

V 102

Drehschwingungen

Timo Gräßer
timo.graesser@udo.edu

Jasper Karl Lammering
jasper.lammering@udo.edu

Durchführung: 12.1.16

Abgabe: 19.1.16

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Theorie | 3 |
| 1.1. Fehlerrechnung | 3 |
| 1.2. Problemstellung | 3 |
| 1.3. Hookesches Gesetz | 3 |
| 1.4. Elastische Konstanten | 4 |
| 1.5. Experimentelle Bestimmung elastischer Konstanten | 5 |
| 1.5.1. Bestimmung des Torsionsmoduls | 5 |
| 1.6. Magnetisches Moment | 8 |
| 2. Durchführung | 9 |
| 2.1. Aufbau | 9 |
| 2.1.1. Versuchsaufbau zur Bestimmung des Torsionsmoduls | 9 |
| 2.1.2. Versuchsaufbau zur Bestimmung des magnetischen Momentes . . . | 11 |
| 2.2. Messprogramm | 11 |
| 2.2.1. Messprogramm zur Bestimmung des Torsionsmoduls | 12 |
| 2.2.2. Messprogramm zur Bestimmung des Erdmagnetfeldes | 12 |
| 2.2.3. Messprogramm zur Bestimmung des magnetischen Momentes . . . | 12 |
| 3. Auswertung | 13 |
| 3.1. Schubmodul | 13 |
| 3.2. Magnetisches Moment | 14 |
| 3.3. Erdmagnetfeld | 16 |
| 4. Diskussion | 17 |
| Literatur | 17 |
| A. Kopie der Originaldaten | 17 |

1. Theorie

1.1. Fehlerrechnung

Für die Fehlerfortpflanzung bei Gleichungen mit N fehlerbehafteten Größen wird jeweils die Formel zur Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i} \sigma_i \right)^2} \quad (1)$$

mit der jeweiligen Funktion $f(x_i)$, den Messgrößen x_i und den zugehörigen Fehlern σ_i verwendet. Zur Berechnung des arithmetischen Mittels von N Messwerten wird jeweils die Formel

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

mit den Messwerten x_i benutzt. die Standardabweichung des Mittelwerts wird jeweils mit der Gleichung

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

mit den N Messwerten x_i berechnet.

1.2. Problemstellung

In der Mechanik unterscheidet man bei externen Kräften auf Körper zwischen solchen, die an Volumenelementen angreifen und somit den gesamten Körper bewegen können, und solchen, die an Oberflächenelementen angreifen und somit den Körper deformieren können. Da die Oberflächenkräfte auf Ober- und Querschnittsflächen eines Körpers wirken, wird die Spannung, das ist der Quotient aus Kraft und Flächenelement, eingeführt. Es wird zwischen dem Druck P , also der Spannung, die senkrecht auf der Oberfläche steht, und der Tangentialspannung τ , die parallel zur Oberfläche steht, unterschieden. Im folgenden Versuch wird eine elastische Deformation, das ist eine Deformation, bei der sich ein Körper nach einer Belastung wieder zurückverformt, durch Tangentialspannungen an einem Probekörper untersucht.

1.3. Hookesches Gesetz

Die Proportionalität zwischen Spannung und Volumenänderung $\frac{\Delta V}{V}$ oder Längenänderung $\frac{\Delta L}{L}$ bei hinreichend geringen Spannungen wird im Hookeschen Gesetz

$$v = \alpha \frac{\Delta V}{V} \quad l = \beta \frac{\Delta L}{L} \quad (4)$$

$$(5)$$

zusammengefasst. Die Abstände zwischen den Molekülen und Atomen eines Körpers bleiben ohne äußere Einwirkung durch elektrostatische Kräfte im Gleichgewicht r_0 . Wird der Körper unter Spannung gesetzt und deformiert, so verändern sich die Abstände zu r'_0 . Bis zu einem bestimmten Abstand, der abhängig vom Körper ist, ist die Deformation elastisch. In Abbildung 1 ist der sogenannte Hookesche Bereich, der zwischen diesem Abstand und der Gleichgewichtslage r_0 liegt, dargestellt.

