

V106

Das gekoppelte Pendel

Umut Aydinli
umut.aydinli@tu-dortmund.de

Muhammed-Sinan Demir
sinan.demir@tu-dortmund.de

Durchführung: 03.12.2021

Abgabe: 10.12.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Vorbereitungsaufgaben	5
4 Versuchsaufbau und Durchführung	6
5 Auswertung	7
5.1 Messunsicherheiten	7
5.2 Auswertung des erstens Durchlaufs	7
5.3 Auswertung für den zweiten Durchlauf	11
6 Diskussion	15
7 Anhang	16
Literatur	19

1 Zielsetzung

Bei dem Versuch geht es darum, die verschiedenen Schwingungsdauern der gleichphasigen-, gegenphasigen- und gekoppelten Schwingungen zu bestimmen.

2 Theorie

Wie beim einfachen Fadenpendel mit der Länge l und der Masse m , wird hier ein reibungsfreier drehbarer Körper mit dem Trägheitsmoment J und mit dem Einfluss des Drehmomentes, aus der Ruhelage, um die Winkel ϕ ausgelenkt. Die dabei wirkende Gewichtskraft lautet $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ und auf den Pendel ausübendes Drehmoments $M = D_p \cdot \phi$. Die Schwingungsgleichung für kleine Auslenkungen und mit dem Trägheitsmoment J ergibt sich

$$J \cdot \ddot{\phi} + D_p \cdot \phi = 0.$$

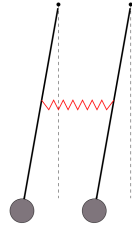
Die harmonische Schwingung, die aus der Lösung der Schwingungsgleichung entsteht, hat die Eigenkreisfrequenz

$$\omega = \sqrt{\frac{D_p}{J}} = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

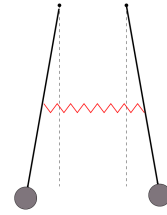
Verbindet man zwei gleiche Pendel, z.B. durch eine Feder zu einem Pendel durch zusätzliche Drehmomente. Die entstehende Differentialgleichung

$$\begin{aligned} J \cdot \ddot{\phi}_1 + D \cdot \phi_1 &= D_F \cdot (\phi_2 - \phi_1) \\ J \cdot \ddot{\phi}_2 + D \cdot \phi_2 &= D_F \cdot (\phi_1 - \phi_2) \end{aligned}$$

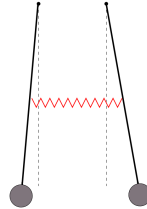
beschreibt die Schwingung der Pendel sowie die zusätzlich Drehmomente unter Beachtung der Felder. Je nach den verschiedenen r Anfangsbedingungen, Variation der Auslenkung, ergeben sich drei Arten von Schwingungen, welche aus Abbildung 1 zu entnehmen sind.



(a) Die Abbildung einer gleichsinnigen Schwingung.



(b) Die Abbildung einer gegensinnigen Schwingung.



(c) Die Abbildung einer gekoppelten Schwingung.

Abbildung 1: Die drei im Versuch benötigten Schwingungsabbildungen [1, S. 2].

In dem Fall $\alpha_1 = \alpha_2$, eine gleichsinnige Schwingung, werden die Pendel um den gleichen Anfangswinkel ausgelenkt. Die Pendel schwingen gleichsinnig, ohne dass sich die Feder in ihre Bewegung kaum einwirkt. Dadurch ist ihre Schwingungsfrequenz gleich:

$$\omega_+ = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1)$$

und ihre Schwingungsdauer ebenso:

$$T_+ = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (2)$$

In dem Fall $\alpha_1 = -\alpha_2$, eine gegensinnige Schwingung, werden die Pendel um den gleichen Winkelbetrag aber in entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt. Die Feder übt gegengerichtete Kräfte und Drehmomente aus. Es ergibt sich eine symmetrische Schwingung mit der Frequenz

