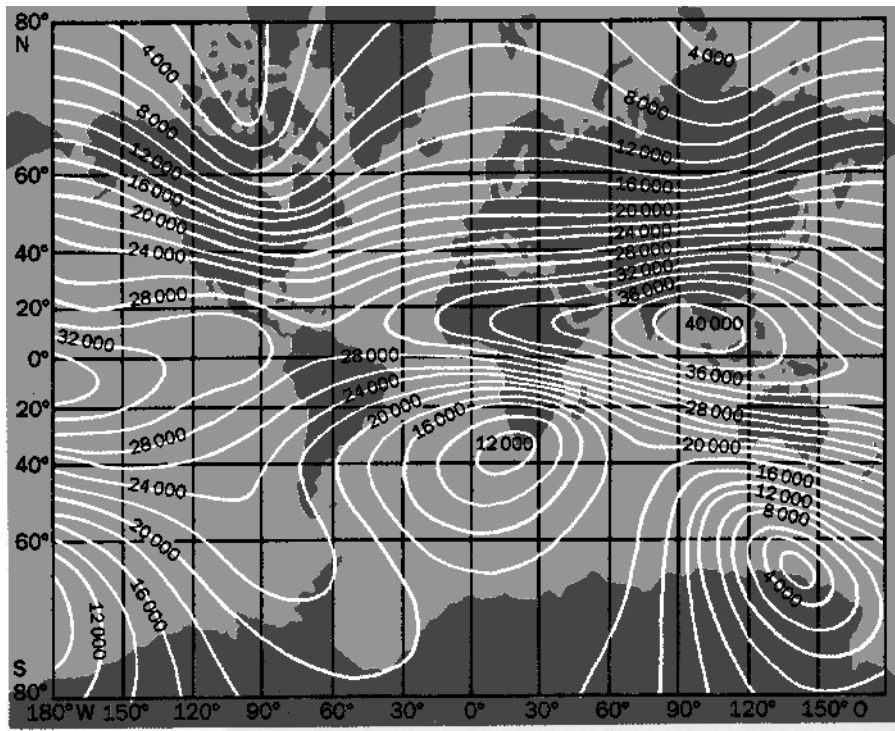


Abb. 2: Geomagnetische Karte der horizontalen magnetischen Flussdichte (Werte in 10^{-9}Vs/m^2)

Die Zielstellung des Versuches besteht darin, die Komponenten des Erdmagnetfeldes mit Hilfe einer Induktionsspule auszumessen und daraus Betrag und Inklination der magnetischen Flussdichte \vec{B}_E zu bestimmen.

2 Physikalische Grundlagen

Wenn eine kreisförmige Leiterschleife der Fläche $A = \pi \cdot R^2$ in einem homogenen Magnetfeld \vec{B} um den Durchmesser als Achse mit der Winkelgeschwindigkeit ω gleichförmig rotiert, ändert sich der magnetische Fluss Φ gemäß der Beziehung

$$\Phi(t) = B \cdot A \cdot \cos \alpha(t) = B \cdot \pi R^2 \cdot \cos \omega t.$$

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Drehachse senkrecht auf \vec{B} steht. Mit dem Induktionsgesetz erhält man die in den N Windungen einer Spule induzierte Spannung

$$U_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = N B \pi R^2 \omega \sin \omega t.$$

Das ist eine Wechselspannung mit dem Scheitelwert

$$\hat{U} = N B \pi R^2 \omega.$$

Ersetzt man ω durch die Drehzahl $n = \omega / 2\pi$, so erhält man

$$\hat{U} = a \cdot n \cdot B \quad \text{mit} \quad a = 2 \pi^2 N R^2. \quad (1)$$

Wenn die Drehachse der Spule in die z -Richtung eines kartesischen Koordinatensystems zeigt, beträgt die im Erdmagnetfeld $\vec{B}_E = (B_x, B_y, B_z)$ induzierte Spannungsamplitude U_z (Abb. 3)

$$\hat{U}_z = a \cdot n \cdot \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (2)$$

Aus Symmetriegründen erhält man analog für die Orientierung der Drehachse x - bzw. y -Richtung

$$\hat{U}_x = a \cdot n \cdot \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad \text{und} \quad \hat{U}_y = a \cdot n \cdot \sqrt{B_z^2 + B_x^2}. \quad (3-4)$$

