Versuch 102: Drehschwingungen

Nico Adolph Mario Froböse

Durchführung: 23.10.2014
Abgabe: 30.10.2014

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

In dem Versuch sollen mit Hilfe von Drehschwingungen die elastischen Konstanten eines metallischen Materials und das magnetische Moment eines Permanentmagneten bestimmt werden.

2 Theoretische Grundlagen

Wirken auf einen Körper Kräfte, so kann sich dieser dadurch verformen. Wie und in welchem Maße er das tut, hängt von seinen elastischen Konstanten ab.
Kräfte, die lediglich die Form und das Volumen eines Körpers, nicht jedoch seinen Bewegungszustand verändern, werden in der Physik als Oberflächenkräfte bezeichnet. Sie werden aufgeteilt in Kräfte die senkrecht oder tangential zur Fläche wirken.
Man bezeichnet senkrecht wirkende Kräfte auch als „Normalspannung σ“ [1] oder „Druck P“ [1], da man sie in Bezug zur Fläche setzt, auf die sie einwirken. Tangential wirkende Kräfte nennt man daher auch „Tangential-“ bzw. „Schubspannung τ“ [1]. Diese Spannungen wirken an jedem Querschnitt eines Körpers.
Nimmt ein Körper nach Spannungseinwirkung wieder seine ursprüngliche Form an, so lag die Verformung im Hookeschen Bereich und es handelt sich um eine elastische Deformation. Das Hookesche Gesetz beschreibt dabei Deformationen, bei denen die einwirkende Spannung proportional zur Verformung ist, die der Körper erfährt:

$$\sigma = E\frac{\Delta L}{L} \qquad \text{oder} \qquad P = Q\frac{\Delta V}{V} \qquad [1] \tag{1}$$

Die Volumenänderung wird dabei mit $\Delta V/V$ und die Längenänderung mit $\Delta L/L$ beschrieben.
Auf atomarer Ebene erklärt sich die elastische Deformation so: Die Atome eines festen Körpers sind fest und kräftefrei verteilt, mit einem festen Abstand voneinander. Eine einwirkende Spannung verändert diesen entgegen der Kräfte, die die Atome auf ihrer Position halten. Stellt sich beim Verschwinden der Spannungseinwirkung wieder der ursprüngliche Abstand zwischen den Atomen ein, so ist diese Verformung reversibel, also eine elastische Deformation.
Um das Hookesche Gesetz für ein allgemeines System aufzustellen, sind maximal 36 Konstanten nötig (6 für die Spannung, bestehend aus je 3 Komponenten für die Elastizität des Volumens und der Gestalt und nochmal 6 für die Beschreibung der Verformung, was eine 36 elementige Matrix ergibt).
In dem Versuch sollen die elastischen Konstanten eines isotropen Körpers bestimmt werden, also eines Körpers, dessen Konstanten von der Richtung abhängen.
Dazu sind vier Konstanten notwendig: Das Schub- oder Torsionsmodul G beschreibt die Gestaltselastizität. Die Volumenelastizität wird vom Kompressionsmodul Q angegeben. Die Längenänderung des Körpers durch eine Normalspannung wird vom Elastizitätsmodul E (entlang der Spannungsrichtung) bzw. von der Poissonschen Querkontraktionsszahl μ(senkrecht dazu) charakterisiert.
Die Konstanten hängen durch folgende Gleichungen zusammen:

$$E = 2G(\mu + 1) \qquad [1] \tag{2}$$

$$E = 3(1 - 2\mu)Q \qquad [1] \tag{3}$$

$$\mu := -\frac{\Delta B}{B} \cdot \frac{L}{\Delta L} \qquad [1] \tag{4}$$

wobei B hier für die Breite steht. Um elastische Nachwirkungen(Effekte treten nicht direkt bei oder nach Krafteinwirkung auf) zu vermeiden, wird eine dynamische Messmethode angewandt, um G zu bestimmen. Diese verwendet Drehschwingungen eines tordierenden Drahtes, der mit einer Masse mit Trägheitsmoment θ beschwert ist. Auf den Körper wirken dabei zwei Drehmomente, bedingt durch die Trägheit der Masse und die Torsion des Drahtes. Durch lösen der daraus folgenden Differentialgleichung erhält man die Schwingungsdauer des Systems:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{D}} \qquad [1] \tag{5}$$