$$\omega_- = \sqrt{\frac{g}{l} + \frac{2k}{l}} \quad (3)$$

und der Schwingungsdauer

$$T_- = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g + 2k}} \quad (4)$$

In dem Fall $\alpha_1 = 0$ und $\alpha_2 \neq 0$, eine gekoppelte Schwingung, wird ein Pendel in seiner Ruhelage gehalten und das andere um α_2 ausgelenkt. Die Energie wird dabei vom ausgelenkten Pendel auf das Ruhende übertragen. Die Amplitude wird somit größer und erreicht sein Maximum, solange die gesamte Energie vom ursprünglich schwingenden Pendel auf das ursprünglich ruhende Pendel übertragen wurde. Der Vorgang kehrt um, bis der Anfangszustand erreicht wird. Die Zeit zwischen den zwei Stillständen wird Schwebung genannt mit:

$$T_S = \frac{T_+ \cdot T_-}{T_+ - T_-} \quad (5)$$

und die dazugehörige Frequenz

$$\omega_S = \omega_+ - \omega_- \quad (6)$$

Die Kopplungskonstante **K** errechnet sich durch

$$K = \frac{\omega_-^2 - \omega_+^2}{\omega_-^2 + \omega_+^2} = \frac{T_+^2 - T_-^2}{T_+^2 + T_-^2} \quad (7)$$

3 Vorbereitungsaufgaben

Als Vorbereitungsaufgabe für diesen Versuch gibt es zwei Fragen zu lösen. Die Fragen sind, wann von einer harmonischen Schwingung gesprochen wird und für welche Winkel die Kleinwinkelnäherung noch gilt bei einem Fadenpendel der Länge 70 cm. Eine gekoppelte Schwingung ist definiert als, Schwingung wobei die rücktreibende Kraft proportional zur Auslenkung ist. Die Winkel für welche die Kleinwinkelnäherung gilt, sind nicht wirklich festgelegt, solange der Winkel klein gehalten wird. Dies geht jedoch bis zu 10° Auslenkung aus.

4 Versuchsaufbau und Durchführung

Für den ganzen Versuch wird ein Massband, eine Stoppuhr, zwei gleichschwere Gewichte, zwei Stabpendel und eine Feder benötigt.

An jedem Stabpendel wird jeweils ein Gewicht befestigt. Die Stabpendel bestehen aus einem Stab und einer Drehachse. Beide Stabpendel haben in einem festen Abstand Löcher an denen die Feder befestigt werden kann.



Abbildung 2: Die Abbildung der ganzen Versuchsmaterialien mit dem Ausgangsaufbau.

Für den ersten Arbeitsauftrag soll man die Schwingungsdauer für beide freischwingenden Pendel bestimmen.

Dafür stellt man beide Gewichte mit dem selben Abstand zur Drehachse ein. Für diesen Arbeitsauftrag wird die Feder, die beide Pendel verbindet wie in Abbildung (2) zu sehen, nicht benötigt. Das erste Pendel wird jeweils um den selben Winkel wie das zweite ausgelenkt und die Schwingungsdauer gemessen. Eine Schwingungsdauer beträgt fünf ganze Schwingperioden. Wichtig hierbei ist, dass die Schwingungsdauer nahezu gleich sein muss. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, muss ein Gewicht solange verschoben werden bis die Schwingdauer nahezu gleich ist. Dies wird zehn mal wiederholt für jeweils jedes Pendel.

Danach soll die Schwingdauer T_+ für eine gleichphasige Schwingung bestimmt werden. Der Aufbau hierbei ist identisch zu dem ersten Arbeitsauftrag, jedoch wird hier eine Feder eingebaut, welche beide Pendel miteinander verbindet. Zusehen ist dies auch in Abbildung (2). Da die Schwingungsdauer für eine gleichphasige Schwingung bestimmt

werden soll, werden die Pendel im selben Abstand und Parallel zueinander ausgelenkt, verbildlicht in Abbildung (1a). Die Schwingungsdauer beträgt ,wie im ersten Arbeitsauftrag, fünf Schwingperioden. Dies wird insgesamt für mindestens 10 mal wiederholt.

