

M10: Gyroskop

Verfasser: Dan-Nha Huynh, 512230

Versuchspartner: Marco Kraft

Versuchsbetreuer: Dr. U. Preppernau

Versuchsplatz 2

Versuchsdatum: 30.04.2008

1. ZIELSTELLUNG	3
2. VERWENDETE MESSINSTRUMENTE	3
3. VERSUCHSAUFBAU	3
4. BESTIMMUNG DES HAUPTTRÄGHEITSMOMENTES J_x	3
4.1 METHODE 1: BESTIMMUNG VON J_x BEI KONSTANTER KREISELDREHZAHL	3
4.1.1 Durchführung	4
4.1.2 Messdaten und Modifizierung	4
4.1.3 Graphische Darstellung	6
4.1.4 Berechnung von J_x	7
4.1.5 Ergebnis	7
4.2 METHODE 2: BESTIMMUNG VON J_x BEI KONSTANTEM DREHMOMENT	7
4.2.1 Durchführung	7
4.2.2 Messdaten und Modifizierung	8
4.2.3 Graphische Darstellung	8
4.2.4 Berechnung von J_x	9
4.2.5 Ergebnis	9
4.3 METHODE 3: BESTIMMUNG VON J_x AUS DER BAUSKIZZE	9
4.3.1 Kreislaufbau	9
4.3.2 Berechnung von J_x	10
4.3.3 Ergebnis	10
4.4 FAZIT	10
5. BESTIMMUNG DER HAUPTTRÄGHEITSMOMENTE J_y UND J_z	11
5.1 DURCHFÜHRUNG	11
5.2 MESSDATEN UND MODIFIZIERUNG	12
5.3 GRAPHISCHE DARSTELLUNG	12
5.4 BERECHNUNG VON J_s	13
5.5 ERGEBNIS	13
6. KRITISCHE BETRACHTUNG	14
7. APPENDIX	15

1. Zielstellung

Ziel ist die Beobachtung von Nutation und Präzession sowie Ermittlung von Hauptträgheitsmomenten bzw. der am besten geeigneten Methode zur Bestimmung von Hauptträgheitsmomenten.

Hinweis: Für weitere Informationen zu den Aufgabenstellungen sowie den physikalischen und rechen-technischen Grundlagen dieses Versuches sei auf die beiden Skripteⁱ verwiesen.

2. Verwendete Messinstrumente

Messschieber ($e_s = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m} + 10^{-4} \cdot l$), Kreiseldrehzahlmesser (1 LSD + beobachtete Schwankung ΔN), Digitalstoppuhr ($e_s = 0,01 \text{ s} + 5 \cdot 10^{-4} t$)

3. Versuchsaufbau

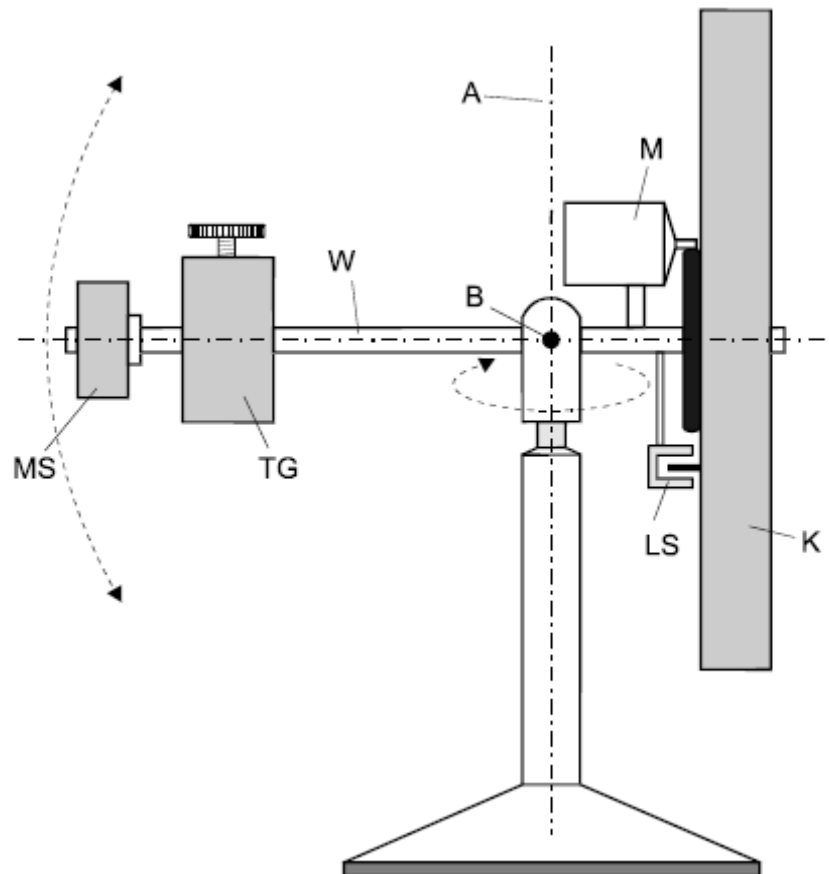


Abbildung 3-1: Gyroskop

MS: Zylindrisches Massestück, TG: Targewicht, W: Waagebalken, A: Achsen, B: Drehpunkt, M: Motor, LS: Lichtschrankenordnung, K: Kreisel