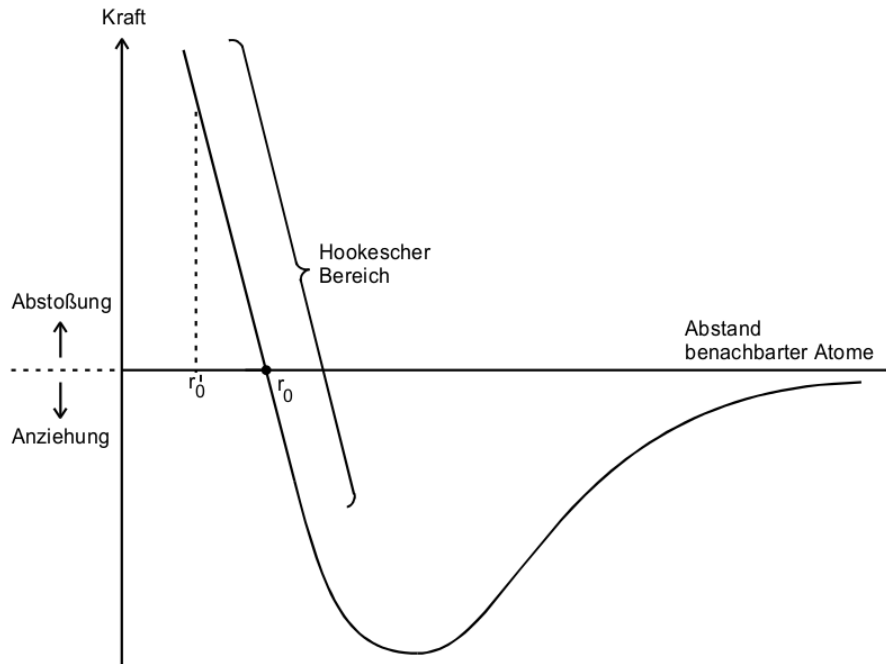


Abbildung 1: Anziehung und Abstoßung benachbarter Atome nach Veränderung des Abstandes aus der Gleichgewichtslage r_0 . [1]

1.4. Elastische Konstanten

Mit Hilfe der elastischen Konstanten kann der Zusammenhang zwischen Deformation und Spannung an einem Körper vollständig beschrieben werden. Werden Kristallgitter mit niedriger Symmetrie betrachtet, so besitzen sowohl Spannung als auch Deformation jeweils sechs Freiheitsgrade, mit jeweils drei, die die Gestalt beschreiben, und drei, die das Volumen beschreiben. Der Zusammenhang wird über eine symmetrische 6x6-Matrix dargestellt, weshalb insgesamt 21 elastische Konstanten benötigt werden. Im folgenden Experiment werden isotrope Materialien, das sind Stoffe deren elastische Konstanten richtungsabhängig sind, benutzt. Bei diesen Stoffen können Symmetrieeigenschaften so ausgenutzt werden, dass sich das elastische Verhalten vollständig mit nur zwei Konstanten beschreiben lässt. Diese sind zum einen der Torsions- oder auch Schubmodul G , der die Gestaltelastizität beschreibt, und der Kompressionsmodul Q , der die Volumenelastizität beschreibt. Aus diesen Konstanten können zudem noch der Elastizitätsmodul E , der

die Längenänderung eines Körpers unter Einwirkung eines Drucks P in Richtung der Kraftwirkung beschreibt, und die Poissonsche Querkontraktionszahl μ , die die Längenänderung eines Körpers unter Einwirkung eines Drucks P orthogonal zur Kraftwirkung beschreibt, bestimmt werden. Letztere berechnet sich mit der Formel

$$\mu = -\frac{\Delta B}{B} \frac{L}{\Delta L}. \quad (6)$$

Die Größen sind in Abbildung 2 dargestellt.

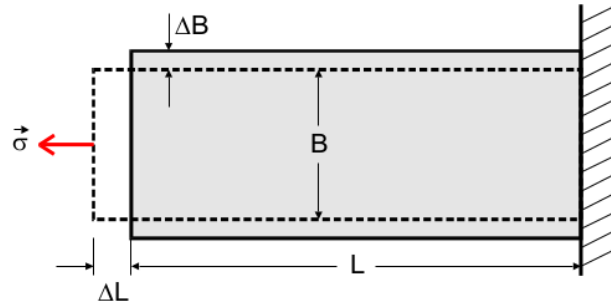


Abbildung 2: Erklärung der Querkontraktionszahl μ an einem gedehnten Stab. [1]

Zwischen den vier Konstanten μ , E , Q und G gelten die Beziehungen

$$E = 2G(\mu + 1) \quad (7)$$

$$E = 3(1 - 2\mu)Q. \quad (8)$$

1.5. Experimentelle Bestimmung elastischer Konstanten

Von den vier erwähnten Konstanten eignet sich zur experimentellen Bestimmung der Torsionsmodul G am besten. Eine mögliche Fehlerquelle bei der mehrfachen Messung des Moduls an einem Körper ist die elastische Nachwirkung. Diese kann man vor Allem bei Metallen beobachten. Das verformte Material kehrt nicht unmittelbar nach dem Ende der Belastung in den Anfangszustand zurück, sondern in einem längeren Zeitraum. Deshalb eignet sich zur Messung der Konstante eine sogenannte dynamische Messreihe. Hierbei wird die Probe periodisch unter Spannung gesetzt, sodass eine Rückverformung erzwungen wird.