Im Versuchsaufbau wird eine Kugel verwendet, das Trägheitsmoment dieser geometrischen Figur berechnet sich durch:

$$\theta_{Kugel} = \frac{2}{5}m_k R_k^2 \qquad [1] \tag{6}$$

Das Schubmodul G kann dann durch die Gleichung

$$G = \frac{16}{5}\pi\frac{m_k R_k^2 L}{T^2 R^4} \qquad [1] \tag{7}$$

welche sich aus den Gleichungen für D, der Periodendauer T und dem Trägheitsmoment der Kugel zusammensetzt.
Hinweis zur experimentellen Bestimmung des Elastizitätsmoduls E:
Der Versuchsteil war nicht vorhanden.
Im Versuch soll auch das magnetische Moment eines Permanetnmagneten bestimmt werden.

Diese Größe ist eine vektorielle Größe bestehend aus der Polstärke p und dem Verbindungsvektor der beiden Pole eines magnetischen Dipols:

$$\vec{m} := p \cdot \vec{a} \qquad [1]$$

Die Konvention schreibt dem Vektor $\vec{a}$ eine Nord-Süd-Richtung vor.
Befindet sich ein magnetischer Dipol in einem homogenen Magnetfeld, wie hier z.B. dem eines Helmholtz-Spulen-Paares, so dreht er sich in Feldrichtung, auf Grund der an den Polen entgegengesetzt einwirkenden Drehmomente. Sein gesamtes Drehmoment ergibt sich dann durch:

$$M_{Mag} = mB\sin\gamma \qquad [1] \tag{8}$$

Der Winkel γ ist dabei der Neigungswinkel des Magneten zu den Feldlinien und B bezeichnet die Feldstärke des angelegten Magnetfeldes. Dieses Drehmoment nutzt man zur Bestimmung des magnetischen Moments m, in dem man die dynamische Methode der Drehschwingung anwendet.
Dreht man den Magneten in Ruhelage in Feldrichtung, so ist der Neigungswinkel gleich der Auslenkung und es ergibt sich für kleine Auslenkungen φ eine homogene lineare Differentialgleichung. Durch lösen dieser erhält m

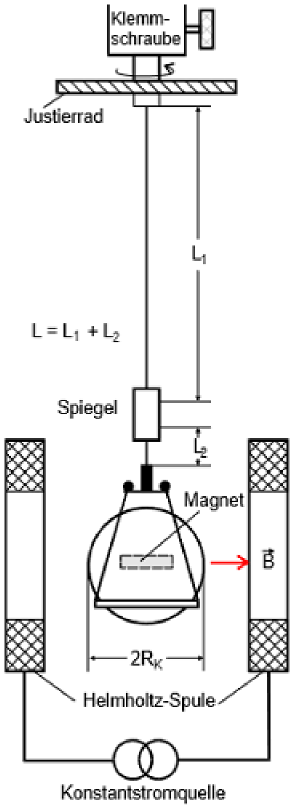
$$T_m = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{mB + D}} \qquad [1] \tag{9}$$