Durch Auflösen des Gleichungssystems (2-4) kann man die Beträge der Komponenten des Erdmagnetfeldes

$$B_x^2 = \frac{-\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 + \hat{U}_z^2}{2 a^2 n^2}, \quad B_y^2 = \frac{\hat{U}_x^2 - \hat{U}_y^2 + \hat{U}_z^2}{2 a^2 n^2}, \quad B_z^2 = \frac{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 - \hat{U}_z^2}{2 a^2 n^2} \quad (5-7)$$

berechnen. Daraus erhält man den Betrag der magnetischen Flussdichte

$$B_E = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} = \frac{\sqrt{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 + \hat{U}_z^2}}{a \cdot n \cdot \sqrt{2}} \quad (8)$$

und den Inklinationswinkel ψ

$$\tan \psi = \frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} = \sqrt{\frac{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 - \hat{U}_z^2}{2 \hat{U}_z^2}}. \quad (9)$$

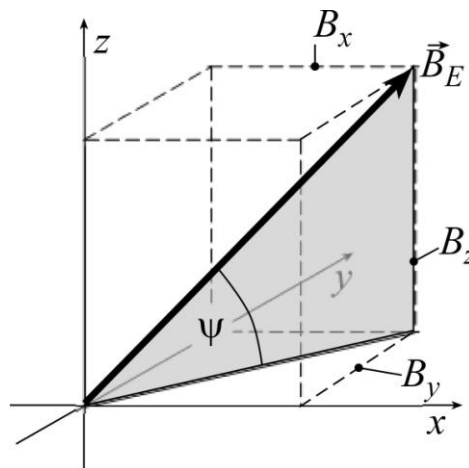


Abb. 3: Darstellung eines kartesischen Koordinatensystems, der Drehachsen der Induktionsspule, der Komponenten von \vec{B}_E und des Inklinationswinkels ψ .

3 Versuchsdurchführung

Der Versuch ist entsprechend Abb. 4 aufgebaut bzw. aufzubauen.

Als Geräte stehen zur Verfügung: Experimentiermotor 100 W
Steuergerät für Experimentiermotor
Multimeter mit Min/Max-Speicher
Deklinatorium / Inklinatorium

Die Messung des Magnetfeldes ist an einem Punkt vorzunehmen, wo die Verzerrung des Erdmagnetfeldes durch die Anwesenheit von (magnetisiertem) Eisen möglichst schwach ist.

Als Zuleitung zur Leiterschleife dienen zwei lange, miteinander verdrehte Kabel.

Die Drehachse wird für die in x -, y - und z -Richtung vorzunehmenden Messungen so angeordnet, dass sich der Mittelpunkt der Leiterschleife jedesmal am selben Punkt im Raum befindet.

Das Multimeter wird auf Millivolt Gleichspannung gestellt und die Kabel an den entsprechenden Buchsen angeschlossen. Es besitzt einen Speicher, in dem die Maximal- und Minimalwerte der induzierten Wechselspannung gespeichert werden können. Dabei ist wichtig, diesen Min/Max-Speicher erst nach etwa zwei Umdrehungen der Spule zuzuschalten. Beim Einschalten des Motors ändert sich nämlich der Fluss durch die Spule zunächst sehr stark, und es werden höhere Spannungen induziert als bei einer gleichförmigen Rotation der Spule.

Bedienung des Speichers:

Speicher zuschalten

MIN MAX

Speicherinhalt einfrieren

HOLD

Speicherinhalt auslesen

MIN MAX

(liest die Werte MAX, MIN, AVR zyklisch aus)

Speicher ausschalten und löschen: kurz nacheinander **SETUP** **CANCEL**

Für jede der drei Orientierungen der Drehachse (x, y, z) sind mindestens 5 verschiedene Drehzahlen im Bereich $n = 0,2 \dots 0,5 \text{ s}^{-1}$ einzustellen und genau zu vermessen sowie die zugehörigen Scheitelwerte der induzierten Spannung zu messen. Die Drehzahl ist dazu von Null beginnend vorsichtig auf die gewünschte Drehzahl n (Umdrehungen/Sekunde) zu steigern. Dabei wickelt sich die Zuleitung zur Leiterschleife langsam um die Drehachse. Das verdrehte Experimentierkabel ist von Hand so zu führen, dass die Zuleitung während der Drehung der Leiterschleife nicht in das Bohrfutter gerät. Der Motor ist rechtzeitig anzuhalten bzw. sein Drehsinn rechtzeitig umzukehren.

