

# Drehpendel

## Laborbericht Für Labor Physik und Grundlagen der Elektrotechnik SS 2003

Erstellt von: G. Schley, B. Drollinger  
Mat.-Nr.: 290933, 291339  
Datum: 29.04.2003

# Inhalt

1	Stichworte .....	3
1.1	Schwingungsarten .....	3
1.1.1	Allgemein .....	3
1.1.2	Freie harmonische Schwingung (Quasifreie Schwingung) .....	3
1.1.3	Gedämpfte Schwingung .....	3
1.1.4	Erzwungene Schwingung .....	3
1.1.5	Resonanz .....	3
1.2	Drehpendel .....	4
1.3	Massenträgheitsmoment .....	4
2	Drehpendel .....	5
2.1	Quasifreie Schwingung .....	5
2.2	Gedämpfte Schwingung .....	5
2.3	Amplitudenverlauf .....	6
3	Schwingkreis .....	8
3.1	Grund für die elektrische Schwingung .....	8
3.2	Versuchsbeschreibung .....	8
3.3	LC-Schwingkreis - freie Schwingung und Dämpfung .....	9
3.4	LC-Schwingkreis - Amplitude, Resonanzfrequenz und Bandbreite .....	10
3.5	RCL-Schwingkreis .....	11
4	Drehpendel 2 .....	12
4.1	Erzwungene Schwingungen .....	12
4.2	Bestimmung der Winkelrichtgröße .....	13
5	Diagramme und Tabellen .....	15
6	Literatur .....	18
7	Anhang .....	18

# 1 Stichworte

## 1.1 Schwingungsarten

### 1.1.1 Allgemein

Ein elastisch gebundener Körper wird aus der Ruhelage ausgelenkt. Wird er im ausgelenkten Zustand nun losgelassen beschleunigt er auf seine Ruhelage zu und läuft infolge seiner Trägheit über diese hinaus. Nach dem Durchgang durch die Ruhelage wirkt die rücktreibende Kraft verzögernd, da jetzt die Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist. Im Amplitudenmaximum (Umkehrpunkt) kommt der Körper zur Ruhe. Jetzt wiederholt sich der Bewegungsablauf in umgekehrte Richtung. Diesen periodisch wiederkehrenden Vorgang nennt man Schwingung.

### 1.1.2 Freie harmonische Schwingung (Quasifreie Schwingung)

Die freie harmonische Schwingung kann als Idealfall der Schwingungsarten bezeichnet werden. Das schwingende System wird einmalig von außen angeregt und schwingt dann ohne Reibung mit konstanter Amplitude. Hierbei tritt eine verlustfreie Umsetzung der kinetischen in potentielle Energie und umgekehrt ein.

### 1.1.3 Gedämpfte Schwingung

Die im Alltag zu beobachtenden Schwingungen sind die gedämpften Schwingungen. Sie kommen nach einer endlichen Zeit zur Ruhe, da sie im Gegensatz zur freien harmonischen Schwingung einen Energieverlust durch Reibung erleiden. Dies hat zur Folge, dass die Amplitude mit jeder Periode kleiner wird.

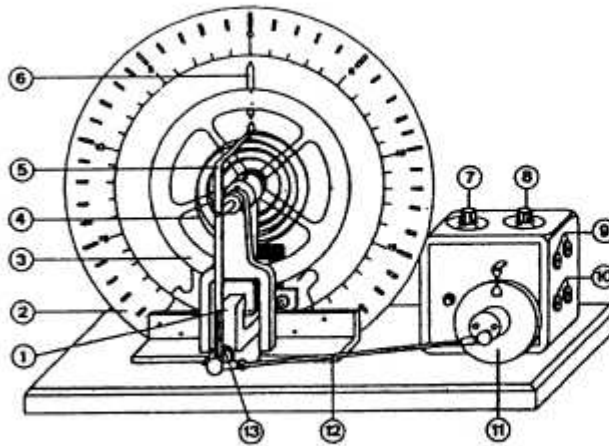
### 1.1.4 Erzwungene Schwingung

Wirkt von außen ein periodisches Drehmoment mit einer festen Kreisfrequenz  $\omega$ , dann stellt sich nach einem kurzen Einschwingvorgang ein stabiler Schwingzustand ein. Wird als Erregerschwingung von außen die Eigenfrequenz des Schwingensystems eingestellt ist die Amplitude maximal. Diese Art von Schwingung heißt erzwungene Schwingung und kann zum Beispiel beim Drehpendel beobachtet werden.

### 1.1.5 Resonanz

Ist die Frequenz des Erregers gleich der Frequenz des Resonators und die Phase des Erregers  $90^\circ$  vor der des Resonators, dann tritt Resonanz auf. Die Amplitude des Resonators erreicht ein Maximum. Je größer die Dämpfung desto kleiner das Maximum der Amplitude.