1.5.1. Bestimmung des Torsionsmoduls

Prinzipiell kann das Torsionsmodul G über den Winkel eines durch eine angreifende Tangentialspannung τ verformten Würfels wie in Abbildung 3 bestimmt werden.

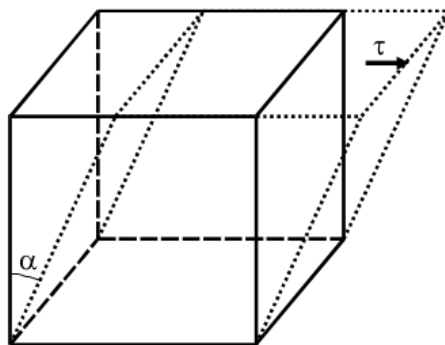


Abbildung 3: Scherung eines Würfels durch eine Tangentialspannung τ . [1]

Die zur Grundfläche parallelen Flächen bleiben bei der Deformation quadratisch und die gesuchte Konstante G kann über den Scherungswinkel α mit der Proportionalitätsformel

$$\tau = \alpha G \quad (9)$$

bestimmt werden. Diese Messmethode eignet sich aber eher schlecht, da α nicht zuverlässig bestimmt werden kann. Hingegen eignet sich eine Messmethode, bei der ein Draht gedreht wird, deutlich besser. Hier für spannt man, wie in Abbildung 4 abgebildet, einen Draht an einer Seite fest und setzt ihn an der anderen Seite an zwei diametralen Punkten unter Tangentialspannung.

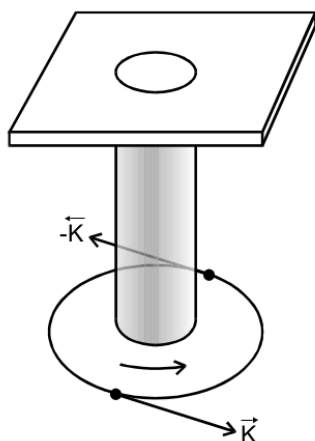


Abbildung 4: Torsion eines Drahtes.[1]

Dadurch greift ein Drehmoment M am Draht an und die Mantelflächen erfahren eine Scherung mit dem Winkel α , sodass die Stirnflächen um einen Winkel φ phasenverschoben sind. In Abbildung 5 sind diese Winkel und weitere Größen eingezeichnet, die für den Zusammenhang zwischen Drehmoment M und Phasenwinkel φ bedeutend sind.

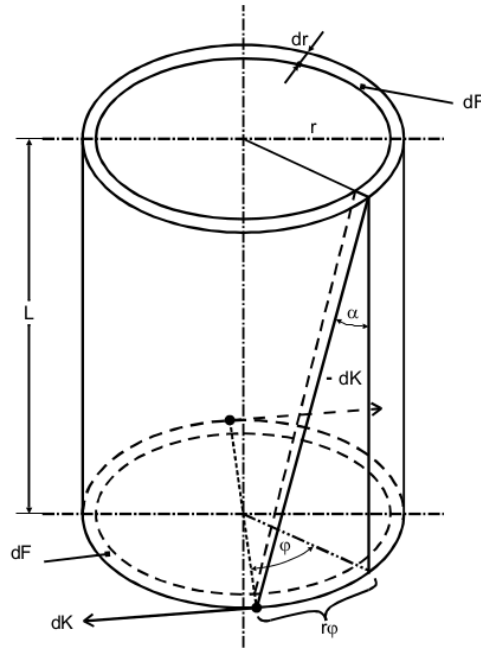


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drillwinkel ϕ . [1]

Da das Drehmoment abhängig vom Radius ist, ergeben sich die infinitesimalen Drehmomente durch Integration über die Mantelflächen mit der Gleichung

$$dM = r \cdot \tau \cdot dF, \quad (10)$$

wobei dF ein Mantelflächelement ist. Über das Hookesche Gesetz (5), die Formel zur Scherung eines Körpers (9) und die Winkelbeziehung

$$\alpha = \frac{r\varphi}{L} \quad (11)$$

folgt die proportionale Beziehung zwischen Drehmoment M , Phasenwinkel φ und Torsionsmodul G

$$M = \int_0^R 2\pi \frac{G}{L} \varphi r^3 dr = \frac{\pi}{2} G \frac{R^4}{L} \varphi. \quad (12)$$