Zuerst wird die Spannung \hat{U}_z bei vertikaler Orientierung der Drehachse (z -Richtung) ermittelt. Die Spule steht dabei am Fußboden. Danach wird der Versuchsaufbau auf den ersten Tisch gestellt. Die Feststellschraube (1) (vgl. Abb. 4) wird gelöst und die Drehachse in die Waagerechte gekippt. Der Versuch wird nun mit Orientierung der Drehachse in y -Richtung wiederholt. Schließlich wird der Motor mit Leiterschleife auf den anderen Tisch gestellt, wobei seine Achse in x -Richtung orientiert, also gegenüber vorherigen Ausrichtung um genau 90° verdreht ist. In jeder dieser drei Orientierungen sind für fünf verschiedene Drehzahlen jeweils die Scheitelwerte der zugehörigen Spannungen zu messen.

Hinweis: Die horizontale Ausrichtung der Drehachse ist so vorzunehmen, dass diese über dem Motor liegt.

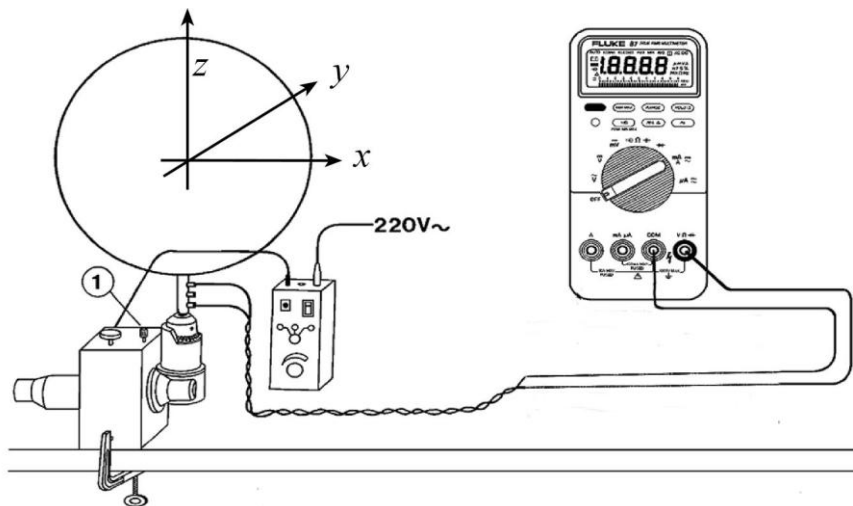


Abb. 4 Versuchsaufbau zur Messung des Erdmagnetfeldes.

4 Aufgabenstellung, Protokoll der Messwerte und Auswertung

1) Bestimmung des Spulendurchmessers, der Windungszahl der Spule und Berechnung des Parameters a

| Spulen- \varnothing $2R$ | Spulenzahl N | Windungszahl N | $a = 2 \pi^2 N R^2$ |
|----------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| | | | |

2) Messung der Umdrehungszeit der Spule und der Amplitude der maximal induzierten Spannung jeweils für 5 verschiedene Drehzahlen im Bereich $n = 0,2 \dots 0,5 \text{ s}^{-1}$ und für die Ausrichtung der Spulenchse in die z -, y - und x -Richtung. (Beachte: $\hat{U}_x = \Delta U_x / 2$ usw.)

Orientierung der Drehachse in z -Richtung

| Anzahl der Umdrehungen | Zeit | Drehzahl n | U_{\max} | U_{\min} | \hat{U}_z |
|------------------------|------|--------------|------------|------------|-------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