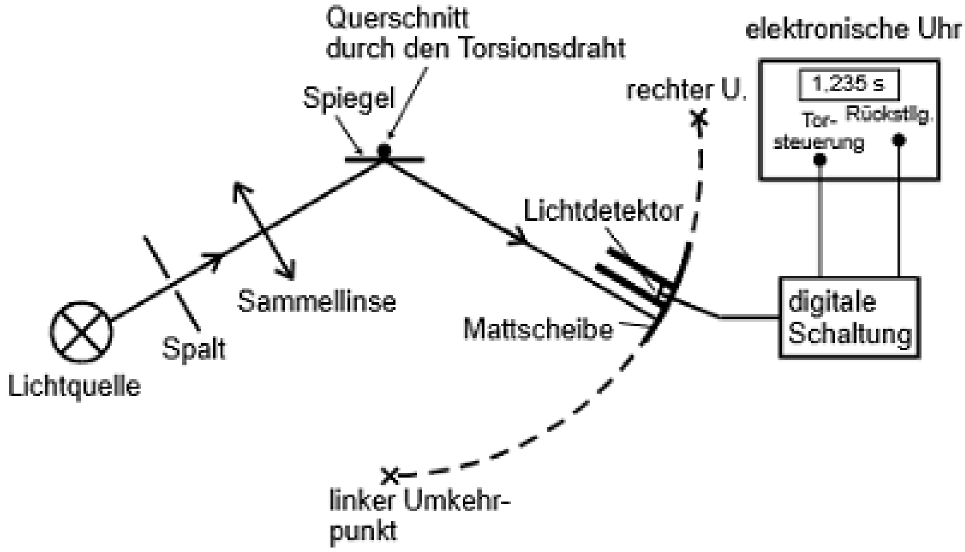
Das an der Apparatur angelegte Magnetfeld der Helmholtz-Spulen hat die Form

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{\mu_0 N I}{R} \tag{10}$$

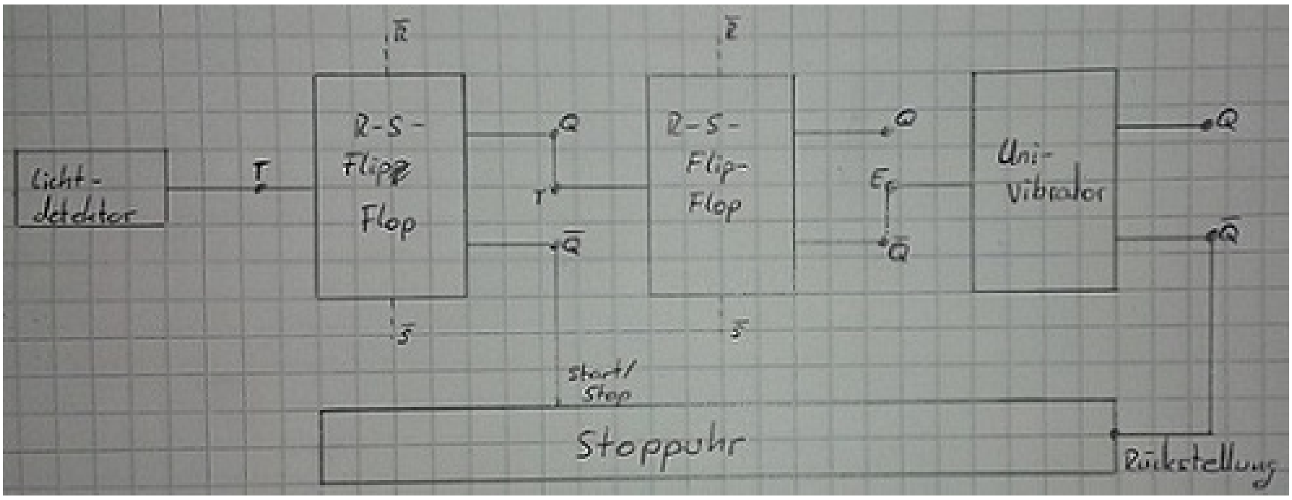
mit Windungszahl N, Stromstärke I und Radius R.