Der Proportionalitätsfaktor

$$D = \frac{\pi G R^4}{2L} \quad (13)$$

wird als Richtgröße des Zylinders bezeichnet. Um nun zu einer dynamischen Messmethode zu gelangen, wird der Aufbau um einen Körper mit dem Trägheitsmoment θ erweitert, der an das untere Ende des Drahtes gehängt wird. Wird der Draht mit dem Zusatzgewicht aus der Gleichgewichtslage ausgelenkt, so führt das System harmonische ungedämpfte

Drehschwingungen aus. In diesem dynamischen Aufbau greifen sowohl das Drehmoment des tordierten Drahtes (12), als auch das der rotierenden Masse

$$M_T = \theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (14)$$

an. Die daraus resultierende Differentialgleichung

$$D\varphi + \theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} = 0 \quad (15)$$

kann mit dem Ansatz

$$\varphi(t) = \varphi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \quad (16)$$

mit der Auslenkung φ_0 gelöst werden. Es folgt die Periodendauer der Schwingung

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\theta}{D}} \quad (17)$$

Da die Periodendauer T sehr genau messbar ist kann über die Gleichung zur Richtgröße des Zylinders (13) und dem Trägheitsmoment des Körpers aus der Formel (17) der Torsionsmodul G bestimmt werden. Das Trägheitsmoment θ berechnet sich über die Formel

$$\theta = \int_{\partial V} \rho(\vec{r}) r_{\perp}^2 dV \quad (18)$$

mit der Massendichte ρ , dem Abstand zur Rotationsachse r_{\perp} und dem Volumenelement dV . Für die im folgenden Versuch verwendete Kugel mit konstanter Massendichte folgt dann

$$\theta_k = \frac{2}{5} m_k R_k^2 \quad (19)$$

mit der Kugelmasse m_k und dem Kugelradius R_k . Die entgültige Gleichung für den Torsionsmodul G lautet dann

$$G = \frac{16}{5} \pi \frac{m_k R_k^2 L}{T^2 R^4}. \quad (20)$$

1.6. Magnetisches Moment

Mit der vorgestellten Messmethode kann auch das magnetische Moment m eines Permanentmagneten bestimmt werden. Dazu muss außen um die schwingende Kugel eine Helmholtzspule aufgestellt und der Magnet in die Kugel hinein gebaut werden. Durch das äußere homogene Magnetfeld von der Spule wirkt ein Drehmoment

$$M_{\text{Mag}} = mB \sin(\gamma) \quad (21)$$

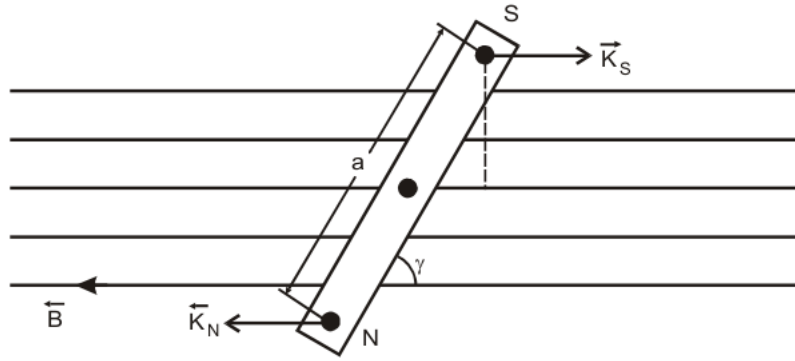


Abbildung 6: Permanentmagnet in einem äußeren homogenen Magnetfeld. [1]

auf den Permanentmagneten und somit auch auf die Kugel und den Draht. Dies ist auch in Abbildung 6 dargestellt. Mit diesem Drehmoment erhält die DGL aus (15) einen zusätzlichen Term, sodass mit einer Kleinwinkelnäherung die neue Periodendauer

$$T_m = 2\pi \sqrt{\frac{\theta}{mB + D}} \quad (22)$$

und damit das magnetische Moment

$$m = \frac{1}{B} \left(\frac{4\pi^2 \theta}{T_m^2} - D \right) \quad (23)$$

folgt.