## 1.2 Drehpendel



1. Elektromagnet
2. Skala
3. schwingendes System
4. Spiralfeder
5. Übertragungshebel
6. Zeiger des schwingenden Systems
7. Drehzahleinstellung, fein
8. Drehzahleinstellung, grob
9. Buchsen für Motorspannung
10. Meßbuchsen für Erregerspannung
11. Antriebsrad und Exzenter
12. Schubstange
13. Führungsschlitz zur Einstellung der Amplitude

Abbildung 1: Drehpendel nach Pohl

Das schwingende System besteht aus einem kugelgelagertem Kupferad (3), das über eine Spiralfeder (4) mit dem Erregergestänge (12) verbunden ist. Die Anregung erfolgt über einen Exzenter (11) durch einen Elektromotor mit grob und fein einstellbarer Drehzahl (7,8). Die Dämpfung des schwingenden Systems wird durch einen als Wirbelstrombremse wirkenden Elektromagneten (1) bewirkt, zwischen dessen Polen das Rad läuft. Über die Stromstärke läßt sich das Maß der Dämpfung kontinuierlich regeln.

Mithilfe des Drehpendels ist es möglich die drei oben genannten Schwingungsarten zu untersuchen.

## 1.3 Massenträgheitsmoment

Die kinetische Energie einer punktförmigen Masse  $m$ , die sich im Abstand  $r$  um eine feste Achse  $A$  mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  dreht, heißt (Massen-) Trägheitsmoment von  $m$  in bezug auf  $A$ .

Der gleiche Körper kann verschiedene (Massen-) Trägheitsmomente besitzen, je nachdem ob sie sich in kleinerem oder größerem Abstand von der Achse befinden. Für die Rotationsbewegung ist deshalb nicht die Masse sondern das (Massen-) Trägheitsmoment das geeignete Maß.

Misst man die Periodendauer  $T$  einer Schwingung kann man mittels der Formel  $J = \frac{T^2 mgl}{4\pi^2}$  das (Massen-) Trägheitsmoment berechnen. Dabei ist  $l$  der Abstand zwischen Drehachse und Schwerpunkt,  $m$  ist die Masse und  $g$  die Gravitationskonstante.

## 2 Drehpendel

### 2.1 Quasifreie Schwingung

Bei stillstehendem Motor sollte die Eigenfrequenz des ungedämpften Systems ermittelt werden. Hierzu wurden jeweils 3 Messungen zu je 10 Schwingungen für 3 Anfangsauslenkungen von 30°, 45° und 60° mithilfe einer Stoppuhr gemacht. Anschließend wurden die gemessenen Zeiten durch den Faktor 10 geteilt um die Schwingungsdauer T einer Periode zu bestimmen.

Auslenkung in Grad	Schwingungsdauer T in s.			Mittelwert T* in s	Mittelwert der Frequenz in Hertz
	Messung 1	Messung 2	Messung 3		
30	1,950	1,950	1,934	1,945	0,514
45	1,941	1,934	1,950	1,942	0,515
60	1,938	1,939	1,938	1,938	0,516

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass bei größerer Auslenkung die Periodendauer kleiner bzw. die Frequenz größer wird.

Nimmt man die Zeit für 10 Schwingungen unterscheiden sich die gemittelten Schwingungsdauern der drei Auslenkungen um bis zu 0,07 Sekunden. Die Theorie besagt das Die Schwingungsdauer unabhängig von der Auslenkung ist. Die aufgetretene Zeitdifferenz ist durch Messungenauigkeiten und durch Reibung zu erklären.

### 2.2 Gedämpfte Schwingung

Es wurden wiederum je 3 Messungen à 10 Schwingungen gemittelt. Diesmal jedoch wurde die Schwingung mit einer Wirbelstrombremse, an der zwei niedrige Bremsströme ( $I_{B1} = 250mA$  und  $I_{B2} = 400mA$ ) anlagen, gedämpft. Der Anfangsauslenkwinkel betrug ca. 135° (ca. maximale Auslenkung).

Bremsstrom  $I_{B1} = 250mA$

Messung	Schwingungsdauer T / s	Frequenz/Hz
1	1,935	0,5168
2	1,938	0,5160
3	1,944	0,5144

Das Mittel der **Schwingungsdauer** T ist **1.9390 s**, die mittlere **Frequenz** beträgt **0,5157 Hz**.

Bremsstrom  $I_{B2} = 400mA$

Messung	Schwingungsdauer T / s	Frequenz/Hz
1	1,932	0,5176
2	1,928	0,5187
3	1,932	0,5176

Das Mittel der **Schwingungsdauer** T ist **1.9307 s**, die mittlere **Frequenz** beträgt **0,5180 Hz**

## Drehpendel

---

Unterscheiden sich die gedämpften Schwingungen nur durch ihren Bremsstrom, so wird die Amplitude der Resonanzschwingung um so größer, je kleiner die Dämpfung des Resonators wird. Daraus folgt für die Periodendauer, dass sie mit zunehmender Dämpfung kleiner wird.

Bei Bremsströmen größer 400 mA konnte keine richtige Messung mehr durchgeführt werden, da nach 4-5 Schwingungen sich die Auslenkung nur noch minimal um den Nullpunkt bewegte.

Auch hier ist die Abweichung der Schwingungsdauer wie in 2.1 zu erklären.