4. Bestimmung des Hauptträgheitsmomentes J_x

Methode 1: Bestimmung von J_x bei konstanter Kreiseldrehzahl

Durchführung

Bevor jegliche Messung erfolgt, muss das Gyroskop zunächst mit Hilfe der am Sockel des Gerätes angebrachten Dosenlibelle in exakt horizontale Lage gebracht werden. Das Gyroskop wird an Netzgerät und Kreiseldrehzahlmesser angeschlossen. Der Motor wird angeschaltet und der Kreisel damit in Rotation versetzt. Die Spannung des Netzgerätes soll so hoch geschaltet werden, dass der Kreisel eine Kreiseldrehzahl von ca. $n = 12s^{-1}$ erreicht.

Nun wird mit Hilfe des am Waagebalken befestigten Tariergewichtes ohne aufgestecktes Massestück das Gyroskop austariert. Wenn nötig wird die Spannung des Netzgerätes nochmals so reguliert, dass wieder die anfängliche Kreiseldrehzahl erreicht ist.

Schließlich wird ein zylindrisches Massestück am Ende des Waagebalkens aufgesteckt, wodurch es zur Präzession des Kreisels kommt, da nun zusätzlich die Gewichtskraft des Massestückes wirkt. Es wird dann die dreifache Präzessionsdauer gemessen (entspricht der Dauer von drei Umdrehungen um die Drehachse A, siehe Abbildung 3-1). Diese Messung wird für zehn verschiedene Massestücke durchgeführt.

Messdaten¹ und Modifizierung

Messung i	Masse m_i /kg	3-fache Präzessionsdauer $3 \cdot T_{Pi}/s$	Präzessionsdauer T_{Pi}/s
1	0,050	42,72	14,24
2	0,100	21,47	7,16
3	0,150	14,32	4,77
4	0,200	10,82	3,61
5	0,250	8,59	2,86
6	0,300	7,94	2,65
7	0,350	6,50	2,17
8	0,400	5,59	1,86
9	0,450	5,09	1,70
10	0,500	4,72	1,57

Tabelle 4.1.2-1

Die dreifache Präzessionsdauer wurde durch 3 geteilt.

Aus den einzelnen Massen kann nun der Betrag des jeweiligen Drehmomentes M_i bestimmt werden:

$$M_i = \left(d - \frac{h}{2} \right) \cdot m_i \cdot g \quad (\text{Gl. 4.1.2-1})$$

g: Erdbeschleunigungⁱⁱ $(9\,812\,616,62 \pm 0,05) \mu\text{m s}^{-2}$

¹ Das Messdatenprotokoll befindet sich im Anhang.

d : Abstand der Drehachse zum äußersten Punkt des Massestückes auf dem Waagebalken (vgl.

Bauskizze im Anhang); $d = 181,5\text{mm}$

h : Höhe des zylindrischen Massestückes; $h = 25,0\text{mm}$

Dabei ist der Faktor $d - \frac{h}{2}$ der senkrechte Abstand der Drehachse A zum Schwerpunkt des Massestückes (s. Abbildung 3-1).

Die Messunsicherheit u der Drehmomente ergibt sich aus den systematischen Messabweichungen e_s von d und h , m_i und g werden an dieser Stelle hingegen als fehlerfrei angenommen². Die systematischen Messunsicherheiten von d und h ergeben sich dabei entsprechend der Angabe für den Restfehler des Messschiebers (s. Abschnitt 2):

$$e_s(h) = 6,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$e_s(d) = 5,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung ergibt sich dann:

$$u(M_i) = \sqrt{(m_i \cdot g \cdot e_s(d))^2 + \left(-\frac{m_i \cdot g \cdot e_s(h)}{2}\right)^2} \quad (\text{Gl. 4.1.2-2})$$

Nun werden die einzelnen Drehmomente invertiert ($1/M_i$). Die Messunsicherheit der inversen Drehmomente ist dann:

$$u\left(\frac{1}{M_i}\right) = \left| -\frac{u_{M_i}}{M_i^2} \right| \quad (\text{Gl. 4.1.2-3})$$

Die Messunsicherheit der einfachen Präzessionsdauer ergibt sich nach Fehlerfortpflanzung aus der systematischen Messabweichung der dreifachen Präzessionsdauer, welche sich entsprechend der Angabe in Abschnitt 2 ergibt:

$$e_s(3 \cdot T_{P_i}) = 0,01\text{s} + 5 \cdot 10^{-4} \cdot T_{P_i}$$
$$u(T_{P_i}) = \left| \frac{e_s(3 \cdot T_{P_i})}{3} \right| \quad (\text{Gl. 4.1.2-4})$$

Die Ergebnisse jener Berechnungen finden sich in folgender Tabelle:

² Da keine Angaben zur Messunsicherheit der Massen m vorliegen, werden diese an dieser Stelle als fehlerfrei angenommen, zumal auch keine Informationen zur ursprünglichen Ermittlung der Massen vorhanden sind. Die Erdbeschleunigung als fehlerfrei angenommen werden, da ihre relative Messunsicherheit $u_g / g \cong 5,1 \cdot 10^{-9}$ im Vergleich zu den relativen Messunsicherheiten der anderen Größen vernachlässigbar klein ist (vgl. kleinste relative Messunsicherheit der anderen Größen $u_h / h \cong 3,8 \cdot 10^{-4}$).

Messung i	T_{Pi}/s	$u(T_{Pi})/s$	M_i/Nm	$u(M_i)/Nm$	$M^{-1}/(Nm)^{-1}$	$u(M_i^{-1})/(Nm)^{-1}$
1	14,2400000	0,01045333	0,0828945	3,58216E-05	12,0635265	0,005213065
2	7,15666667	0,00691167	0,165789	7,16431E-05	6,03176327	0,002606532
3	4,77333333	0,00572	0,2486835	0,000107465	4,02117551	0,001737688
4	3,60666667	0,00513667	0,331578	0,000143286	3,01588163	0,001303266
5	2,86333333	0,004765	0,4144725	0,000179108	2,41270531	0,001042613
6	2,49666667	0,00458167	0,497367	0,000214929	2,01058776	0,000868844
7	2,16666667	0,00441667	0,5802615	0,000250751	1,72336093	0,000744724
8	1,86333333	0,004265	0,663156	0,000286573	1,50794082	0,000651633
9	1,69666667	0,00418167	0,7460505	0,000322394	1,34039184	0,000579229
10	1,57333333	0,00412	0,828945	0,000358216	1,20635265	0,000521306

Tabelle 4.1.2-2

Nun kann die Präzessionsdauer in Abhängigkeit des inversen Drehmomentes dargestellt werden (farbig markierte Spalten), wobei die jeweils angegebenen Messunsicherheiten der Darstellung von Fehlerbalken dient.

Graphische Darstellung

Durch die Messpunkte wird ein linearer Fit durch den Ursprung gelegt und eine Gewichtung vorgenommen.

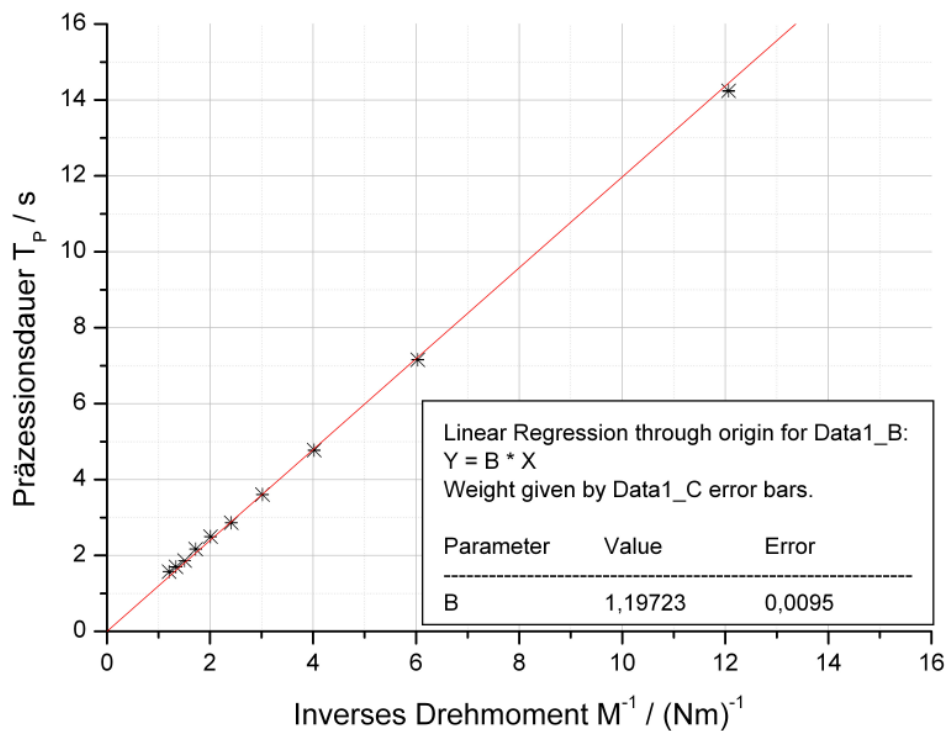


Abbildung 4.1.3-1: Graph zur Ermittlung des Hauptträgheitsmomentes J_x bei konstanter Kreiseldrehzahl

Geradenanstieg: $B = (1,200 \pm 0,010)$ Nms

Berechnung von J_x

Zwischen Präzessionsdauer und inversem Drehmoment besteht folgender linearer Zusammenhang:

$$T_p \left(\frac{1}{M} \right) = \underbrace{4\pi^2 n \cdot J_x}_{=B} \cdot \frac{1}{M} \quad (\text{Gl. 4.1.4-1})$$

Somit gilt für J_x :

$$J_x = \frac{B}{4\pi^2 n} \quad (\text{Gl. 4.1.4-2})$$

$$\underline{\underline{J_x \cong 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Die Messunsicherheit ergibt sich aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung:

$$u(J_x) = \sqrt{\left(\frac{1}{4\pi^2 n} u_B \right)^2 + \left(-\frac{B}{4\pi^2 n^2} u_n \right)^2} \quad (\text{Gl. 4.1.4-3})$$

u_B : Messunsicherheit von B (in 4.3 angegeben)

u_n : Messunsicherheit von n ($u_n = 0,06 \text{ s}^{-1}$, entsprechend Abschnitt 2)³

$$\underline{\underline{u(J_x) \cong 2,37 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis

$$\boxed{J_{x1} = (2,53 \pm 0,02) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Methode 2: Bestimmung von J_x bei konstantem Drehmoment

Durchführung

Es wird wiederum die dreifache Präzessionsdauer gemessen. Jedoch bleibt diesmal das Drehmoment konstant, d.h. das anzubringende Massestück von 200g wird nicht ausgewechselt. Stattdessen wird die Kreisdrehzahl im Bereich zwischen $n = 7 \text{ s}^{-1}$ und $n = 16 \text{ s}^{-1}$ variiert.

³ ΔN wurde hier mit $\pm 0,05 \text{ Hz}$ abgeschätzt. Die Angabe für ΔN im Messdatenprotokoll erschien als zu übertrieben. 1LSD entsprechen in diesem Fall $0,01 \text{ Hz}$.

Messdaten und Modifizierung

Messung i	3·T _p /s	T _p /s	u(T _p)/s	n/Hz	u(n)/s
1	6,72	2,24	0,00445	7,09	0,06
2	7,50	2,5	0,00458	8,03	0,06
3	8,16	2,72	0,00469	8,98	0,06
4	8,85	2,95	0,00481	9,72	0,06
5	9,82	3,27	0,00497	10,78	0,06
6	10,85	3,62	0,00514	12,01	0,06
7	11,72	3,91	0,00529	12,90	0,06
8	12,41	4,14	0,00540	13,99	0,06
9	13,13	4,38	0,00552	14,71	0,06
10	14,25	4,75	0,00571	15,93	0,06

Tabelle 4.2.2-1

Einfache Präzessionsdauer sowie deren Messunsicherheit wurden entsprechend 4.1.2 berechnet. Die Messunsicherheit der Kreiseldrehzahl ist in Abschnitt 4.1.4 angegeben.

Graphische Darstellung

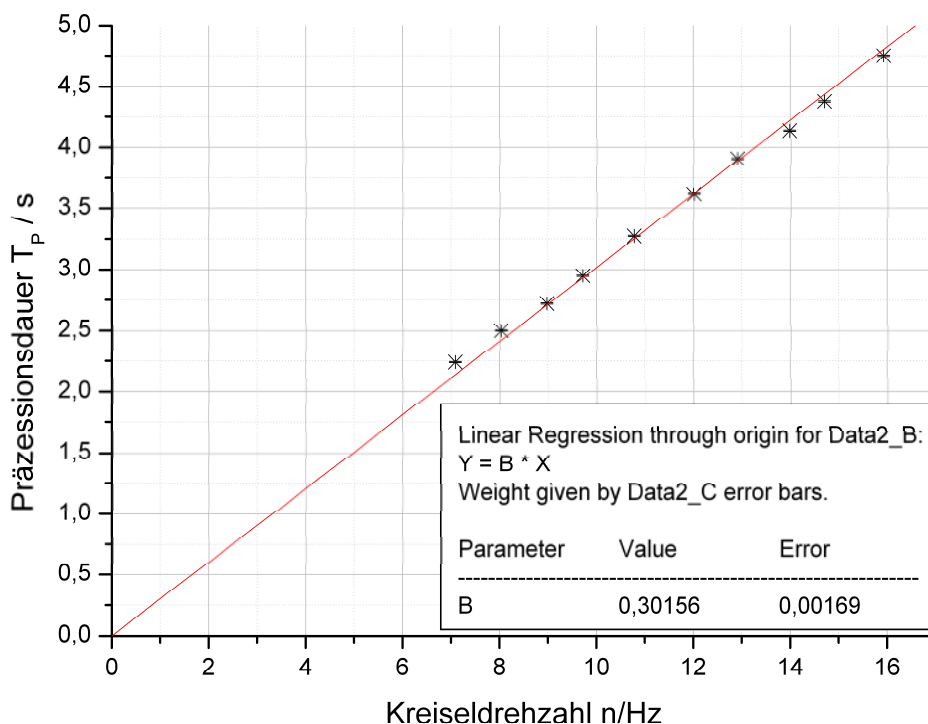


Abbildung 4.2.3-1: Graph zur Ermittlung des Hauptträgheitsmomentes J_x bei konstantem Drehmoment

Geradenanstieg: $B = (0,302 \pm 0,002) \text{ s}^2$

Berechnung von J_x

Es gilt weiterhin folgende Gleichung:

$$T_p(n) = 4\pi^2 \underbrace{\frac{1}{M_{200g}}}_{=B} \cdot J_x \cdot n \quad (\text{vgl. Gl. 4.1.4-1})$$

Somit gilt für J_x :

$$J_x = \frac{M_{200g} \cdot B}{4\pi^2} \quad (\text{Gl. 4.2.4-1})$$

$$\underline{\underline{J_x \cong 2,53 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Der Wert für das Drehmoment bei 200g (M_{200g}) sowie dessen Messunsicherheit sind in Tabelle 4.1.2-2 angegeben.

Aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung gilt für die Messunsicherheit von J_x :

$$u(J_x) = \sqrt{\left(\frac{B}{4\pi^2} u(M_{200g})\right)^2 + \left(\frac{M_{200g}}{4\pi^2} u_B\right)^2} \quad (\text{Gl. 4.2.4-2})$$

$$\underline{\underline{u(J_x) \cong 1,42 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis

$$\boxed{J_{x2} = (2,53 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Methode 3: Bestimmung von J_x aus der Bauskizze⁴

Kreislaufbau

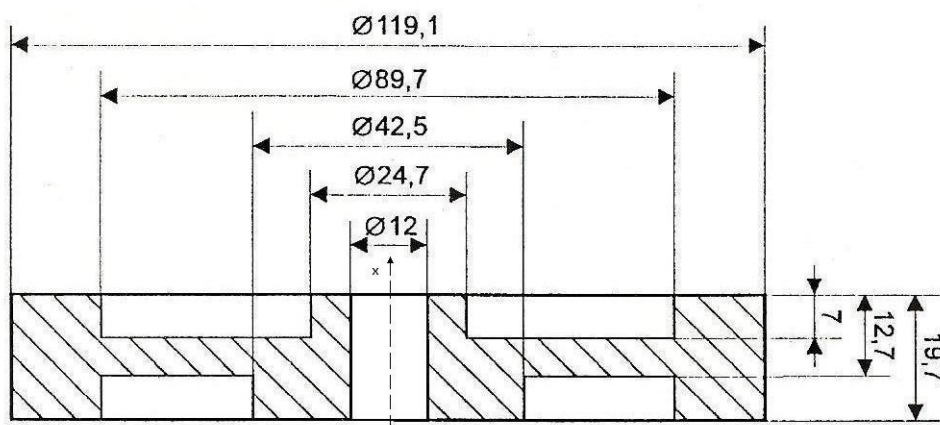


Abbildung 4.3.1-1: Kreisel

$$d_1 = 119,1\text{mm}, d_2 = 89,7\text{mm}, d_3 = 42,5\text{mm}, d_4 = 24,7\text{mm}, d_5 = 12,0$$

$$h_1 = 19,7\text{mm}, h_2 = 12,7\text{mm}, h_3 = 7,0\text{mm}$$

⁴ Die Bauskizze befindet sich im Anhang.

Berechnung von J_x

Bei dem Kreisel handelt es sich um einen Hohlzylinder mit zwei hohlzylindrischen Aussparungen. Um nun also das Trägheitsmoment des Kreisels bezüglich der x-Achse zu bestimmen, berechne man das Trägheitsmoment des großen Zylinders J_{xa} und ziehe die Trägheitsmomente der beiden kleineren Zylinder (J_{xb} und J_{xc}) von diesem ab. Für die Hohlzylinder gilt dabei:

$$J_{xa} = \frac{\rho \cdot h_1 \cdot \pi}{32} (d_1^4 - d_5^4) \quad (\text{Gl. 4.3.2-1})$$

$$J_{xb} = \frac{\rho \cdot h_3 \cdot \pi}{32} (d_2^4 - d_4^4) \quad (\text{Gl. 4.3.2-2})$$

$$J_{xc} = \frac{\rho \cdot (h_1 - h_2) \cdot \pi}{32} (d_2^4 - d_3^4) \quad (\text{Gl. 4.3.2-3})$$

$$J_x = J_{xa} - J_{xb} - J_{xc} \quad (\text{Gl. 4.3.2-4})$$

$$\underline{\underline{J_x \cong 2,54 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung ergibt sich als Messunsicherheit von J_x :