2. Durchführung

2.1. Aufbau

2.1.1. Versuchsaufbau zur Bestimmung des Torsionsmoduls

Der Versuchsaufbau besteht aus einem langen Draht, der am oberen Ende an einer Halterung befestigt ist und an dem am unteren Ende eine Kugel hängt. An der Halterung ist ein Justierad angebracht, mit welchem der Winkel verstellt oder die Schwingung angeregt werden kann. Die Periodendauer der Schwingung wird mit einer elektronischen Stoppuhr gemessen. Dabei wird von einer Lampe ein Lichtstrahl auf einen Spiegel ausgesendet, der am rotierenden System befestigt ist. Der vom Spiegel reflektierte Lichtstrahl löst bei bestimmten Auslenkungen den Lichtdetektor aus, sodass ein Signal über eine digitale Schaltung an die Uhr weitergegeben wird. Dies ist in Abbildung 7 abgebildet. Die Messappatur ohne die Zeitmessvorrichtung ist in Abbildung 8 dargestellt.

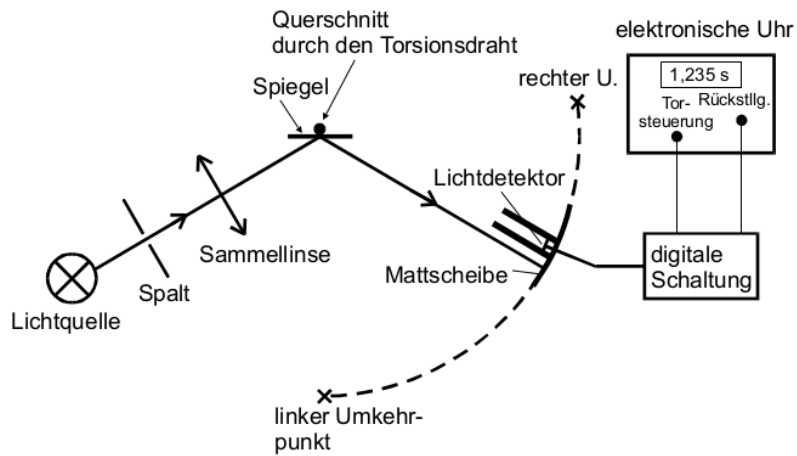


Abbildung 7: Schematischer Aufbau zur Messung der Periodendauer.[1]

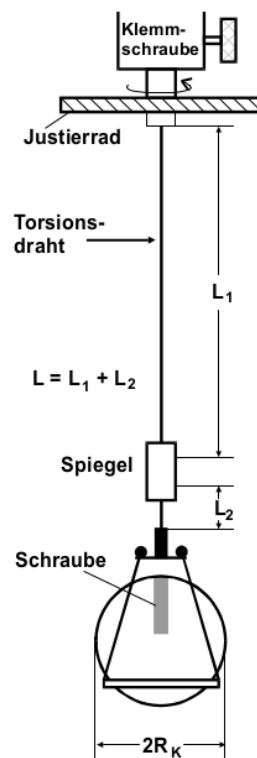


Abbildung 8: Messapparatur zur Bestimmung des Torsionsmoduls.[1]

2.1.2. Versuchsaufbau zur Bestimmung des magnetischen Momentes

Der Versuchsaufbau aus 2.1.1 wird um eine Helmholtzspule, die an eine Konstantstromquelle geschlossen ist, gemäß Abbildung 9 erweitert.

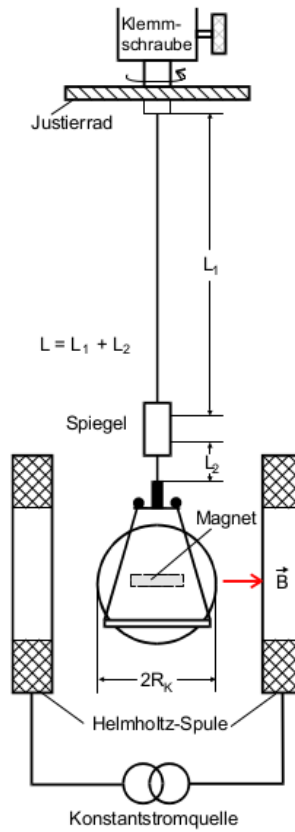


Abbildung 9: Messapparatur zur Bestimmung des magnetischen Momentes. [1]