## 2.3 Amplitudenverlauf

Das logarithmische Dekrement von 2 aufeinanderfolgenden Schwingungsperioden wurde bei 3 niedrigen Dämpfungsgraden ( $I_{B1} = 150mA$ ,  $I_{B2} = 250mA$  und  $I_{B2} = 350mA$ ) bestimmt. Es wurden die Amplituden in Abhängigkeit von der Anzahl der Perioden gemessen. Hierzu wurden 11 aufeinander folgende Amplituden auf derselben Seite der Winkelskala abgelesen. Für jeden Dämpfungsgrad wurden zur Kontrolle zwei Messungen durchgeführt (Messwerte unter **5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.1)

Nun wurde der Mittelwert der Messungen 1 und 2 zu jedem Dämpfungsgrad ermittelt (**5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.2) und das Verhältnis zweier aufeinander folgender Maximalauschläge logarithmiert (logarithmisches Dekrement).

Die Formel des logarithmischen Dekrements ist 
$$\Delta = \ln \frac{\Psi_n}{\Psi_{n+1}} = \frac{B \cdot T}{2 \cdot J} = \delta \cdot T .$$

Die Ermittlung des Mittelwerts des logarithmischen Dekrements ergab folgende Werte:

bei 150 mA: 0,064

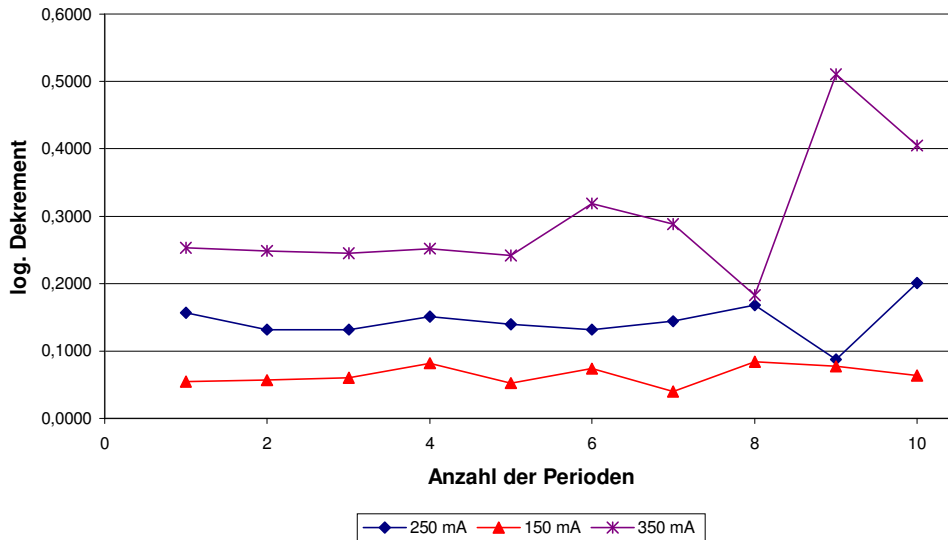
bei 250 mA: 0,144

bei 350 mA: 0,294

## Drehpendel

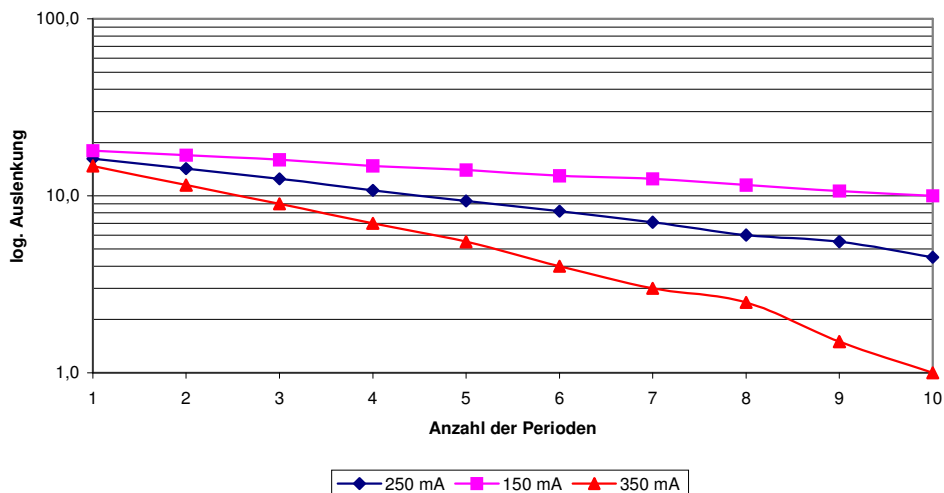
Trägt man die erhaltenen Werte in ein Diagramm ein, so soll man eine Gerade mit leichter negativer Steigung erhalten. Anhand der von uns ermittelten Werte kann dies höchstens bei den ersten drei Perioden der 350mA Kennlinie bestätigt werden. Je größer die Dämpfung desto größer wird der Ablesefehler. Dies wird besonders deutlich bei den letzten Schwingungen aufgrund des geringen Ausschlags.

Logarithmisches Dekrement



Über das Verhältnis  $\Delta = \frac{\Psi_n}{\Psi_{n+1}} = e^{\frac{B \cdot T}{2 \cdot J}} = e^{\delta \cdot T}$  ist zu erkennen, dass die Amplitude exponentiell abfallen muss.

Amplitudenverlauf



Anhand des halb-logarithmischen Diagramms ist zu erkennen, dass es sich bei dem Amplitudenverlauf um einen exponentiellen Verlauf handeln muß. Am Besten ist dies an der 150 mA-Dämpfungskennlinie zu erkennen, da dessen Kennlinie nahezu eine Gerade ergibt.

## 3 Schwingkreis

Unter einem elektrischen Schwingkreis versteht man die Hintereinanderschaltung eines Kondensators, einer Spule und gegebenenfalls eines ohmschen Widerstandes (wirkt dämpfend).

### 3.1 Grund für die elektrische Schwingung

Die Schwingung in einem elektrischen Schwingkreis lässt sich mit der eines Federpendels vergleichen.

Der Kondensator wird auf maximale Spannung aufgeladen. Es fließt kein Strom, die magnetische Feldenergie ist null. Im Kondensator ist die Feldenergie  $E_{el} = \frac{1}{2}Cu^2$  gespeichert.

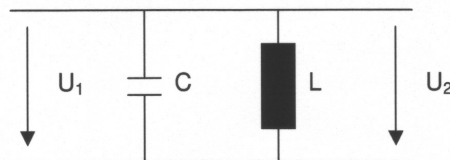
Nun entlädt sich der Kondensator mit zunehmender Stromstärke über die Spule. Die magnetische Energie des Spulenfeldes wächst in gleichem Maße wie die elektrische Energie des Kondensators abnimmt ( $E_g = E_{el} + E_{mag}$ ). Ist der Kondensator vollständig entladen besitzt er keine elektrische Energie mehr. Der

Entladestrom ist jetzt maximal. Das magnetische Feld der Spule besitzt nun die Energie  $E_{mag} = \frac{1}{2}Li^2$ .

Die Induktivität bewirkt ein Weiterfließen des Stroms über die Ladungsgleichverteilung hinaus. Nun nehmen die magnetische Feldenergie und die Stromstärke wieder ab. Der Kondensator lädt sich wieder auf, diesmal mit entgegengesetzter Polung. Er gewinnt wieder an elektrischer Energie. Ist der Kondensator wieder komplett aufgeladen fließt kein Strom mehr. Jetzt wiederholt sich der hier geschilderte Vorgang, diesmal in umgekehrter Richtung, bis die gesamte Energie durch Energieverlust „verloren“ geht.

### 3.2 Versuchsbeschreibung

Untersucht wurde ein Parallelschwingkreis, welcher ein Filter 2. Ordnung darstellte. Dazu wurden Dekaden verwendet.



Der Schwingkreis wurde an eine Gleichspannung angeschlossen. Nach kurzzeitigem Verbinden wurde die Spannungsquelle wieder abgetrennt. Die auf dem Kondensator befindlichen Ladungen pulsieren nun zwischen Spule und Kondensator hin und her. Dabei kam es zum Energieverlust (Wärmeenergie). Der Schwingkreis schwingt solange weiter, bis die gesamte Energie in Wärme umgewandelt war. Aufgrund des Energieverlustes spricht man von gedämpften elektrischen Schwingungen.

**Für die Messungen wurden folgende Bauteile benutzt:**

**Kondensator C:** Aufgabe 4a **0,2  $\mu F$**  Aufgaben 4b/c **20 nF**

**Spule L:** : Aufgabe 4a **200mH** Aufgaben 4b/c **20mH**

**Widerstände:** 100  $\Omega$  , 1000  $\Omega$  , 10k  $\Omega$



### 3.3 LC-Schwingkreis - freie Schwingung und Dämpfung

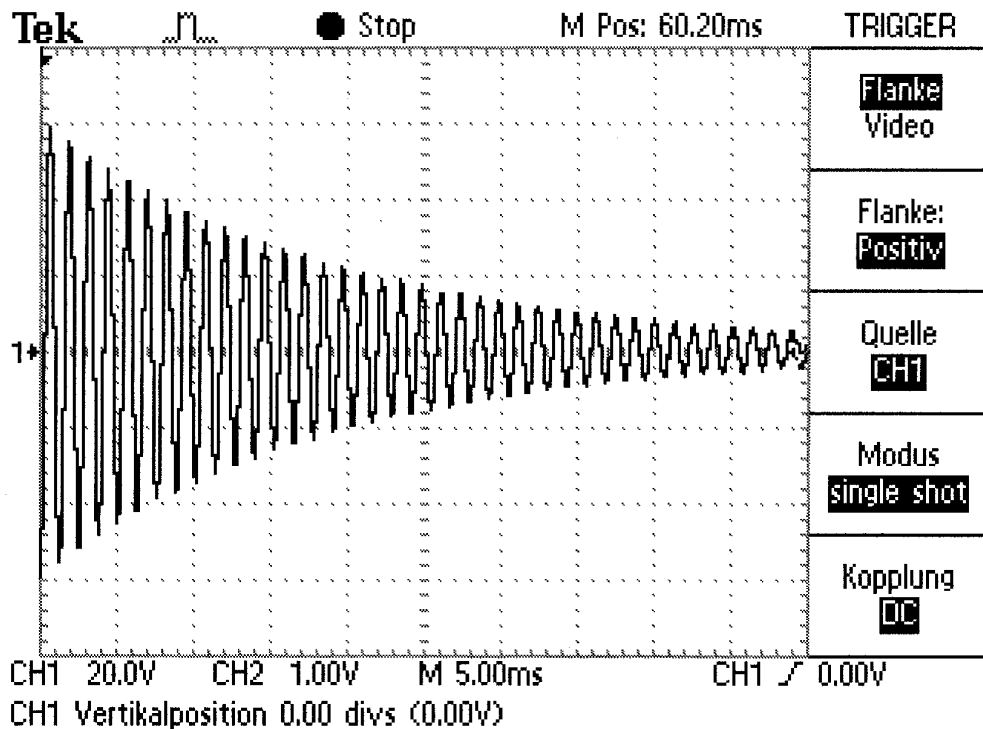
Zu bestimmen waren die freie Schwingung, die Eigenfrequenz und die Dämpfung eines LC-Gliedes. Hierzu wurde die Schaltung an Gleichspannung angeschlossen und der Oszillator auf „Single Shot“ gestellt. Nach kurzer Wartezeit wurde dann das Zuführkabel aus der Stromversorgung gezogen. Der Oszillator triggerte die immer kleiner werdende Amplitude. Das Ergebnis wurde ausgedruckt (Abb. 3.3.1).

Formel zur Berechnung der Resonanzfrequenz lautet:  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  (Thomson Formel)

Die errechnete Resonanzfrequenz liegt bei ~ **795,7 Hz**.

Aus Abb. 3.3.1 kann man ablesen, dass bei 10 ms etwa 8 Schwingungen stattfinden. Somit benötigt eine Schwingung die Zeit **T = 1,25ms**. Daraus folgt eine Frequenz von etwa **800 Hz**, welche mit der errechneten Resonanzfrequenz nahezu übereinstimmt.

Abb. 3.3.1



### 3.4 LC-Schwingkreis - Amplitude, Resonanzfrequenz und Bandbreite

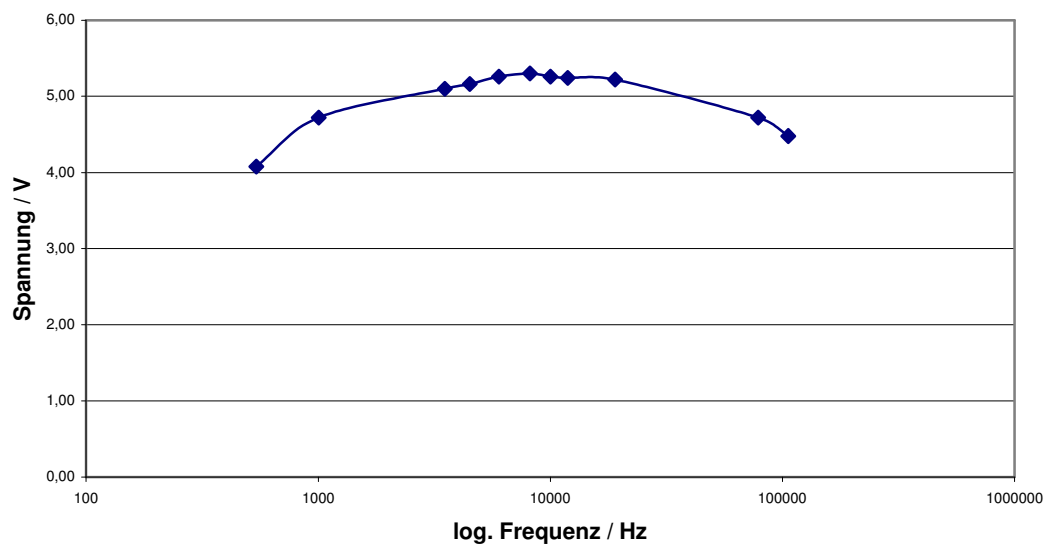
Zu messen waren die Amplitude in Abhängigkeit von der Frequenz für LC-Schwingkreise, die Resonanzfrequenz und die 3-dB Bandbreite (Güte).

Es waren jeweils 5 Messungen oberhalb und unterhalb der Resonanzfrequenz durchzuführen, davon 3 in der Nähe und 2 weiter weg.

Die Resonanzfrequenz ließ sich nicht genau messen (berechnet 7957 Hz.) wegen der Ungenauigkeit der Messinstrumente. Es kann allerdings die Aussage gemacht werden, dass sie zwischen 7530 Hz und 8480 Hz liegen muss (**5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.3). Zwischen diesen beiden Werten stieg die maximale Spannung von 5,30 V. Die restlichen Messwerte bestätigen diese Vermutung da die Spannung bei diesen Werten unter 5,30 V liegt (**5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.4)

Anhand dieser Messwerte ergibt sich folgendes Spannungs-Frequenz-Diagramm

Spg. in Abhängigkeit von der Frequenz am LC-Schwingkreis (ohne Widerstand)



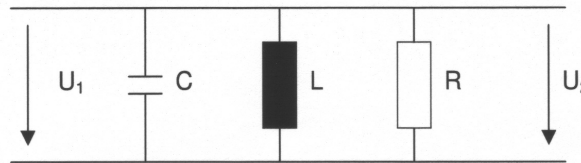
Die Bandbreite (Güte) berechnet man mit der Formel :  $U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$

Für  $U_1$  setzt man die Spannung ein, die beim Resonanzfall auftritt, hier 5,30 V. Hierdurch ergibt sich eine Spannung  $U_2 \approx 3,748V$  .

Anhand des Diagramms lassen sich die zu  $U_2$  zugehörigen Frequenzen nicht ablesen. Es lässt sich nur abschätzen, dass die beiden Punkte für die Güte unter 540 Hz und weit über 105800 Hz liegen müssen.

Rechnerisch ergaben sich die Frequenzen für die Güte bei  $f_1 \approx 450Hz$  und  $f_2 \approx 175kHz$  .

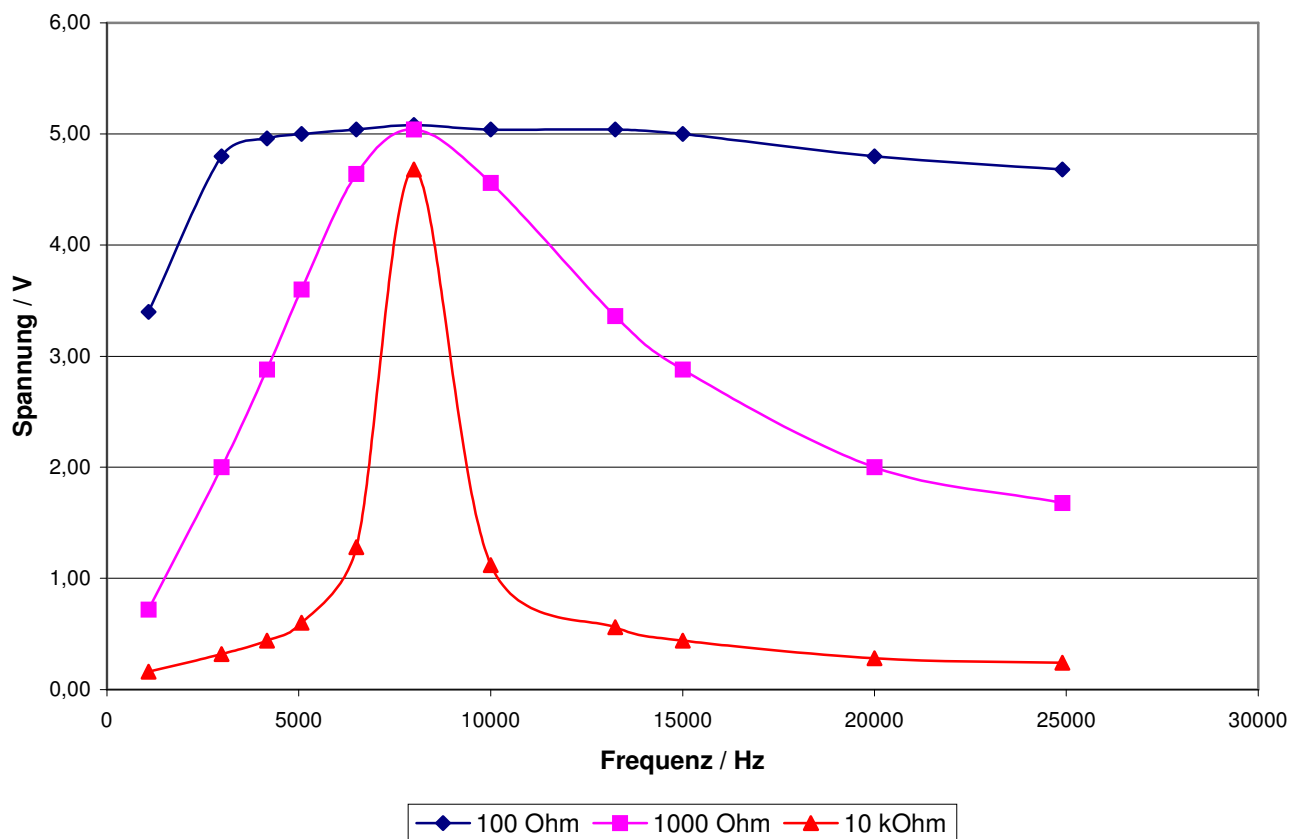
### 3.5 RCL-Schwingkreis



Es wurde in den 'ungedämpften' Schwingkreis jeweils ein kleiner, ein mittlerer und ein großer Widerstand R eingefügt. Anschließend wurde der Amplitudenfrequenzgang und die Bandbreite (Güte) bestimmt (5. Diagramme und Tabellen Tab. 5.2a)

Auch bei der gedämpften Schwingung ist zu erkennen, dass sich der Resonanzfall, wie in Tab. 5.2b (5. Diagramme und Tabellen) dargestellt, zwischen 7530 Hz und 8480 Hz befindet. Für die verschiedenen Widerstände konnten folgende Grenzfrequenzen ermittelt werden:

Spg. in Abhängigkeit von der Frequenz am LC-Schwingkreis (mit Widerstand)



100 Ω:  $f_{g1} \approx 1090$  Hz  $f_{g2} \approx 51430$  Hz bei 3,592 V  
 1 kΩ:  $f_{g1} \approx 5070$  Hz  $f_{g2} \approx 13150$  Hz bei 3,564 V  
 10 kΩ:  $f_{g1} \approx 6900$  Hz  $f_{g2} \approx 8800$  Hz bei 3,310 V

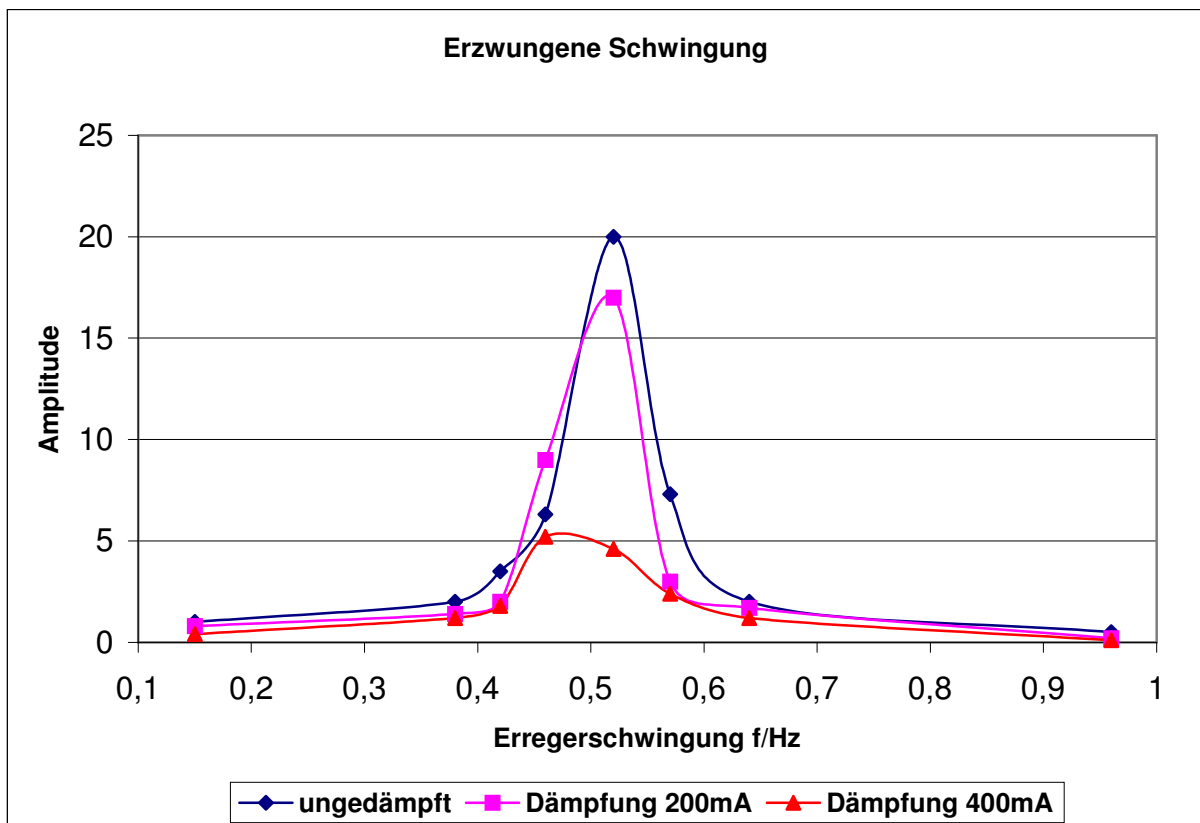
Aus dem Diagramm lässt sich erkennen, dass die Bandbreite mit steigendem Widerstand abnimmt.

## 4 Drehpendel 2

### 4.1 Erzwungene Schwingungen

Es sollte die Amplitude in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz für die ungedämpfte (zusätzliche Messergebnisse **5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.5), eine mittel gedämpfte und eine stark gedämpfte Schwingung (**5. Diagramme und Tabellen** Tab. 5.6) bestimmt werden. Das Drehpendel wurde mithilfe des Motors in Schwingung gebracht. Die Drehzahl des Motors wurde mit den beiden Einstellrädern (fein/grob) so eingestellt, dass das Pendel eine maximale Amplitude hatte (Abb. 4.1.1). Diese wird nur bei Resonanzfrequenz erreicht. In folgender Tabelle sind nur 12 der eingestellten Frequenzen aufgelistet, da erst protokolliert wurde, als annähernd die Resonanzfrequenz eingestellt war (bei 0,52 Hz).

Abb. 4.1.1



## 4.2 Bestimmung der Winkelrichtgröße

Durch die Messungen aus Teil 1 sollte die Winkelgröße errechnet werden.  
Hierzu wurde das Drehpendel vermessen:

Außenradius:	$r_a = 9,5 \text{ cm}$
Innenradius:	$r_i = 7,5 \text{ cm}$
Breite der Streben:	$b = 1 \text{ cm}$
Tiefe des Rades:	$d = 0,2 \text{ cm}$
Dichte Cu	$8,95 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Anzahl Streben	5
Masse des Rades	
$m_R = (r_a^2 \cdot d\pi\rho_{\text{kupfer}}) - (r_i^2 \cdot d\pi\rho_{\text{kupfer}})$	0,191 kg
Masse einer Strebe $m_S = r_i \cdot b d \rho_{\text{kupfer}}$	0,0134 kg

D = Winkelrichtgröße

J = Massenträgheitsmoment

$f_0$  = Resonanzfrequenz (~ 0.52 Hz)

Um **D** des Drehpendels bestimmen zu können muss die Formel

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{D}{J}}$$

nach **D** aufgelöst werden. Dies geschieht durch Quadrierung

$$D = J \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} = J \cdot 4\pi^2 f_0^2$$

Jetzt fehlt lediglich noch **J** um **D** zu errechnen. Dem Physikbuch Helmut Lindner – Physik für Ingenieure ist zu entnehmen, dass es verschiedene Formeln für das Massenträgheitsmoment gibt.

$$J = \frac{1}{2} m (r_a^2 + r_i^2) \text{ Massenträgheitsmoment für Hohlzylinder}$$

$$J = \frac{1}{12} m l^2 \text{ Massenträgheitsmoment für dünnen Stab}$$

**J** für Rad

$$J = \frac{1}{2} m_R (r_a^2 + r_i^2)$$

$$J_K = 1,399 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

**J** für 5 Streben. Zu beachten ist hier das der Drehpunkt nicht der Schwerpunkt, sondern ein Strebenende ist. Deswegen ist hier der Satz von Steiner ( $J = J_s + m s^2$ ) auf das Massenträgheitsmoment eines dünnen Stabes anzuwenden.

$$J = \frac{1}{12} \cdot m_s r_i^2 + \frac{1}{4} m_s r_i^2$$

durch Umformen erhält man

$$J = \frac{1}{3} m_s r_i^2$$

$$J_s = 2,5125 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Ergebnis wird mit 5 multipliziert

$$J_s = 1,2563 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

**J** gesamt

$$J_{ges} = J_R + J_s$$

$$J_{ges} = 1,52 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}^2$$

Nun kann endlich die Winkelrichtgröße bestimmt werden

$$D = J \cdot 4\pi^2 f_0^2$$

$$D = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

## 5 Diagramme und Tabellen

Tab. 5.1

Bremsstrom	150 mA		250 mA		350 mA	
	Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
1	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
2	18,0	18,0	16,0	16,5	14,5	15,0
3	17,0	17,0	14,0	14,5	11,5	11,5
4	16,0	16,0	12,0	13,0	9,0	9,0
5	14,5	15,0	10,5	11,0	7,0	7,0
6	14,0	14,0	9,2	9,5	5,5	5,5
7	13,0	13,0		8,2	4,0	4,0
8	12,5	12,5		7,1	3,0	3,0
9	11,5	11,5		6,0	2,5	2,5
10	10,5	10,8		5,5	1,5	1,5
11	10,0	10,0		4,5	1,0	1,0

Tab. 5.2a

Frequenz in Hz	R = 100 Ohm	R = 1000 Ohm	R = 10k Ohm
	U <sub>ss</sub> in Volt	U <sub>ss</sub> in Volt	U <sub>ss</sub> in Volt
1080	3,40	0,72	0,16
2990	4,80	2,00	0,32
4170	4,96	2,88	0,44
5070	5,00	3,60	0,60
6500	5,04	4,64	1,28
8000	5,08	5,04	4,68
10000	5,04	4,56	1,12
13250	5,04	3,36	0,56
15000	5,00	2,88	0,44
20000	4,80	2,00	0,28
24900	4,68	1,68	0,24

## Drehpendel

---

Tab. 5.2b

Mittelwerte der beiden Messreihen					
150 mA	Abweichung	250 mA	Abweichung	350 mA	Abweichung
19,0	0,0	19,0	0,0	19,0	0,0
16,3	0,3	18,0	0,0	14,8	0,3
14,3	0,3	17,0	0,0	11,5	0,0
12,5	0,5	16,0	0,0	9,0	0,0
10,8	0,3	14,8	0,3	7,0	0,0
9,4	0,2	14,0	0,0	5,5	0,0
8,2	0,0	13,0	0,0	4,0	0,0
7,1	0,0	12,5	0,0	3,0	0,0
6,0	0,0	11,5	0,0	2,5	0,0
5,5	0,0	10,7	0,2	1,5	0,0
4,5	0,0	10,0	0,0	1,0	0,0

Tab. 5.3

f / Hz	U / V
8480	5,26
...	5,30
7530	5,28



## Drehpendel

Tab. 5.4

f / Hz	U / V
540	4,08
1004	4,72
3505	5,10
4490	5,16
5990	5,26
8170	5,30
10000	5,26
11900	5,24
19000	5,22
78500	4,72
105800	4,48

Abb. 5.5

Erregerfrequenz / Hz	Erregerschwingungsdauer / s	Amplitude
0,26	3,8	0,8
0,34	2,9	1,4
0,43	2,5	3,5
0,45	2,2	6,3
0,49	2,05	12,5
0,51	1,95	19
0,52	1,93	20
0,56	1,8	7,3
0,59	1,7	3,5
0,67	1,5	1,3
0,83	1,2	0,5
1,00	1	0,4

Tab. 5.6

Erzwungene Schwingung			
Erregerfrequenz/Hz	Amplitude ohne Dämpfung	Amplitude bei 200mA Dämpfung	Amplitude bei 400mA Dämpfung
0,15	1	0,8	0,4
0,38	2	1,4	1,2
0,42	3,5	2	1,8
0,46	6,3	9	5,2
0,52	20	17	4,6
0,57	7,3	3	2,4
0,64	2	1,7	1,2
0,96	0,5	0,2	0,1

## **6 Literatur**

Helmut Linder – Physik für Ingenieure  
Gerthsen, Kneser, Vogel – Physik  
W. Walcher – Praktikum der Physik  
Bergmann, Schaefer – Lehrbuch der Experimentalphysik Band 1  
Blankenbach – Laboranleitung Drehpendel

## **7 Anhang**

Messprotokoll  
Oszillatordruck