M20a - Federpendel

Protokoll zum Versuch des Physikalischen Praktikums I von
Maxim Gilsendegen & David Flemming

Universität Stuttgart

Verfasser:	Maxim Gilsendegen (Chemie B.Sc.), 3650677
	David Flemming (Chemie B.Sc.), 3650295
Gruppennummer:	C-004
Versuchsdatum:	01.01.2018
Betreuer:	Sophia Stooss

Stuttgart, den 12. April 2023

Inhaltsverzeichnis

1 Versuchsziel **1**

2 Messprinzip **1**

2.1 Bestimmung der Federkonstante D . . . 1

2.1.1 Die statische Methode . . . 1

2.1.2 Die dynamische Methode . . . 1

2.2 Elastizität des Gummis . . . 1

2.3 ungedämpfte, schwach und stark gedämpfte Schwingungen . . . 1

3 Formeln **2**

4 Messwerte **3**

4.1 Federkonstante D . . . 3

4.1.1 statische Methode . . . 3

4.1.2 dynamische Methode . . . 3

4.2 Elastizität des Gummis . . . 4

4.3 Ungedämpft, schwach und stark gedämpfte Schwingung . . . 4

5 Auswertung **5**

5.1 Bestimmung der Federkonstanten nach der statischen Methode . . . 5

5.2 Bestimmung der Federkonstante nach der dynamischen Methode . . . 8

5.3 Untersuchung der Elastizität eines Gummibandes . . . 10

5.4 Ermittlung des Gleitreibungskoeffizienten . . . 11

6 Fehlerrechnung **13**

6.1 Bestimmung der Federkonstanten nach der statischen Methode . . . 13

6.2 Bestimmung der Federkonstanten nach der dynamischen Methode . . . 14

6.3 Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten . . . 15

7 Zusammenfassung **16**

8 Anhang **18**

1 Versuchsziel und Versuchsmethode

In diesem Versuch wird die Federkonstante D durch eine statische und eine dynamische Methode bestimmt. Zudem wird die Elastizität eines Gummis bestimmt und die Schwingung des Federpendels wird für die Fälle von ungedämpften, schwachen und starken Dämpfungen.

2 Messprinzip und Versuchsablauf

2.1 Bestimmung der Federkonstante D

2.1.1 Die statische Methode

Bei der Bestimmung der Federkonstante D durch die statische Methode, soll die Feder an einem Haken befestigt, der durch deinen Fuß auf dem Tisch steht, welcher gleichzeitig auch als Maßstab dient. Die Gewichte werden nach und nach an die Feder gehangen und die Auslenkungen notiert. Dies wird einmal für die weiche Feder in 50 g Schritten bis maximal 450 g gemacht und einmal für die harte Feder in 100 g Schritten bis 1000 g gemacht.

2.1.2 Die dynamische Methode

Bei der Bestimmung der Federkonstante D durch die dynamische Methode, werden die Massen nach und nach an die Feder gehangen und es werden Periodendauern in Abhängigkeit vom Gewicht gemessen und notiert. Für die beiden Federn gelten die selben Massen wie in der statischen Methode, wobei die zu messenden Massen bei der harten Feder bei 400 g losgehen.

2.2 Elastizität des Gummis

Das Gummi wurde an das selbe Gerät gehangen und zunehmend mit mehr Gewicht belastet, wodurch es sich verformt und die Auslenkung wieder bestimmt werden können. Bei der Entlastung werden auch wieder Messwerte der Dehnung festgehalten. