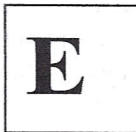


EINGEGANGEN 12. Mai 2010

Fachhochschule Jena, Fachbereich Grundlagenwissenschaften (GW)

PRAKTIKUMSANLEITUNG  
VERSUCH ERDMAGNETFELD



Bearbeiter : O.R.Hofmann, E. Döpel

Version 21.09.2009

## 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	Goldbach Michael	Döflinger Jürgen	
Matrikel-Nr.	631430	631551	
Studiengang	KMT	KMT	
Prakt-GrNr	17	17	
Datum der Versuchsdurchführung	05.05.2010		
Unterschrift			
Betreuer	Dipl.-Lehrer B. Kley		
Vortestat Bestätigung der Messwerte	 (5.5.10) (Spaxelhe)		
Testat-Protokoll	A/Sp (18.5.10)		

## 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.

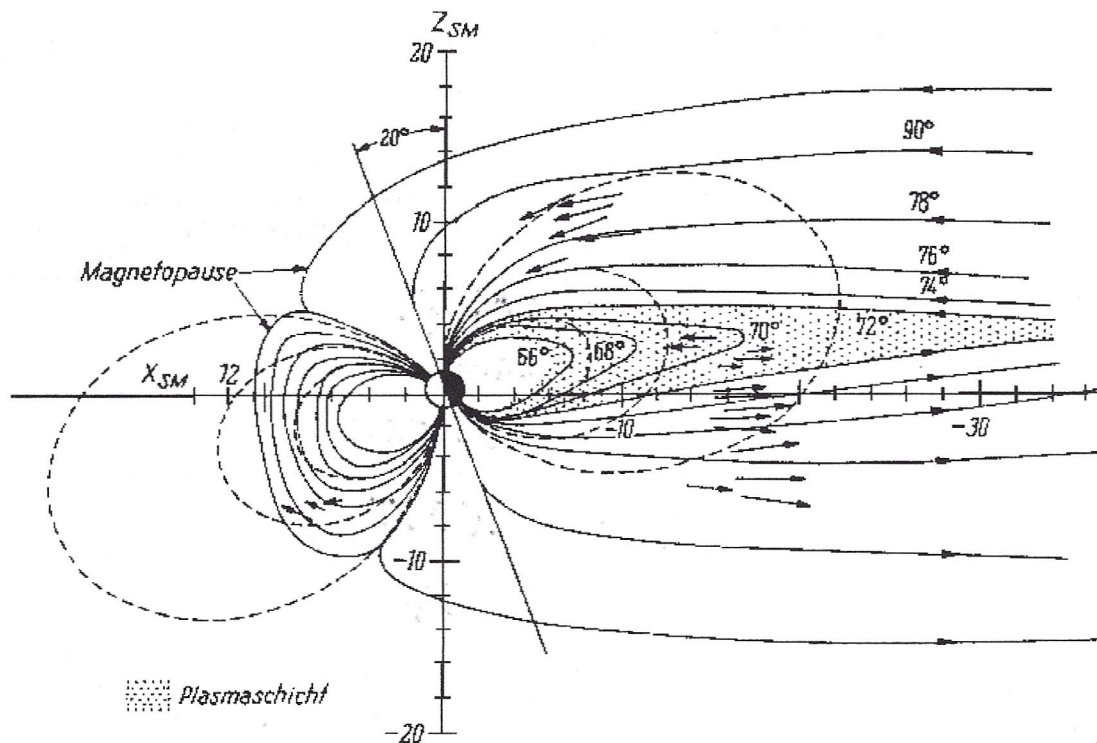


Abb. 1: Magnetosphärisches Magnetfeldmodell auf Grund von Messungen nach FAIRFIELD (Mittags- Mitternachts-Ebene). Kompression des Feldes auf der Tagseite und weit nach hinten in den Schweif gehende Feldlinien sind klar erkennbar. Die Zahlen auf den Schweiffeldlinien geben die geomagnetische Breite der 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,  $B_h$  angegeben in nT). Hier erkennt man an den auftretenden lokalen Polen, dass auch an der Erdoberfläche das Magnetfeld Abweichungen von einem Dipolfeld zeigt.

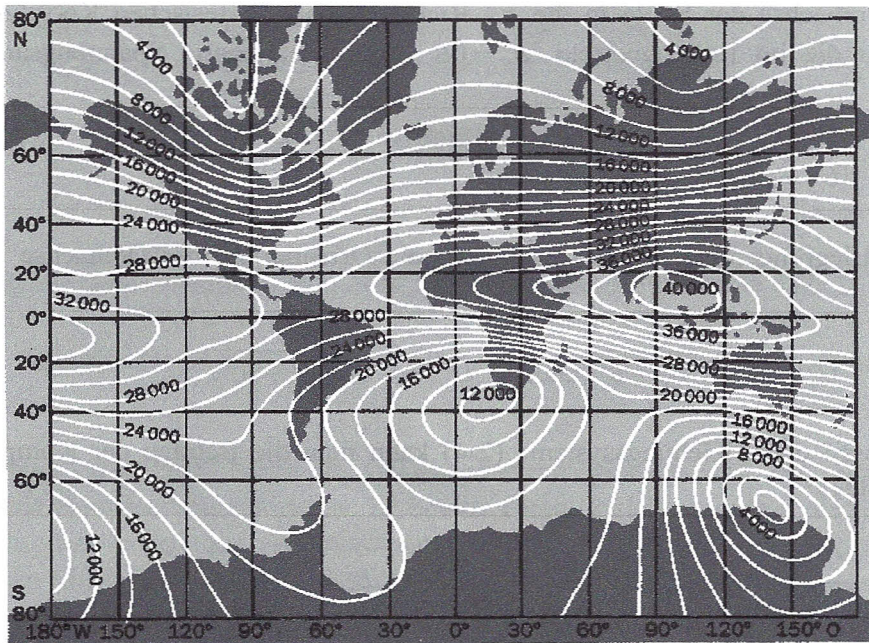


Abb. 2: Geomagnetische Karte der horizontalen magnetischen Flussdichte (Werte in  $10^{-9} \text{ Vs/m}^2$ )

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  $\omega$  gleichförmig rotiert, ändert sich der magnetische Fluss  $\Phi$  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  $\omega$  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  $\psi$

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

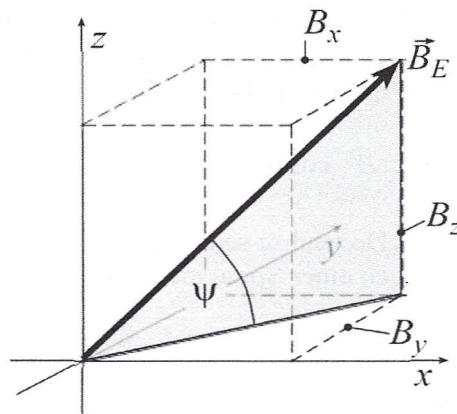


Abb. 3: Darstellung eines kartesischen Koordinatensystems, der Drehachsen der Induktionsspule, der Komponenten von  $\vec{B}_E$  und des Inklinationswinkels  $\psi$ .

### 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

Speicherinhalt einfrieren

Speicherinhalt auslesen

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

Speicher ausschalten und löschen: kurz nacheinander

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  $90^\circ$  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.

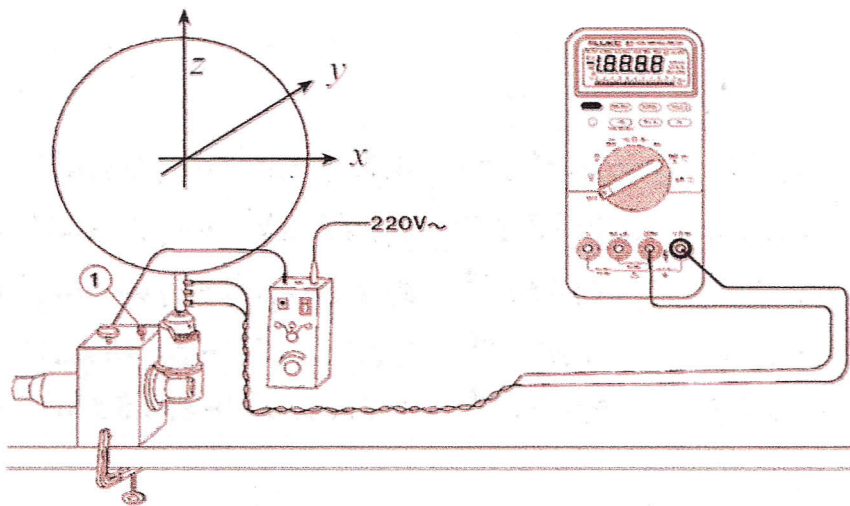


Abb. 4 Versuchsaufbau zur Messung des Erdmagnetfeldes.

#### 4 Aufgabenstellung, Protokoll der Messwerte und Auswertung

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

Spulen- $\varnothing$ $2R$	Spulenzradius $R$	Windungszahl $N$	$a = 2\pi^2 N R^2$
25,6 cm	12,8 cm	80	25,87 m <sup>2</sup>

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 / s	Drehzahl $n$	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$\hat{U}_z$
3	12,46	0,24 s <sup>-1</sup>	0,139 mV	-0,125 mV	0,132 mV
5	10,45	0,48 s <sup>-1</sup>	0,265 mV	-0,246 mV	0,256 mV
4	10,63	0,38 s <sup>-1</sup>	0,207 mV	-0,201 mV	0,204 mV
4	11,53	0,35 s <sup>-1</sup>	0,189 mV	-0,182 mV	0,186 mV
3	12,27	0,25 s <sup>-1</sup>	0,140 mV	-0,130 mV	0,135 mV

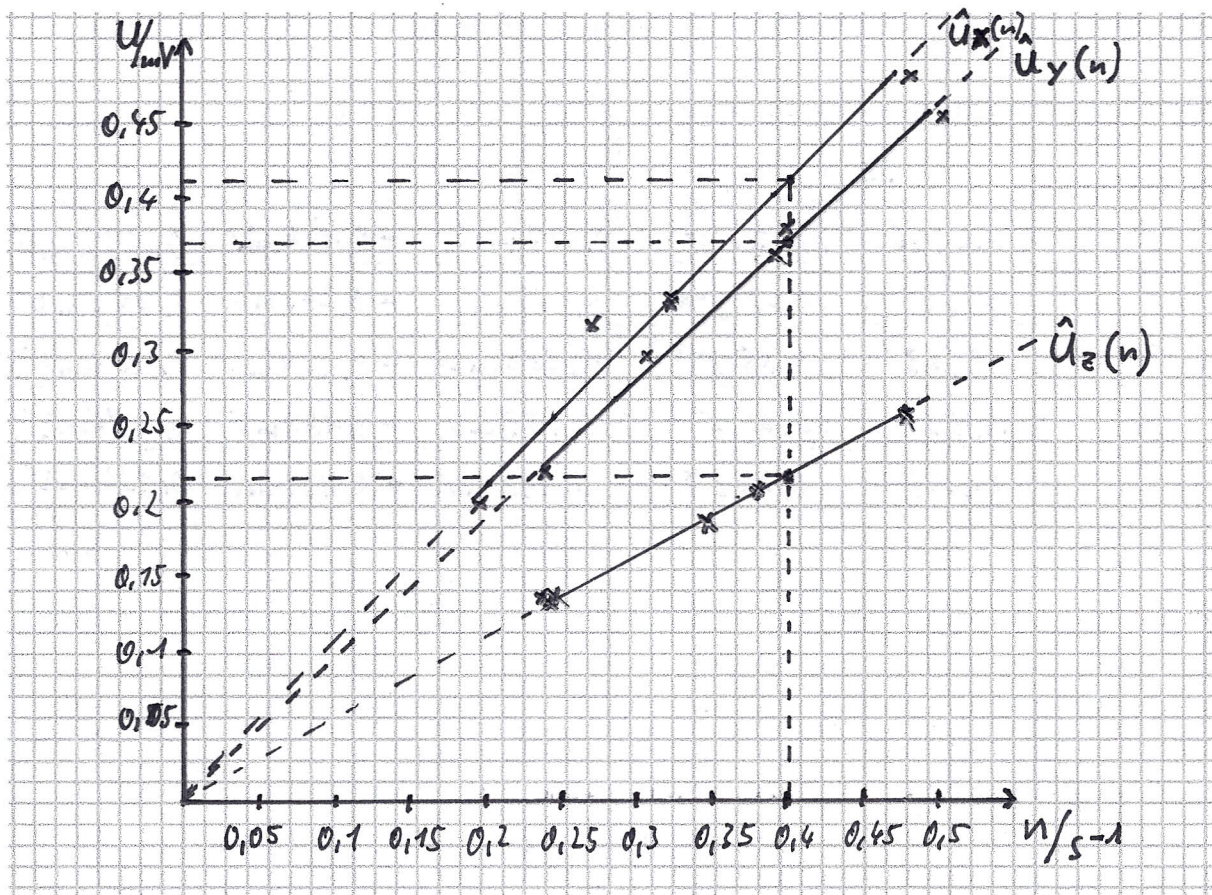
Orientierung der Drehachse in  $y$ -Richtung

Anzahl der Umdrehungen	Zeit /s	Drehzahl $n$	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$\hat{U}_y$
4	12,91	$0,31 \text{ s}^{-1}$	$0,309 \text{ mV}$	$-0,284 \text{ mV}$	$0,297 \text{ mV}$
5	12,99	$0,39 \text{ s}^{-1}$	$0,368 \text{ mV}$	$-0,356 \text{ mV}$	$0,362 \text{ mV}$
6	12,07	$0,50 \text{ s}^{-1}$	$0,470 \text{ mV}$	$-0,440 \text{ mV}$	$0,455 \text{ mV}$
5	12,59	$0,40 \text{ s}^{-1}$	$0,397 \text{ mV}$	$-0,358 \text{ mV}$	$0,378 \text{ mV}$
3	12,58	$0,24 \text{ s}^{-1}$	$0,236 \text{ mV}$	$-0,198 \text{ mV}$	$0,217 \text{ mV}$

Orientierung der Drehachse in  $x$ -Richtung

Anzahl der Umdrehungen	Zeit /s	Drehzahl $n$	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$\hat{U}_x$
3	12,46	$0,24 \text{ s}^{-1}$	$0,139 \text{ mV}$	$-0,125 \text{ mV}$	$0,132 \text{ mV}$
5	10,45	$0,48 \text{ s}^{-1}$	$0,265 \text{ mV}$	$-0,246$	$0,256 \text{ mV}$
4	10,63	$0,38 \text{ s}^{-1}$	$0,207 \text{ mV}$	$-0,201 \text{ mV}$	$0,204 \text{ mV}$
4	11,53	$0,35 \text{ s}^{-1}$	$0,189 \text{ mV}$	$-0,182 \text{ mV}$	$0,186 \text{ mV}$
3	12,27	$0,25 \text{ s}^{-1}$	$0,140 \text{ mV}$	$-0,130 \text{ mV}$	$0,135 \text{ mV}$

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



TESTAT MESSWERTE

05. Mai 2010

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 Inklination  $\psi$  zugrunde zu legen. Wahlweise können diese Spannungswerte auch durch lineare Regression ermittelt werden.

$a$	$n_0$	$\hat{U}_x(n_0)$	$\hat{U}_y(n_0)$	$\hat{U}_z(n_0)$
$25,87 \text{ m}^2$	$0,4 \text{ s}^{-1}$	$0,420 \text{ mV}$	$0,375 \text{ mV}$	$0,220 \text{ mV}$

Ergebnisse:

Formel	Wert
$B_E = \frac{\sqrt{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 + \hat{U}_z^2}}{a \cdot n_0 \cdot \sqrt{2}}$	$B_E = 41,31 \mu\text{T}$
$\psi = \arctan\left(\sqrt{\frac{\hat{U}_x^2 + \hat{U}_y^2 - \hat{U}_z^2}{2 \cdot \hat{U}_z^2}}\right)$	$\psi \approx 59^\circ$

5) Bestimmung des Inklinationwinkels mit dem Deklinatorium/Inklinatorium

$$\psi = 66^\circ$$

6) Diskussion der möglichen Fehler und Fehlerursachen.

siehe Anhang

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

PHYSIK MESSWERTE

05. Mai 2010



## **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

### Korrektur:

Leider ist beim sauberen Abschreiben der Werte in x-Richtung mir ein Fehler unterlaufen. Ich habe die Werte der z-Richtung verwendet. Daher hier die tatsächlich gemessenen Werte der x-Richtung.

Anzahl der Umdrehungen	Zeit / s	Drehzahl n	$U_{\max}$	$U_{\min}$	$\dot{U}_x$
2	6,25	$0,32 \text{ s}^{-1}$	0,330 mV	-0,330 mV	0,330 mV
3	15,71	$0,20 \text{ s}^{-1}$	0,200 mV	-0,190 mV	0,195 mV
3	10,96	$0,27 \text{ s}^{-1}$	0,310 mV	-0,320 mV	0,315 mV
5	10,32	$0,48 \text{ s}^{-1}$	0,474 mV	-0,486 mV	0,480 mV
4	12,12	$0,33 \text{ s}^{-1}$	0,346 mV	-0,318 mV	0,332 mV

### Fehlerdiskussion:

Vergleicht man den Winkel, welcher mit Hilfe des Deklinatorium/Inklinatorium bestimmt wurde mit dem errechneten Wert, so lässt sich keine genaue Übereinstimmung feststellen. Fehler bei beiden Methoden sind die Ursache für diesen Unterschied. Zwar wurde versucht, die Nähe zu (magnetisierten) Metallgegenständen (z.B.: Teile des Tischgestelles, Stahlbeton der Wände) und anderen Magnetfeldern (z.B.: Magnetfelder um Stromkabel), welche das Erdmagnetfeld verzerren, zu meiden. Jedoch ließ sich dies nicht in Gänze realisieren.

Als weiteren Fehler bei der Messung mit dem Deklinatorium/Inklinatorium sind Messfehler zu nennen. So war aufgrund der Skaleneinteilung kein genaues Ablesen des Winkels möglich. Des Weiteren war eine perfekte waagerechte, bzw. senkrechte Ausrichtung nicht genau zu bestimmen.

Auch die Messungen mit der Spule wurde durch die, womöglich, nicht genaue waagerechte, bzw. senkrechte Ausrichtung verfälscht. Ebenso sei zu erwähnen, dass der Mittelpunkt der Spule sich nicht immer im selben Punkt im Raum befunden hat. Auch wenn die Abweichungen nur gering waren. Ein zusätzlicher Messfehler kam bei der Messung des Spulendurchmessers hinzu. Sowohl beim Anlegen, als auch beim Ablesen können kleine Fehler aufgetreten sein. Die Zeitmessung hält einen weiteren Messfehler bereit. Hier sei die Reaktionszeit zu nennen. Wie auch das nicht genaue erkennen der vollen Umdrehung(en).