$$u(J_x) = \frac{\rho\pi}{32} \sqrt{\left((d_1^4 - d_2^4 + d_3^4 - d_5^4) \cdot u(h_1) \right)^2 + \left(-(d_2^4 - d_4^4) \cdot u(h_3) \right)^2 + \left((d_2^4 - d_3^4) \cdot u(h_2) \right)^2 + \left(4d_1^3 \cdot h_1 \cdot u(d_1) \right)^2 + \left(-4d_5^3 \cdot h_1 \cdot u(d_5) \right)^2 + \left(4d_4^3 \cdot h_3 \cdot u(d_4) \right)^2 + \left(4d_2^3 (h_2 - h_1 - h_3) \cdot u(d_2) \right)^2 + \left(4d_3^3 (h_1 - h_2) \cdot u(d_3) \right)^2}$$

$$(\text{Gl. 4.3.2-5})$$

$$\underline{\underline{u(J_x) \cong 1,20 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^3}}$$

Ergebnis

$$J_{x3} = (2,54 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Fazit

Vergleicht man die Messunsicherheiten für J_x aus den Abschnitten 4.1.4, 4.2.4 und 4.3.3, so stellt man die kleinste für Methode 3 fest (Methode 1: $2,37 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$, Methode 2: $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$, Methode 3: $9,8 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$). Die Methode 3 ist daher als am genauesten anzunehmen⁵.

Da sich die drei Werte innerhalb ihrer Messunsicherheiten überschneiden, lässt sich nun der gewichtete Mittelwert bilden:

⁵ Man hätte eine kleinere Messunsicherheit für Methode 2 als die die für Methode 3 erwarten können, da bei Methode 3 die Anzahl der zu berücksichtigenden Messunsicherheiten aufgrund der vielen verwendeten Messgrößen größer ist als in Methode 2.

$$J_x = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{u_3^2}{u_i^2} \cdot J_{xi}}{\sum_{i=1}^3 \frac{u_3^2}{u_i^2}} \quad (\text{Gl. 4.4-1})$$

$$\underline{\underline{J_x \cong 2,54 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Für die Messunsicherheit gilt dabei:

$$u(J_x) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{u_3^2}{u_i^2} \cdot u_i \right)}}{\sum_{i=1}^3 \frac{u_3^2}{u_i^2}} \quad (\text{Gl. 4.4-2})$$

$$\underline{\underline{u(J_x) = 1,32 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis:

$$\boxed{J_x = (2,54 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

5. Bestimmung der Hauptträgheitsmomente J_y und J_z

Mit Hilfe des besten Wertes für J_x aus Abschnitt 4 können nun auch die Hauptträgheitsmomente J_y und J_z bestimmt werden. An dieser Stelle wollen wir diese beiden Trägheitsmomente identifizieren und mit J_s bezeichnen:

$$J_y = J_z \equiv J_s \quad (\text{Gl. 5-1})$$

Durchführung

Am präzessionsfreien Kreisel, auf den also keine zusätzliche Gewichtskraft wird, soll die Nutationsperiode T_N gemessen werden. Dazu wird der Kreisel kurz angestoßen und führt infolgedessen eine Nutationsbewegung aus. Die vierfache Nutationsperiode $4 \cdot T_N$ wird für 10 verschiedene Kreiseldrehzahlen zwischen $n = 4\text{s}^{-1}$ und $n = 12\text{s}^{-1}$ gemessen.

Messdaten und Modifizierung

Messung i	n_i/Hz	$e_s(n_i)/\text{Hz}$	n_i^{-1}/s	$u(n_i^{-1})/\text{s}$	$4 \cdot T_{Ni}/\text{s}$	T_{Ni}/s	$e_s(T_{Ni})$
1	4,12	0,06	0,24272	0,00353	2,63	0,6575	0,00283
2	4,88	0,06	0,20492	0,00252	2,16	0,5400	0,00277
3	5,80	0,06	0,17241	0,00178	1,87	0,4675	0,00273
4	6,60	0,06	0,15152	0,00138	1,56	0,3900	0,00270
5	7,47	0,06	0,13387	0,00108	1,41	0,3525	0,00268
6	8,40	0,06	0,11905	0,00085	1,28	0,3200	0,00266
7	9,01	0,06	0,11099	0,00074	1,16	0,2900	0,00265
8	10,06	0,06	0,09940	0,00059	1,03	0,2575	0,00263
9	10,93	0,06	0,09149	0,00050	0,97	0,2425	0,00262
10	11,98	0,06	0,08347	0,00042	0,91	0,2275	0,00261

Tabelle 5.2-1

Es wurde die inverse Kreiseldrehzahl n^{-1} berechnet. Deren Messunsicherheit ergab sich dann folgendermaßen:

$$u(n^{-1}) = \left| -\frac{e_s(n_i)}{n_i^2} \right| \quad (\text{Gl. 5.2-1})$$

Die Messunsicherheit der einfachen Periodendauer ergab sich analog zu Gl. 4.1.2-4.