Als nächstes soll die Schwingungsdauer T_- für eine gegenphasige Schwingung bestimmt werden.

Dies wird mit dem selben Aufbau wie davor ausgeführt. Der Unterschied bei diesem Teil ist, dass die Pendel nicht im selben Abstand parallel zueinander ausgelenkt werden, sondern im selben Abstand zur Ruhelage entgegengesetzt zueinander, verbildlicht in Abbildung (1b). Dies wird insgesamt für mindestens zehn male wiederholt.

Danach soll die Schwingungsdauer T und die Schwebungsdauer T_s für die gekoppelte Schwingung bestimmt werden.

Der Versuchsaufbau ist identisch zu den zwei letzten Versuchen. Bei der gekoppelten Schwingung wird zu Begin nur ein Pendel ausgelenkt und das andere bleibt in der Ruhelage. Beim Loslassen des ausgelenkten Pendels wird die Energie des Pendels auf das ruhende Pendel übertragen. Die Schwingungsdauer des ausgelenkten Pendels T_{ges} endet wenn die gesamte Energie an das vorher ruhende Pendel übergeben wurde. Die Schwebungsdauer T_s endet wenn das in Bewegung gesetzte Pendel das erste Mal wieder ruht. Dies wird insgesamt für mindestens zehn male wiederholt.

Alle Durchführungen werden wiederholt mit einem anderen Abstand zur Drehachse. Der Abstand im ersten Durchgang beträgt 0,78 m und im zweiten Durchgang 0,99 m

5 Auswertung

5.1 Messunsicherheiten

Bei fehlerhafteten Größen wird der neue Fehler mithilfe von Gauß'schen Fehlerfortpflanzung angegeben

$$\Delta f = \sqrt{\frac{N}{i=1} \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot (\Delta x_i)}.$$

5.2 Auswertung des erstens Durchlaufs

Die Konstruktion besteht aus zwei Pendel, die nicht mit einer Feder verbunden worden sind. Die Länge der beiden Pendel beträgt $l_{1,2} = 0,78$ m. Die Massen haben je ein Gewicht von $m_{1,2} = 1$ kg. Beide Pendel werden jeweils um $\Delta x_{Auslenkung} = 0,075$ m ausgelenkt. Die gemessene Schwingungsdauer besteht aus fünf Schwingungen.

Tabelle 1: Die Messwerte der freischwingenden Pendel des ersten Durchgangs.

$T_{1,v1} / \text{s}$	$T_{2,v1} / \text{s}$
8,83	8,91
8,75	8,86
8,86	8,63
8,83	8,65
8,78	8,62
8,93	8,51
8,82	8,53
8,53	8,88
8,72	8,61
8,67	8,81

Die Werte werden gemittelt und die dazugehörige Standardabweichung bestimmt, sowie auf eine Periodenschwingung normiert

$$T_{1,Pendel1} = (1,754 \pm 0,025) \text{ s}$$

$$T_{2,Pendel2} = (1,740 \pm 0,029) \text{ s.}$$

Experimentelle Bestimmung

Die Pendel behalten ihre Länge und werden erneut um 0,075 m ausgelenkt.

Tabelle 2: Die Messwerte der gleichphasigen Schwingung des ersten Durchgangs.

$T_{+,v1} / \text{s}$
8,54
8,59
8,74
8,47
8,77
8,54
8,75
8,37
8,72
8,43
8,57

Für die Schwingungsdauer T_+ folgt

$$T_{+,v1} = (1,718 \pm 0,027) \text{ s.}$$

Die Frequenz hat nach der Formel (1), einen Wert von

$$\omega_{+,exp,v1} = (3,657 \pm 0,0117) \frac{1}{s}.$$

Für die gegenphasige Schwingung werden beide Pendel nach innen um 0,055 m ausgelenkt.

Tabelle 3: Die Messwerte der gegenphasigen Schwingung des ersten Durchgangs.

$T_{-,v1} / \text{s}$
8,34
8,09
8,17
7,99
8,22
8,14
8,10
8,20
8,02
8,11

Für die Schwingungsdauer T_- folgt

$$T_{-,v1} = (1,629 \pm 0,02) \text{ s.}$$

Die Frequenz lässt sich ableiten durch die Formel (3)

$$\omega_{-,exp,v1} = (3,855 \pm 0,0097) \frac{1}{s}.$$

Die Kopplungskonstante errechnet sich durch die Formel (7).

Es ergibt sich

$$K_{v1} = (0,0527 \pm 0,1347).$$

Theoretische Bestimmung

Die Frequenz bestimmt sich durch die Formel (1) unter der Beachtung, dass fünf Schwingungen gemessen worden sind.

Für die Gleichphasige Schwingung ergibt sich

$$\omega_{+,theo,v1} = (3,546 \pm 0,0228) \frac{1}{s}.$$

Daraus, aus der Formel (2), die Dauer

$$T_{+,theo,v1} = (1,771 \pm 0,002) \text{ s}.$$

Die Gegenphasige wird mit den Formeln (3) und (4) bestimmt, dabei wird die Kopplungskonstante K aus der experimentellen Herleitung genommen. Unter der Beachtung der Fehler

$$\begin{aligned}\omega_{-,theo,v1} &= (3,5653 \pm 0,0504) \frac{1}{s} \\ T_{-,theo,v1} &= (1,762 \pm 0,004) \text{ s}.\end{aligned}$$

Um die Schwebungsdauer zu bestimmen, wird ein Pendel, $Pendel_1$, in die Ruhelage versetzt und $Pendel_2$ um $\alpha_2 \neq 0$ ausgelenkt, in unserem Fall $\Delta x_{schw,Ausl} = 0,075 \text{ m}$. Die Pendellänge bleibt erhalten.

Tabelle 4: Die Messwerte der gekoppelten Schwingung des ersten Durchgangs.

$T_{Gs,v1} / s$	$T_{Schw.,v1} / s$
9,22	19,68
8,80	19,46
9,10	19,51
8,55	19,10
8,99	18,91
8,67	19,45
8,64	19,34
8,52	19,92
8,65	18,76
8,73	19,15

Die Werte werden gemittelt und die Abweichung bestimmt

$$T_{Gs,v1} = (1,757 \pm 0,047) s$$

$$T_{Schw.,v1} = (19,328 \pm 0,3529) s.$$

Für die Schwebungsfrequenz ergibt sich aus dem Kehrwert der Schwebungsdauer

$$\omega_{s,exp} = (0,0517 \pm 0,0009) \frac{1}{s}.$$

Die Schwingungsdauer wird mithilfe der gleichphasigen und gegensinnigen Schwingung berechnet mit der Formel (5):

$$T_S = (22,57 \pm 0,6110) s$$

sowie die Schwebungsfrequenz ω_s mit Formel (6):

$$|\omega_{s,theo}| = (0,0193 \pm 0,0151) \frac{1}{s}.$$

5.3 Auswertung für den zweiten Durchlauf

Experimentelle Bestimmung

Die Konstruktion bleibt erhalten. Man geht vor wie im ersten Durchgang vor, nur hierbei wurde die Pendellänge auf $l = 0,99$ m erweitert.

Tabelle 5: Die Messwerte der frei schwingenden Pendel des zweiten Durchgangs.

$T_{1,v2} / \text{s}$	$T_{2,v2} / \text{s}$
9,67	9,75
9,87	9,63
9,86	9,82
9,73	9,73
9,87	9,63
9,79	9,69
9,58	9,41
9,53	9,69
9,72	9,74
9,72	9,73

Daraus folgt experimentell

$$T_{1,exp,v2} = (1,946 \pm 0,0236) \text{ s}$$

$$T_{2,exp,v2} = (1,936 \pm 0,0222) \text{ s}.$$

Tabelle 6: Die Messwerte der gleichphasigen und gegenphasigen Schwingung des zweiten Durchgangs.

$T_{gl,v2} / \text{s}$	$T_{gg,v2} / \text{s}$
9,62	9,47
9,60	9,22
9,67	9,20
9,44	9,08
9,32	9,05
9,74	9,13
9,77	9,93
9,69	9,27
9,45	9,25
9,67	9,27

Daraus folgt:

$$\begin{aligned}T_{+,exp,v2} &= (1,919 \pm 0,029) \text{ s} \\T_{-,exp,v2} &= (1,857 \pm 0,050) \text{ s}.\end{aligned}$$

Mit der Kreisfrequenz aus den Formeln (1) und (3)

$$\begin{aligned}\omega_{+,exp,v2} &= (3,27 \pm 0,009) \frac{1}{\text{s}} \\ \omega_{-,exp,v2} &= (3,382 \pm 0,0185) \frac{1}{\text{s}}\end{aligned}$$

Die Kopplungskonstante hat dabei einen Wert von

$$K_{v2} = (0,0328 \pm 0,0050)$$

Theoretische Bestimmung

Für die Gleichphasige Schwingung ergibt sich nach der Formel (1):

$$\omega_{+,theo,v2} = (3,147 \pm 0,0159) \text{ s}.$$

Daraus, aus der Formel (2), die Dauer

$$T_{+,theo,v2} = (1,996 \pm 0,002) \text{ s}.$$

Für die Gegenphasige Schwingung folgt nach der Formel (3) und (4)

$$\begin{aligned}\omega_{-,theo,v2} &= (3,1583 \pm 0,0157) \frac{1}{\text{s}} \\ T_{-,theo,v2} &= (1,989 \pm 0,002) \text{ s}\end{aligned}$$

Für die Schwebedauer wird die selbe Einstellung gewählt, nur die Pendellänge wird auf 0,99 m gesetzt. Die Auswertung ist wie im ersten Durchgang.

Tabelle 7: Die Messwerte der gekoppelten Schwingung des zweiten Durchgangs.

$T_{gs,v2} / \text{s}$	T_s / s
11,13	26,24
12,41	26,94
10,93	25,44
11,58	25,90
11,25	26,22
11,32	26,51
11,65	25,69
11,73	27,07
11,38	26,86
11,31	26,78

Daraus folgt:

$$T_{gs,exp,v2} = (2,293 \pm 0,081) \text{ s}$$

$$T_{schw.,exp,v2} = (26,425 \pm 0,6667) \text{ s}$$

Aus dem Kehrwert der Schwebungsdauer resultiert für die Frequenz

$$\omega_{s,exp} = (0,037 \pm 0,0004) \frac{1}{\text{s}}.$$

Die Schwebungsdauer wird mithilfe der gleichphasigen und gegensinnigen Schwingung berechnet, mit der Formel (5). Es ergibt sich

$$T_s = (28,70 \pm 0,2447) \text{ s}$$

Mit der Formel (6) für die Schwebungsfrequenz

$$|\omega_{s,theo}| = (-0,112 \pm 0,0205) \frac{1}{\text{s}}.$$

Nun gilt es, die jeweiligen Werte miteinander zu vergleichen. Dafür wird die Formel (8) verwendet:

$$\underline{\text{relative Abweichung in } \% :} \quad \frac{x_{exp} - x_{theo}}{x_{theo}} \cdot 100. \quad (8)$$

6 Diskussion

Viele bis fast alle Abweichungen sind im Toleranzbereich und lassen sich auf eventuelle systematische Fehler, die durch das Ablesen bzw. Auslenken, welches per Augenmaß bestimmt wurde, zurückführen.

Im folgenden werden alle Abweichungen für den ersten durchlauf gelistet:

Abweichung zwischen T_1 und T_2

0,80 %.

Abweichung zwischen $T_{+,exp}$ und $T_{+,theo}$

−2,99 %.

Abweichung zwischen $T_{-,exp}$ und $T_{-,theo}$

−7,54 %.

Abweichung zwischen $\omega_{+,exp}$ und $\omega_{+,theo}$

3,13 %.

Abweichung zwischen $\omega_{-,exp}$ und $\omega_{-,theo}$

8,13 %.

Abweichung zwischen $T_{schw.,exp}$ und $T_{schw.,theo}$

−14,36 %.

Abweichung zwischen $\omega_{s,exp}$ und $\omega_{s,theo}$

167 %.

Die Abweichungen für den zweiten Durchlauf:

Abweichung zwischen T_1 und T_2

0,516 %.

Abweichung zwischen $T_{+,exp}$ und $T_{+,theo}$

−3,85 %.

Abweichung zwischen $T_{-,exp}$ und $T_{-,theo}$

6,636 %.

Abweichung zwischen $\omega_{+,exp}$ und $\omega_{+,theo}$

3,90 %.

Abweichung zwischen $\omega_{-,exp}$ und $\omega_{-,theo}$

7,08 %.

Abweichung zwischen $T_{schw.,exp}$ und $T_{schw.,theo}$

−7,92 %.

Abweichung zwischen $\omega_{s,exp}$ und $\omega_{s,theo}$

−66,96 %.

Beachtet man jedoch die Abweichung der Schwebungsfrequenz im ersten Durchgang, fällt auf das eine sehr große Abweichung von 167 % vorhanden ist. Man kann jedoch nicht wirklich feststellen welche Ursache dies hat, weil die restlichen Abweichungen in einem guten Toleranzbereich sind.

7 Anhang

Gekoppelte Pendel

Umut Aydinli
M. Sinan Demir

Ziel: Schwingungsdauer } von { gleichsinniger
+ Schwingungsdauer } gekoppelter } Pendel
gekoppelter Schwingung

Vorbereitung

harm. Schw. \rightarrow rücktreibende Kraft proportional zur Auslenkung aus der Ruhelage
Zeit-Ort-Gesetz: $y(t) = \hat{y} \cdot \sin(\omega t)$

Aufbau

Konstruktion besteht aus 2 Pendel (Stabpendel)

Beide Pendel werden durch eine Feder verbunden

Pendelmassen ($m = 1 \text{ kg}$) lassen sich verschieben \rightarrow Einstellung der Pendellänge

Durchführung / Aufgabe

- Schwingungsdauer für beide Pendel (selbe Länge) \rightarrow frei schwingende Pendel

$$T_1 = (8,772 \pm 0,0127)$$

$$T_2 = (8,701 \pm 0,01495)$$

Pendel 1

	T_1 / s
1.	8,83
2.	8,75
3.	8,86
4.	8,83
5.	8,78
6.	8,93
7.	8,82
8.	8,53
9.	8,72
10.	8,67

Pendel 2

	T_2 / s
1.	8,91
2.	8,86
3.	8,63
4.	8,65
5.	8,62
6.	8,51
7.	8,53
8.	8,88
9.	8,61
10.	8,81

Länge der Pendel = $75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$

Mass = 1 kg (je)
(5 Schwingungen)

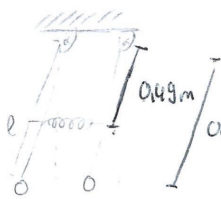
\Rightarrow Schwingungsdauer muss nahezu gleich sein

\rightarrow Auslenkung $7 \text{ cm} \pm 0,5$

- beide Pendel mit Kopplungsfeder verbinden

- 5 Schwingungen

$$l = 0,75 \pm 0,03$$



$$\alpha_1 = \alpha_2$$

$$T_+ = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Auslenkung $0,07 \text{ m}$

$$\pm 0,005$$

gleichphasige

	$T_{g1,1} / \text{s}$	\bar{T}
1.	8,54	
2.	8,59	
3.	8,74	
4.	8,47	
5.	8,77	
6.	8,54	
7.	8,75	
8.	8,37	
9.	8,72	
10.	8,43	
	8,57	

gegenphasige

	$T_{g1,2} / \text{s}$
1.	8,34
2.	8,09
3.	8,17
4.	7,99
5.	8,22
6.	8,14
7.	8,10
8.	8,20
9.	8,02
10.	8,14

Kopplungskonstante

$$k = 0,75 \pm 0,03$$

$$T_- = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g+2k}}$$

Auslenkung

nach innen $0,05 \text{ m}$

$$\pm 0,005$$

k. 600

gekoppelte Schwingung

$\alpha_1 = 0$ - ruhe

$\alpha_2 \neq 0 \rightarrow$ wird ausgelenkt

- für jeweils

5 Schwingungen

$\alpha_1 = 7 \text{ cm}$

$\alpha_2 = 7 \text{ cm}$
 $+ 9,5$

Schwingungsdauer mit Pendellänge $l_1 = 0,78 \text{ m}$
 $l_2 = 0,78 \text{ m}$

V11

	$T_{gs, v1} / s$	T_s	
1.	9,22	19,68	clausus bst.
2.	8,8	19,46	
3.	9,1	19,51	$\rightarrow T$
4.	8,55	19,1	$\rightarrow T_s \rightarrow$ messen
5.	9,15 8,99	18,91	$\rightarrow \omega_-$
6.	8,67	19,45	$\rightarrow \omega_+$
7.	8,64	19,34	$\rightarrow \omega_s$
8.	8,52	19,92	
9.	8,65	18,76	\rightarrow Kopplungsgrad K
10.	8,73	19,15	\rightarrow Vgl. $\omega_+, \omega_-, \omega_s$ mit den gemessenen

\rightarrow Vgl. $\omega_+, \omega_-, \omega_s$ mit den Schwingungsfrequenzen aus den Eigenfrequenzen ω_+ u. ω_- .

V21

$\alpha_1 = 0$

$\alpha_2 \neq 0$

	$T_{gs, v2} / s$	T_s	$l_1 = 0,99$ $l_2 = 0,99$	$\alpha_1 = 0$ $\alpha_2 = 7,5 \text{ cm}$
1.	11,13	26,24		
2.	12,41	26,94		
3.	10,93	25,44		Vorgehensweis wie oben
4.	11,58	25,9		
5.	11,25	26,22		
6.	11,32	26,51		
7.	11,65	25,69		
8.	11,73	27,07		
9.	11,38	26,86		
10.	11,31	26,78		

Vgl. gemessene T_s mit aus T_+ und T_- errechnete T_s

$$T_s = \frac{T_+ \cdot T_-}{T_+ - T_-} \quad \text{und } \omega_s = \omega_+ - \omega_-$$

V21

	T_1 / s	T_2 / s	T_+	T_-	T
1.	9,67	9,75	9,62	9,47	
2.	9,87	9,63	9,6	9,22	
3.	9,86	9,82	9,67	9,2	
4.	9,73	9,73	9,44	9,08	
5.	9,87	9,63	9,32	9,05	
6.	9,79	9,69	9,74	9,13	
7.	9,58	9,41	9,77	9,93	
8.	9,53	9,69	9,69	9,27	
9.	9,72	9,74	9,45	9,25	
10.	9,72	9,73	9,67	9,27	

$l = 0,99$
 $\alpha = 7,5 \text{ cm}$

$\alpha = 0,25$

$l = 0,99$
 $\alpha = 0,25$

$\alpha = 0,05$

$T = 10,49$

Katja.Schmidt@tu-dortmund.de

K.S.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *gekoppelte Pendel*. 2021. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1716951/mod_resource/content/2/V106.pdf (besucht am 03.12.2021).