2.2. Messprogramm

Als erstes werden die in Abbildung 8 dargestellten Längen L_1 und L_2 und die Dicke des Drahtes mehrfach gemessen. Folgende Werte sind zu der Apparatur gegeben:

$$\text{Kugelmasse: } m_k = 0.592 \text{ kg} \quad (24)$$

$$\text{Kugelradius: } r_k = (2.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-2} \text{ m} \quad (25)$$

$$\text{Trägheitsmoment der Kugelhalterung: } \theta_k = 22.5 \cdot 10^{-7} \text{ kg cm}^2 \quad (26)$$

$$\text{Windungen der Helmholtzspule: } n_h = 80 \quad (27)$$

$$\text{Radius der Helmholtzspule: } r_h = 0.072 \text{ m} \quad (28)$$

$$\text{Maximalstrom der Helmholtzspule: } I_h = 5 \text{ A} \quad (29)$$

$$(30)$$

2.2.1. Messprogramm zur Bestimmung des Torsionsmoduls

- Zunächst wird die Kugel in die Vorrichtung gelegt, sodass der sichtbare Madenschraubenkopf nach oben zeigt. Dann steht der Magnet senkrecht zum Erdmagnetfeld, sodass er die Schwingung nicht beeinflusst.
- Dann werden Kugel und Draht mit dem Justierrad so rotiert, dass der vom Spiegel reflektierte Strahl knapp rechts neben die Photodiode fällt. Das System sollte dann in seiner Ruhelage sein.
- Als nächstes wird das Justierrad kurz hin und her bewegt, sodass das System in einer Rotation zu schwingen beginnt.
- Die Messwerte für die Periodendauer werden notiert.

2.2.2. Messprogramm zur Bestimmung des Erdmagnetfeldes

- Durch verstellen des Justierrades wird das System so bewegt, dass der Lichtstrahl in der Ruhelage rechts neben die Photodiode fällt.
- Die Kugel wird nun so in der Vorrichtung platziert, dass die Schraube an der Süd- oder Nordseite zu sehen ist. Dann ist der Magnet parallel zum Erdmagnetfeld, sodass die Schwingung davon beeinflusst wird.
- Es wird genauso vorgegangen wie in 2.2.1.

2.2.3. Messprogramm zur Bestimmung des magnetischen Momentes

- Durch verstellen des Justierrades wird das System so bewegt, dass der Lichtstrahl in der Ruhelage rechts neben die Photodiode fällt.
- Die Kugel wird nun so in der Vorrichtung platziert, dass die Schraube an der Ost- oder Westseite zu sehen ist. Dann sollte der Magnet parallel zum Magnetfeld, das durch die Spulen erzeugt wird, und orthogonal zum Erdmagnetfeld stehen.

- Der Strom wird eingeschaltet und es wird genauso vorgegangen wie in 2.2.1, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Auslenkung des Systems gering ist, damit der Einfluss des Magneten über die gesamte Periode als maximal angenommen werden kann.
- Es werden Messwerte für fünf verschiedene Stromstärken aufgenommen.

3. Auswertung

3.1. Schubmodul

Um den Schubmodul zu bestimmen wird Formel (20) genutzt. Die Messwerte für T sind in Tabelle 1 aufgetragen.

Tabelle 1: Messwerte der Periodendauern bei vertikalem Magnet in der Kugel.

| T / s |
|----------------|
| 19.771 |
| 19.826 |
| 19.885 |
| 19.844 |
| 19.805 |
| 19.807 |
| 19.867 |
| 19.842 |
| 19.805 |
| 19.804 |

Der Mittelwert mit Standardabweichung lautet dann:

$$T = (19.83 \pm 0.03) \text{ s.}$$

Die Masse der Kugel ist mit

$$m_k = (0.5883 \pm 0.0002) \text{ kg}$$

angegeben.

Der Radius des Drahts R wird fünf Mal gemessen und dann gemittelt. Die Messwerte sind in Tabelle 2 zu sehen.

Der Mittelwert mit Standardabweichung lautet:

$$R = (0.1007 \pm 0.0005) \text{ mm}$$

Die Länge $L = L_1 + L_2$ ist in Tabelle 3 angegeben.

Gemittelt ergibt sich dann:

Tabelle 2: Messwerte des Radius des Drahts.

| R / mm |
|-----------------|
| 0.101 |
| 0.1005 |
| 0.1015 |
| 0.100 |
| 0.1005 |

Tabelle 3: Messwerte der Länge des Drahts.

| L / m |
|----------------|
| 0.657 |
| 0.658 |
| 0.658 |

$$L = (0.6577 \pm 0.0005) \text{ m}$$

Außerdem ist R_k mit

$$R_k = (0.025\,52 \pm 0.000\,01) \text{ m}$$

angegeben.

Dann ergibt sich für den Schubmodul G :

$$G = (6.3 \pm 0.1) \cdot 10^{10} \text{ N m}^{-2}$$

Die Abweichung vom Literaturwert $G = 8.2 \cdot 10^{10} \text{ N m}^{-2}$ beträgt 23 %.

Mit Hilfe des Schubmoduls und der Gleichungen (7) und (8) können nun auch Q und μ berechnet werden. Das Elastizitätsmodul ist mit $E = 21 \cdot 10^{10} \text{ N m}^{-2}$ gegeben.

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 = (6.6 \pm 0.1) \cdot 10^{21}$$

$$Q = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} = (-5.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-12} \text{ N m}^{-2}$$

3.2. Magnetisches Moment

Die gemessenen Periodendauern bei unterschiedlicher an der Hemholtzspule anliegenden Stromstärke sind in Tabelle 4 angegeben.

Außerdem wird die magnetische Flussdichte mit Formel (31) berechnet.

$$B = \mu_0 \frac{8IN}{\sqrt{125}R} \quad (31)$$

Tabelle 4: Messwerte der Periodendauern bei unterschiedlich starkem Magnetfeld.

| $T_{m,0.5\text{ A}} / \text{s}$ | $T_{m,1\text{ A}} / \text{s}$ | $T_{m,1.5\text{ A}} / \text{s}$ | $T_{m,2\text{ A}} / \text{s}$ | $T_{m,2.5\text{ A}} / \text{s}$ |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 13.613 | 10.931 | 9.339 | 8.169 | 7.396 |
| 13.626 | 10.845 | 9.276 | 8.295 | 7.598 |
| 13.578 | 10.930 | 9.260 | 8.141 | 7.365 |
| 13.621 | 10.843 | 9.341 | 8.306 | 7.617 |
| 13.585 | 10.933 | 9.331 | 8.161 | 7.391 |
| 13.603 | 10.847 | 9.257 | 8.290 | 7.418 |
| 13.618 | 10.933 | 9.330 | 8.204 | 7.332 |

Der Radius der Helmholtzspule ist mit $R = 72 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ und die Windungszahl mit $N = 80$ gegeben. Die berechneten Werte für B sind in Tabelle 5 angegeben. Außerdem sind dort die Werte für $\frac{1}{T_m^2}$ hierfür wurden die Werte aus Tabelle 4 gemittelt.

Tabelle 5: In Abbildung 10 eingetragene Werte.

| I / A | B / mT | $\frac{1}{T_m^2} / 10^{-2} \cdot 1/\text{s}^2$ |
|----------------|-----------------|--|
| 0.5 | 0.50 | 0.54 |
| 1 | 1.00 | 0.84 |
| 1.5 | 1.50 | 1.15 |
| 2 | 2.00 | 1.50 |
| 2.5 | 2.50 | 1.80 |

Diese Werte werden in Abbildung 10 gezeigt und eine Ausgleichsrechnung nach linearer Regression durchgeführt.

Die Ausgleichsrechnung liefert dann für die Steigung a , den Achsenabschnitt b und den Fehler der Regression σ_a :

$$a = (6.33 \pm 0.06) \text{ A kg}^{-1} \quad b = 2.15 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{s}^2}$$

$$\sigma_a = 6 \cdot 10^{-2} \text{ A kg}^{-1}$$

Nun wird von der Steigung auf das magnetische Moment geschlossen. Zur Bestimmung des magnetischen Moments m wird die Formel (22) umgestellt zu Formel (32).

$$\frac{1}{T_m^2} = \frac{m}{4\pi^2\theta} \cdot B + \frac{D}{4\pi^2\theta} \quad (32)$$

Dann kann aus der Steigung nach Gleichung (34) das magnetische Moment berechnet werden.