3 Aufbau und Durchführung





In den Skizzen (1) und (2) ist die Apparatur zur Bestimmung des Schubmoduls G abgebildet. Der Torsionsdraht aus dem metallischen Material ist an einer drehbaren Halterung befestigt. An seinem anderen Ende hängt eine Halterung für eine Kugel, die über einen Bremsmechanismus von unerwünschten Pendelbewegungen befreit werden kann und einen Permanentmagneten in ihrer Schwerpunktsachse liegen hat. Dieser Teil der Apparatur liegt zwischen den Spulen eines Helmholtz-Spulen-Paares, deren anliegender Strom über ein Netzgerät eingestellt wird. Am unteren Teil des Drahtes ist außerdem ein Spiegel fest auf den Draht geschraubt. Der Draht kann mit einem Justierrad aus seiner Ruhelage ausgelenkt werden, was ihn in eine Drehschwingung versetzt.
Die zugehörige Periodendauer T der Schwingung, wird über die Reflexion eines Lichtstrahls am Spiegel und eine elektrische Schaltung mit Stoppuhr ermittelt. Dazu wird das Licht einer Lampe durch einen Spalt und eine Sammellinse als diskrete Linie auf den Spiegel gerichtet, der während der Schwingungsbewegung den Lichtstrahl über eine Photodiode wandern lässt(siehe Skizze (2)). Der so erzeugte elektrische Impuls wird über eine elektrische Schaltung zu der Stoppuhr geleitet. Diese besteht aus zwei bistabilen Kippstufen(auch R-S-Flip-Flops genannt) und einer monostabilen Kippstufe(auch Univibrator genannt).
Diese Bausteine können zwei Potentiale als Eingangssignale verarbeiten, die als „L“ [1] und „H“ [1] bezeichnet werden.



L entspricht dabei (beinahe) keiner Spannung und H voller Spannung. Ein Impuls wird nur dann weitergegeben, wenn das Eingangspotential von H auf L springt(bei der bistabilen Kippstufe) bzw. wenn es von L auf H ansteigt(bei der monostabilen Kippstufe). Diese Bauteile sind in einem Gerät vereint, in dem sie einzeln zugeschaltet werden können. Eine Leuchtdiode zeigt dabei stets an, ob an dem entsprechenden Aus-/Eingang ein H-Potential anliegt. Die Schaltung in Skizze (3) funktioniert dann wie folgt:

1. Impuls; Start der Schwingungsmessung:
An $\bar{Q}_1$ wird ein H→L-Abfall an die Stoppuhr weitergegeben, welche die Zeitmessung aktiviert. An Q_1 stellt sich das Potential von L auf H, es wird kein Impuls weitergegeben.

2. Impuls:
$\bar{Q}_1$ wird von L auf H gestellt. Es wird kein Impuls weitergegeben. An Q_1 fällt auf das Potential L, wodurch T_2 auf H gestellt wird.

3. Impuls; Schwingungsperiode ist abgeschlossen:
An $\bar{Q}_1$ wird das Potential von H auf L gestellt und somit die Uhr gestoppt. A Q_1 passiert ein Wechsel von L auf H, der keinen Impuls weiter gibt.

4. Impuls; Rückstellung der Uhr:
An $\bar{Q}_1$ wird nichts weitergegeben. An Q_1 wird jedoch durch den H→L-Abfall auch ein H→L-Abfall an T_2 erzeugt. Dadurch geht von $\bar{Q}_2$ auch ein Impuls, verursacht vom Potential-Abfall, zum Eingang E des Univibrators über, weshalb von diesem dann durch den Potential-Anstieg an $\bar{Q}_3$ das Rückstellsignal zur Stoppuhr gesandt wird.

Zu Beginn des Versuches werden die Länge des Drahtes und seine Dicke jeweils zehn mal gemessen. Bei der Länge wird dabei die Länge vom oberen Ende bis zum oberen Rand des Spiegels und die Länge vom unteren Ende bis zum unteren Rand des Spiegels je fünf mal gemessen. Die Daten zur Masse der Kugel; zum Trägheitsmoment ihrer Halterung; ihrem Radius; der Windungszahl und dem Radius der Spule können dabei an der Apparatur abgelesen werden.
Nun wird die Schwingungsdauer des Torsionsdrahtes ohne Einfluss des Erdmagnetfeldes(und des B-Feldes der Helmholtz-Spulen) gemessen. Dazu wird der Permanentmagnet in der Kugel entlang des Drahtes ausgerichtet und der Reflexionswinkel des Lichtstrahls wird mit der Justierschraube so eingestellt, dass er in der Ruhelage knapp neben dem Lichteinlass der Photodiode abgebildet wird. Dann wird die Justierschraube kurz aus- und wieder zurückgelenkt, um den Draht in Schwingungen zu versetzen. Dies wird zehn mal durchgeführt, um zehn Periodendauern zu erhalten.

Dann werden zehn Messungen der Periodendauer unter Einfluss des Magnetfeldes der Helmholtz-Spulen durchgeführt. Dazu muss zunächst die Kugel so gedreht werden, dass der Permanentmagnet parallel zu den Feldlinien ist. Ist die Anordnung wieder in Ruhe, werden auch hier jeweils zehn Zeitmessungen durchgeführt, jedoch wird dabei der an den Spulen anliegende Strom in 0,1A-Schritten von 0,1A hoch geregelt.
Wichtig: Es sollte nicht der erste Messwert aufgenommen werden, weil sich die Schwingung erst einpendeln muss.
Zuletzt wird die Periodendauer nur unter Einfluss des Erdmagnetfeldes gemessen. Hierzu muss der Permanentmagnet in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet sein. Ist die Anordnung ausreichend beruhigt, werden wieder zehn Zeiten aufgenommen.

4 Auswertung

In den folgenden Berechnungen wurde zur Bestimmung der Mittelwerte

$$\overline{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{11}$$

benutzt. Für die Standardabweichung gilt:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2$$

Die Abweichung der Mittelwerte ergibt sich dann mit:

$$\Delta x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \tag{12}$$

4.1 Bestimmung des Schubmoduls G

T/s	18,527	18,526	18,527	18,523	18,526	18,518	18,524	18,526	18,522	18,523
D_{Draht}/mm	0,195	0,193	0,196	0,194	0,198	0,198	0,198	0,195	0,189	0,201
L_1/cm	55,3	55,3	55,2	55,3	55,2	-	-	-	-	-
L_2/cm	5,1	5,1	5,1	5,0	5,1	-	-	-	-	-

Für die Bestimmung des Schubmoduls wird die Gleichung (14) aus der Versuchsanleitung[1] verwendet:

$$G = \frac{16}{5}\pi \frac{m_k {R_k}^2 L}{T^2 R^4} = 8\pi \frac{\theta L}{T^2 R^4} \tag{13}$$

Der Radius der Kugel ist dabei mit $2 * R_k = 50,76$ mm $\pm 0,007\%$ genau so wie die Masse der Kugel $m_k = 512,2$ g $\pm 0,04\%$ und das Trägheitsmoment der Kugelhalterung $\theta_{Kh} = 2,25 \cdot 10^{-7}$ kgm^2 gegeben. Aus den Messdaten folgen für die Länge des Drahtes L, dem Trägheitsmoment der Kugel θ_k (Bestimmt mit Gleichung (6)), der Schwingungsdauer T und dem Radius des Drahtes R:

$$L = (0,6034 \pm 0,0005) \text{ m}$$

$$\theta_K = (1,3197 \pm 0,0006) \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Dabei ergibt sich die Abweichung aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta\theta_k = \sqrt{\left(\frac{\partial\theta_k}{\partial m_k}\Delta m_k\right)^2 + \left(\frac{\partial\theta_k}{\partial R_k}\Delta R_k\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{5}\Delta m_k R_k^2\right)^2 + \left(\frac{4}{5}m_k R_k \Delta R_k\right)^2}$$

$$T = (18,524 \pm 0,003)\ \mathrm{s}$$

$$R = (9,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}$$

Die Mittelwerte und Abweichungen wurden mit den Gleichungen (11) und (12) bestimmt. Durch Einsetzen dieser Werte in die Gleichung (13) erhält man:

$$G = (6,4 \pm 0,4) \cdot 10^{10}\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2}$$

Die Abweichung ergibt sich aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung:

$$\begin{aligned}\Delta G &= \sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial\theta}\Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial L}\Delta L\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial T}\Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial R}\Delta R\right)^2} \\ &= 8\pi\sqrt{\left(\frac{L}{T^2R^4}\Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\theta}{T^2R^4}\Delta L\right)^2 + \left(-\frac{2\theta L}{T^3R^4}\Delta T\right)^2 + \left(-\frac{4\theta L}{T^2R^5}\Delta R\right)^2}\end{aligned}$$

4.2 Messung des magnetischen Moments eines Permanentmagneten

Durch das Magnetfeld der Helmholtzspule, welches für diese Messung benötigt wird, ändert sich die Schwingungsdauer der Kugel. Aus der Gleichung (12) der Versuchsanleitung[1] erhält man:

$$T_m = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{mB + D}} \tag{14}$$

Durch einige Umformungen erhält man:

$$B = \frac{4\pi^2\theta}{m}\frac{1}{T^2} - \frac{D}{m} = \frac{4\pi^2\theta}{m}\frac{1}{T^2} - \frac{\pi G R^4}{2Lm} \tag{15}$$

Es zeigt sich, dass die Steigung der Regressionsgeraden $a = \frac{4\pi^2\theta}{m}$ entspricht. Der y-Achsenabschnitt ergibt sich aus $b = -\frac{D}{m}$. Mit Hilfe einer dieser Gleichungen und der Regressionsgeraden kann man somit das magnetische Moment des Magnetens bestimmen.

$$m = \frac{4\pi^2\theta}{a} \tag{16}$$

$$= -\frac{D}{b} = -\frac{\pi G R^4}{2Lb} \tag{17}$$

Eine Helmholtzspule, bei der der Abstand der beiden Einzelspulen geich dem Radius dieser Spulen ist, erzeugt ein homogenes Magnetfeld zwischen diesen Einzelspulen. Es lässt sich berechnen mit:

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}}\frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{R} \tag{18}$$

Die benutze Helmholtzspule hat eine Windungszahl von $N = 390$ und einen Radius $R = 78mm$. Daraus ergibt sich:

I/A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
T/s	11,324	8,871	7,580	6,706	6,041	5,680	5,292	5,013	4,751	4,589
$\frac{1}{T^2}/10^{-3}\frac{1}{\mathrm{s}^2}$	7,798	12,707	17,405	22,237	27,402	30,996	35,708	39,793	44,303	47,486
B/mT	0,450	0,900	1,349	1,798	2,248	2,698	3,147	3,597	4,046	4,496

Die lineare Regression mit Hilfe von Python ergab folgende Werte:

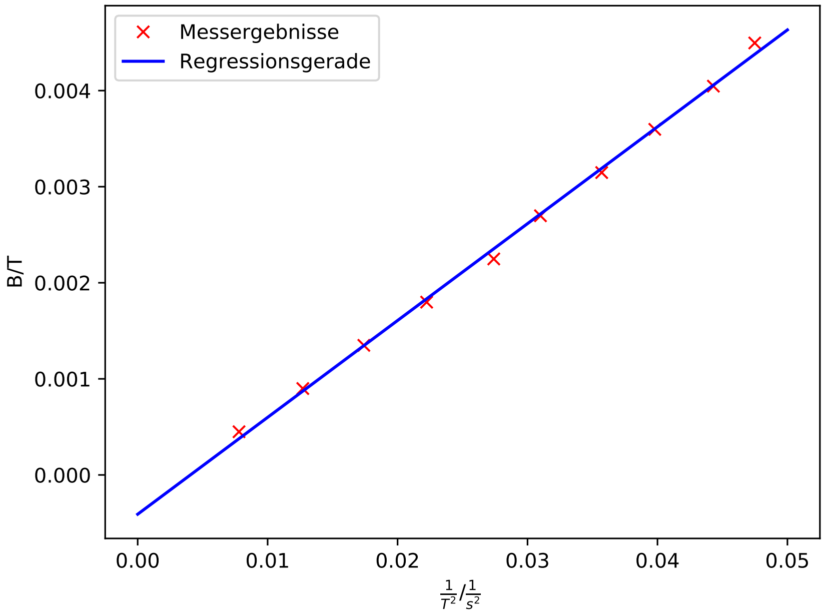


Abbildung 1: Magnetfeld der Helmholtzspule dargestellt gegen das Quadrat der reziproken Schwingungsdauer.

$$a = (0,101 \pm 0,002)\ \mathrm{Ts}^2$$

$$b = (-0,41 \pm 0,05)\ \mathrm{mT}$$

Da die relative Abweichung der Steigung a mit ca 2% deutlich kleiner ist, als die Abweichung des y-Achsenabschnitts b mit ca 12,6 %, wird das magnetische Moment über die Steigung ermittelt und nicht über den y-Achsenabschnitt. Zudem beinhaltet die Berechnung des magnetischen Moments mit dieser Methode mehr Variablen die eine Abweichung beinhalten.
Aus der Gleichung (16) folgt:

$$m = (0,052 \pm 0,001)\frac{\mathrm{kgm}^2}{\mathrm{Ts}^2}$$

Die Abweichung ergibt sich durch die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta m = \sqrt{\left(\frac{\partial m}{\partial \theta}\Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial a}\Delta a\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{a}\Delta\theta\right)^2 + \left(-\frac{4\pi^2\theta}{a^2}\Delta a\right)^2}$$

4.3 Bestimmung des Erdmagnetfeldes

Das Erdmagnetfeld lässt sich nun mit dem ermittelten magnetischen Moment, den schon vorher bekannten und gemessenen Größen und der Gleichung (15) bestimmen. Die Schwingungsdauer bei dieser Messung beträgt:

Messung	T/s
1	18,520
2	18,522
3	18,535
4	18,521
5	18,528
6	18,532
7	18,524
8	18,535
9	18,517
10	18,532

$$T = (18,527 \pm 0,002)\ \mathrm{s}$$

Mittelwert und Abweichung wurden mit Gleichung (11) und (12) bestimmt Somit ergibt sich die Größe des Erdmagnetfeldes:

$$B_{Erde} = (1,3 \pm 0,8) \cdot 10^{-7}\mathrm{T}$$

Auch hier ergibt sich die Abweichung wieder durch die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$\begin{aligned}\Delta B &= \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial \theta}\Delta\theta\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial m}\Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial T}\Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial R}\Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial G}\Delta G\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial L}\Delta L\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{4\pi^2}{mT^2}\Delta\theta\right)^2 + \left(-\left(\frac{4\pi^2\theta}{T^2} - \frac{\pi G R^4}{2L}\right)\frac{1}{m^2}\Delta m\right)^2 + \left(-\frac{8\pi^2\theta}{mT^3}\Delta T\right)^2} \\ &\overline{+\left(-\frac{2\pi G R^3}{Lm}\Delta R\right)^2 + \left(-\frac{\pi R^4}{2Lm}\Delta G\right)^2 + \left(\frac{\pi G R^4}{2L^2 m}\Delta L\right)^2}\end{aligned}$$

5 Diskussion

5.1 Zur Bestimmung des Schubmoduls

Die relativer Abweichung der gemessenen Länge L des Drahtes ist mit ca. 0,08% sehr gering. Das entspricht einem Absolutbetrag von unter einem Millimeter. Da dieser Wert mit einem handelsüblichen Maßband mit Millimetereinteilung gemessen wurde, ist es kaum möglich ihn genauer anzugeben. Um eine bessere Genauigkeit zu erreichen müsste man ein besseres Messgerät verwenden.
Bei dem ermittelten Trägheitsmoment der Kugel θ_k ist die relative Abweichung mit ungefähr 0,04% sogar noch geringer. Auf die Genauigkeit dieses Wertes hatten wir aber keinen Einfluss, da sowohl die Masse der Kugel, als auch der Radius der Kugel einschließlich Fehler gegeben waren.
Die Messung der Schwingungsdauer T erfolgte, wie schon im Versuchsaufbau dargestellt, elektronisch. Die Abweichung hat daher mit ca. 0,0054% kaum einen Einfluss auf die berechneten Werte.
Die größte Abweichung gemessener Werte in diesem Versuchabschnitt ergab sich bei dem Radius des Drahtes R. Mit ca 1,02% ist diese vergleichsweise groß, was vor allem an der Größenordnung ($98\mu m$) liegt. Auch mit einer Mikrometerschraube ist eine Bestimmung auf weniger als einem Mikrometer genau wohl kaum möglich. Vor allem, wenn man bedenkt, dass dies die erste Benutzung dieses Messinstrumentes war.
Mit diesen Werten wurde das Schubmodul G berechnet, welches eine relative Abweichung von

ungefähr 4,09% hat. Diese, im Vergleich mit den vorherigen Werten, große Abweichung entsteht, da in der Gaußschen Fehlerfortpflanzung die Fehler aller vorheringen Werte mit eingehen. Vor allem die Abweichung des Drahtradius, welcher mit vierter Potenz in das Schubmodul eingeht und auch am ungenausten bestimmt wurde, ist dafür verantwortlich.
Vergleicht man abschließend noch den ermittelten Wert für das Schubmodul mit einem Literaturwert (Federstahl: $G = 8,2 \cdot 10^{10} \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}^2}$) so stellt man fest, das sich der Wert in der richtigen Größenordnung befindet. Da man aber nur weiß, dass der Draht aus einem Metall besteht, aber nicht aus welchem, lässt sich keine genauere Angabe machen.

5.2 Zur Bestimmung des magnetischen Moments

Wie schon in der Auswertung erwähnt wurde, ist die Abweichung des durch lineare Regression erhaltenen Wertes für den y-Achsenabschnitts b mit ca. 12,6% ziemlich groß. Da man das magnetische Moment auch über die ermittelte Steigung a, welche nur eine Ungenauigkeit von ca. 2% hat, ermitteln kann, wurde b in der weiteren Auswertung nicht mehr berücksichtigt. Die Bestimmung des magnetischen Momentes m mit Hilfe der Steigung hatte zudem den Vorteil, dass sie nur das Trägheitsmoment θ_k als weiteren Wert benötigt. Für die Bestimmung über b hätte man zudem das Schubmodul G, den Drahtradius R und die Drahtlänge L benötigt, mit welchen noch deutlich mehr fehlerbehaftete Werte einen Einfluss gehabt hätten.
Die Ungenauigkeit von a entsteht durch die Messwerte für T und B die bei der linearen Regression verwendet wurden. Da die Schwingungsdauern, wie im ersten Abschnitt der Diskussion erwähnt wurde, sehr genau bestimmt werden konnten, wäre eine mögliche Fehlerquelle, welche die Abweichung erklären wurde, das einstellen des Stromes I, mit welchem der Wert für B berechnet wurde.
Das berechnete magnetische Moment m hat eine Abweichung von ca. 1,9%. Die relative Ungenaugkeit des magnetischen Moments liegt somit in der gleichen Größenordnung wie bei den anderen Werten.

5.3 Zur Bestimmung des Erdmagnetfeldes

Auch in dem letzten Teil des Versuches war die Bestimmung der Schwingungsdauer T wieder sehr genau (ca 0,01%). Zur Berechnung des Erdmagnetfeldes hat man ansonsten nur bereits bekannte Werte gebraucht. Vergleicht man die Messergebnisse mit den Literaturwerten($B_{\text{Äquator}} = 31\mu T$ und $B_{Pol} = 62\mu T$ [3]), so stellt man fest, dass der bestimmte Wert um zwei Größenordnungen von den Literaturwerten abweichen.

6 Literatur

[1] Aus „Anleitung zu Versuch 102: Drehschwingungen“, TU Dortmund,
URL: http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V102.pdf

[2] Aus „Anleitung zu Versuch 104: Der Doppler Effekt“, TU Dortmund,
URL: http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V104.pdf

[3] Aus „Gerthsen Physik“, 24. überarbeitete Auflage, Dieter Meschede, Springer Verlag, S.385(rechte Spalte mittig)