Nun lässt sich die Nutationsdauer in Abhängigkeit von der inversen Kreiseldrehzahl graphisch darstellen.

Graphische Darstellung

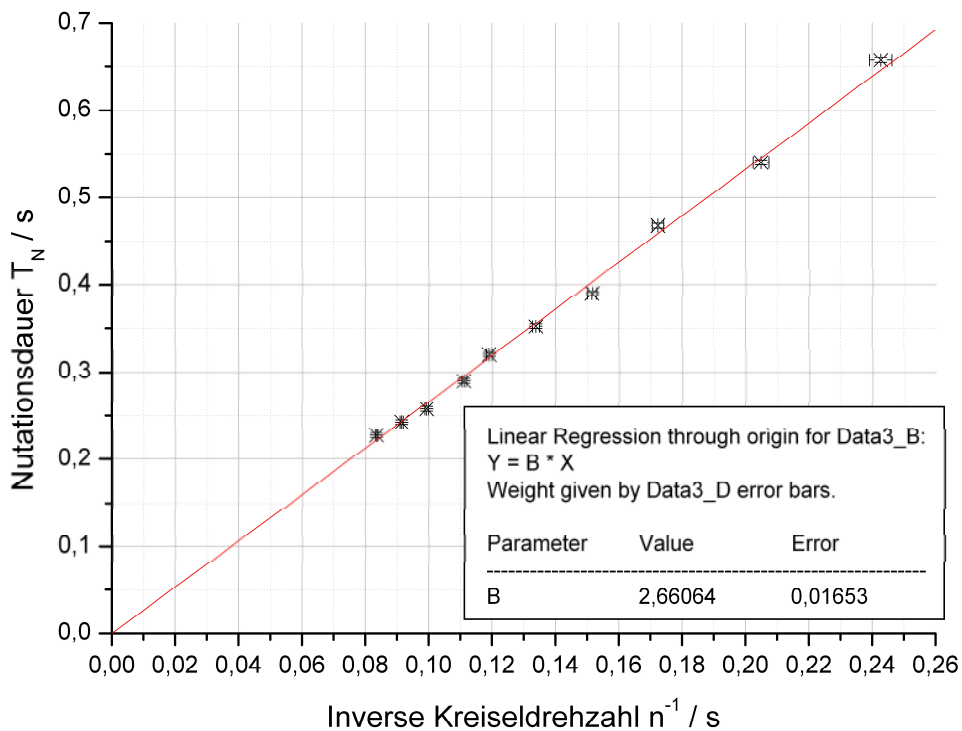


Abbildung 5.3-1: Graph zur Ermittlung von J_s

Geradenanstieg: $B = 2,66 \pm 0,02$

Berechnung von J_s

Zwischen Nutationsdauer und inverser Kreiseldrehzahl besteht folgender linearer Zusammenhang:

$$T_N \left(\frac{1}{n} \right) = \underbrace{J_s}_{=B} \cdot \frac{1}{n} \quad (\text{Gl. 5.4-1})$$

Somit gilt für J_s :

$$J_s = B \cdot J_x \quad (\text{Gl. 5.4-2})$$

$$\underline{\underline{J_s \cong 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Aus pythagoreischer Fehlerfortpflanzung ergibt sich für die Messunsicherheit von J_s :

$$u_{J_s} = \sqrt{(J_x \cdot u_B)^2 + (B \cdot u_{J_x})^2} \quad (\text{Gl. 5.4-3})$$

$$\underline{\underline{u_{J_s} \cong 4,80 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis

$$\boxed{J_s = (6,75 \pm 0,05) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

6. Kritische Betrachtung

Der Referenzwert für J_s am Versuchsplatz 2 beträgt $J_s = (8,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Der in Abschnitt 5 errechnete experimentelle Wert liegt daher auch innerhalb der Messunsicherheiten nicht im Bereich des Sollwertes, welcher für den Kreisel allein gilt. Es ist daher mit einem groben Fehler zu rechnen, da aufgrund des nicht im Sollwert berücksichtigten Trägheitsmomentes des Motors der experimentelle Wert über dem Sollwert liegen sollte. Wahrscheinlich ist, dass nicht wie im Messdatenprotokoll angegeben die vierfache Periodendauer, sondern die dreifache gemessen wurde. Tatsächlich stimmt der berechnete Wert für die dreifache Periodendauer mit dem zu erwartendem Ergebnis überein:

Messung i	n_i^{-1}/s	$u(n_i^{-1})/\text{s}$	T_{Ni}/s	$e_s(T_{Ni})$
1	0,24272	0,00353	0,87667	0,00377
2	0,20492	0,00252	0,72000	0,00369
3	0,17241	0,00178	0,62333	0,00365
4	0,15152	0,00138	0,52000	0,00359
5	0,13387	0,00108	0,47000	0,00357
6	0,11905	0,00085	0,42667	0,00355
7	0,11099	0,00074	0,38667	0,00353
8	0,09940	0,00059	0,34333	0,00351
9	0,09149	0,00050	0,32333	0,00350
10	0,08347	0,00042	0,30333	0,00349

Tabelle 6-1

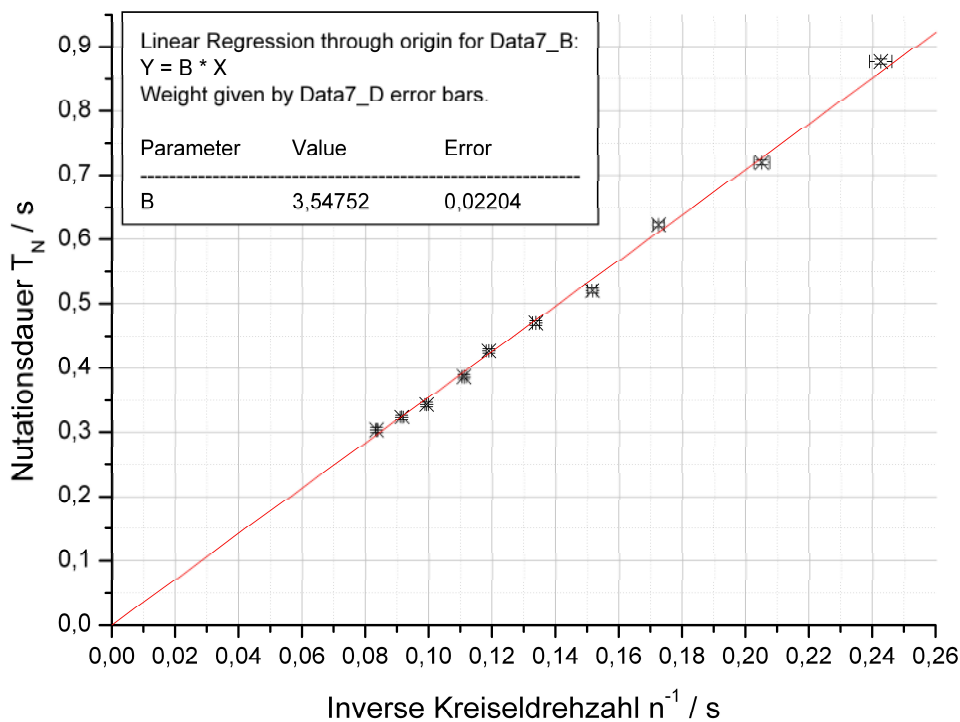


Abbildung 6-1: Graph zur Ermittlung von J_s

Geradenanstieg: $B = 3,55 \pm 0,02$

Die Rechnung wird nun analog zu Abschnitt 5.4 durchgeführt und man erhält für J_s :

$$J_s = (9,00 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Dieser Wert liegt nun deutlich über dem Sollwert, jedoch innerhalb dessen Messunsicherheitsgrenzen.

Während des Versuches ergaben sich zudem folgende Probleme:

- Das Austarieren des Waagebalkens zu Beginn des Versuches erweist sich als schwierig, da dieser nicht reibungsfrei auf der Halterung gelagert ist. Außerdem lässt sich die horizontale Lage des Waagebalkens nur subjektiv bestimmen, d.h. das Austarieren ist vom Blickwinkel und dem Beurteilungsvermögen des Experimentators abhängig.
- Die Reaktionszeit des stoppenden Experimentators ist stark konzentrationsabhängig und kann während des Versuches variieren. Dies ist jedoch nur dann ein Problem, wenn die Reaktionszeit des Experimentators während zweier Stoppzeiten schwankt.
- Die Messung der Nutationsdauer erweist sich als besonders schwierig, da die Nutationsbewegung sehr schnell und daher die Nutationsdauer für den Experimentator nur schwer zu erfassen ist. Er benötigt daher ein besonders hohes Maß an Konzentration, welche – wie schon erwähnt – während des Versuches abnehmen kann.

7. Appendix

Messdatenprotokoll und Bauskizze befinden sich hinten.

Für die Erstellung dieses Protokolls wurden *Microsoft Word 2003*, *Microsoft Excel 2003* und *ORIGIN 7.0* verwendet.

Quellenangabe:

ⁱ A) Vgl. [81-87], *Physikalisches Grundpraktikum – Mechanik und Thermodynamik 2005*, Humboldt-Universität, Berlin, August 2005

B) Vgl. *Physikalisches Grundpraktikum – Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik 2007*, Humboldt-Universität, Berlin, November 2007

ⁱⁱ <http://www.ifag.de/Geodaesie/dsgn/DSGN94.htm> (letztes Update: 10:31 Samstag, den 24. Dezember 2005)