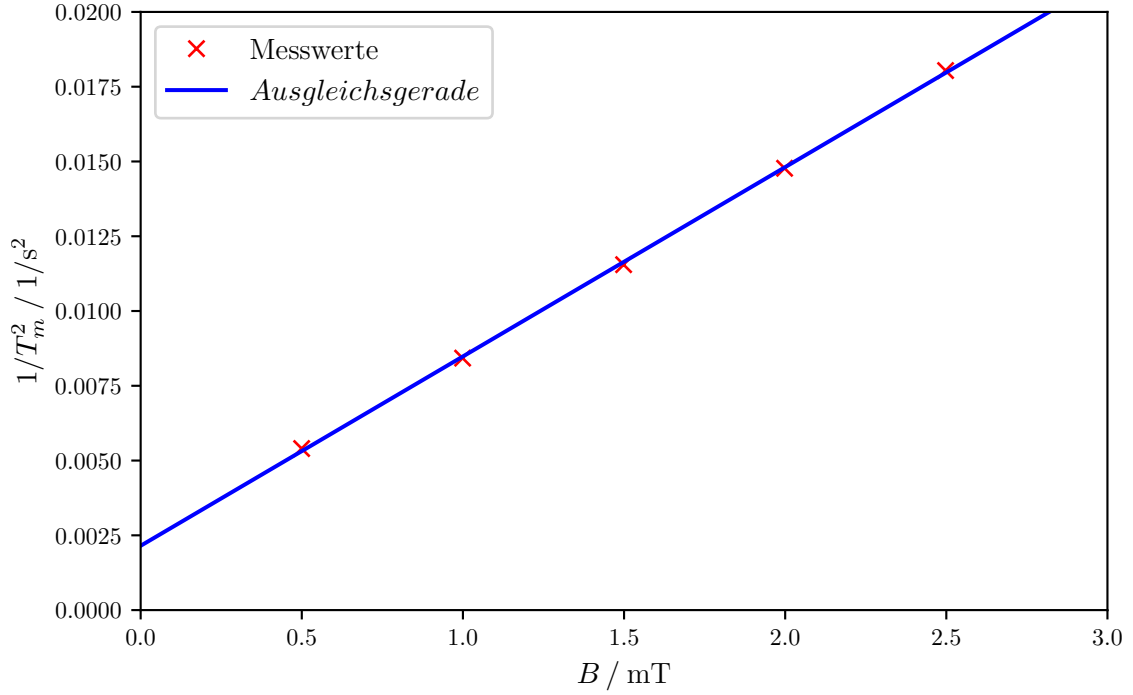


Abbildung 10: Graph zur Bestimmung des magnetischen Moments.

mit

$$\theta = \theta_{\text{Kugel}} + \theta_{\text{Halterung}} = (0.1555 \pm 0.0001) \cdot 10^{-3} \text{kgm}^2 \quad (33)$$

ergibt sich

$$m = a4\pi^2\theta = (0.00971 \pm 0.00009) \text{A m}^2. \quad (34)$$

3.3. Erdmagnetfeld

Da das magnetische Moment nun bekannt ist, kann die horizontale Komponente des Erdmagnetfeld B bestimmt werden.

In Tabelle 6 sind die Messwerte aufgetragen, die mit ausgeschalteter Helmholtz-Spule und horizontal ausgerichteten Magneten in der Kugel aufgenommen wurden.

Gemittelt ergibt sich $T_{\text{m, horizontal}} = (19.90 \pm 0.04) \text{s}$. Da dieser Wert eigentlich kleiner sein müsste, da das Erdmagnetfeld im Gegensatz zum Aufbau für Tabelle 1 die Schwingung dämpft, wird angenommen, dass der Magnet um 180° verdreht ist. Zur Korrektur wird folgende Rechnung durchgeführt:

$$T_{\text{m, hor.}} = T_{\text{m, vert.}} - (T_{\text{m, hor.}} - T_{\text{m, vert.}}) = (19.75 \pm 0.08) \text{s}. \quad (35)$$

Mit

$$D = (1.539 \pm 0.005) \text{N m} \quad (36)$$

Tabelle 6: Messwerte der Periodendauern bei horizontalem Magnet in der Kugel.

| T / s |
|----------------|
| 19.889 |
| 19.889 |
| 19.838 |
| 19.871 |
| 19.877 |
| 19.899 |
| 19.969 |
| 19.965 |
| 19.943 |
| 19.906 |

kann nun B nach Umstellen der Gleichung (22) berechnet werden:

$$B = \frac{4\pi^2\theta}{mT_{\text{m, hor.}}^2} - \frac{D}{m} = (3.6 \pm 0.9) \cdot 10^{-5} \text{ T.} \quad (37)$$

Die Abweichung vom angegebenen Literaturwert $B = 3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ beträgt 20 %.

4. Diskussion

Der Schubmodul konnte gut bestimmt werden. Eine Abweichung von 23 % ist in Ordnung, da in die Größe viele mögliche Fehlerquellen einbezogen werden müssen. Zum Beispiel kann die Länge des Drahtes nur ungenau bestimmt werden, da mit einem millimetergenauen Maßband bei eingehängtem Draht gemessen wird.

Bei Bestimmung des magnetischen Moments muss erwähnt werden, dass das später bestimmte Erdmagnetfeld nicht in B einbezogen wird, also als vernachlässigbar angenommen wird.

Das Erdmagnetfeld kann mit 20 % gut bestimmt werden. Außerdem zu sehen ist, dass das Fehlerintervall relativ zum eigentlichen Wert ziemlich groß ist. Dadurch ist der Literaturwert auch in diesem Intervall.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Drehschwingungen*. 2016. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V102.pdf>.

A. Kopie der Originaldaten