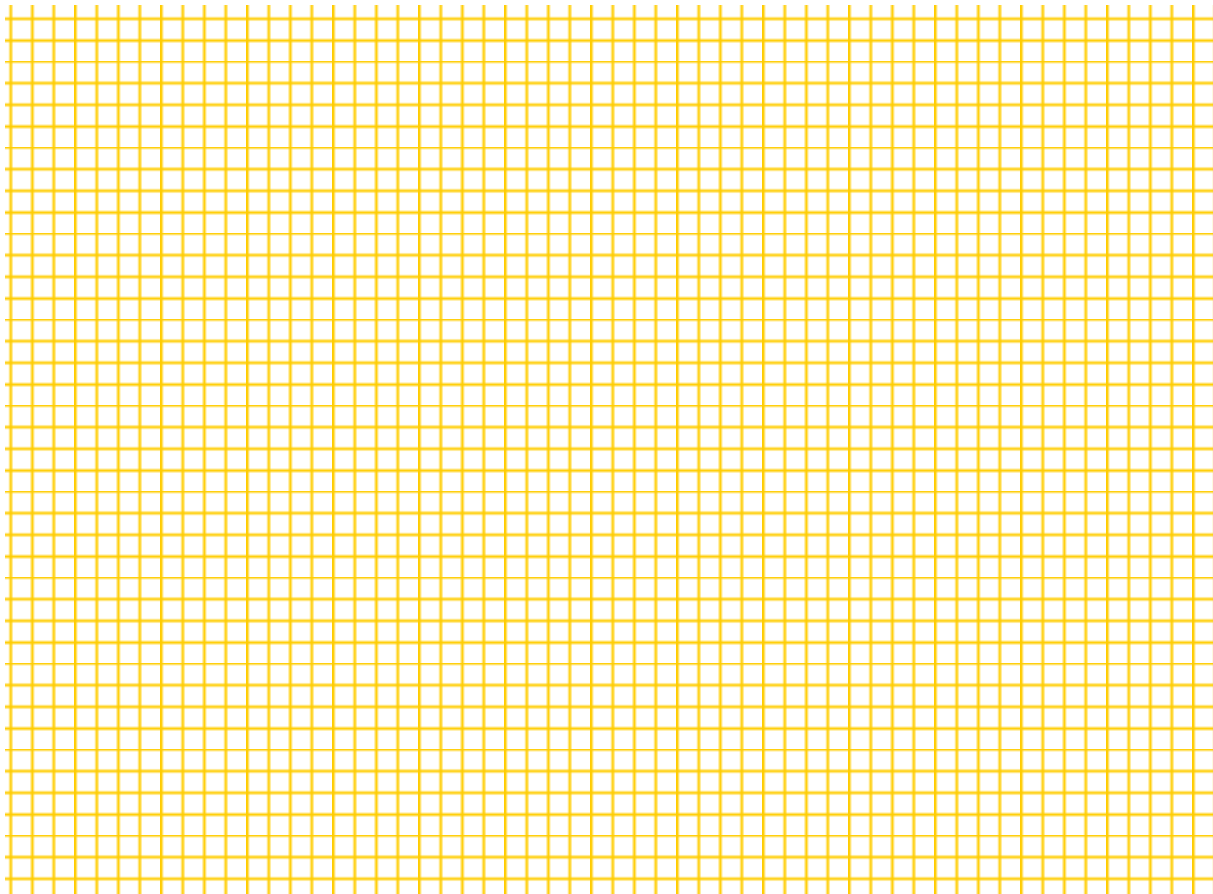
Orientierung der Drehachse in y -Richtung

| Anzahl der Umdrehungen | Zeit | Drehzahl n | U_{\max} | U_{\min} | \hat{U}_y |
|------------------------|------|--------------|------------|------------|-------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Orientierung der Drehachse in x -Richtung

| Anzahl der Umdrehungen | Zeit | Drehzahl n | U_{\max} | U_{\min} | \hat{U}_x |
|------------------------|------|--------------|------------|------------|-------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

3) Grafische Darstellung der gemessenen Abhängigkeiten $\hat{U}_x(n), \hat{U}_y(n)$ bzw. $\hat{U}_z(n)$.



4) Für eine ausgewählte Drehzahl n_0 sind die Spannungswerte \hat{U}_x, \hat{U}_y und \hat{U}_z aus dem Diagramm zu entnehmen und den folgenden Berechnungen des Betrages B_E der magnetischen Flussdichte des Erdmagnetfeldes und seine Inklinationwinkels ψ zugrunde zu legen. Wahlweise können diese Spannungswerte auch durch lineare Regression ermittelt werden.

| a | n_0 | $\hat{U}_x(n_0)$ | $\hat{U}_y(n_0)$ | $\hat{U}_z(n_0)$ |
|-----|-------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | |

Ergebnisse:

| Formel | Wert |
|----------|------|
| $B_E =$ | |
| $\psi =$ | |

5) Bestimmung des Inklinationwinkels mit dem Deklinatorium/Inklinatorium

| |
|----------|
| $\psi =$ |
|----------|

6) Diskussion der möglichen Fehler und Fehlerursachen.

5 Schwerpunkte zum Kolloquium

- Erdmagnetfeld
- Gravitationsgesetz
- Keplersche Gesetze
- Allgemeinwissen zum Planet Erde
- Grundbegriffe zum magnetischen Feld und zur Induktion
- Kraftwirkung auf elektrische Ladungen im elektrischen und magnetischen Feld
- Induktionsgesetz und seine Anwendungen

6 Literatur

Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, 3. Auflage, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
1989

Gerthsen: Physik, 16. Auflage, Springer-Verlag Berlin u.a. 1989

Stroppe, H.: Physik für Studenten der Natur - und Technikwissenschaften, 9. Auflage,
Fachbuchverlag Leipzig - Köln 1992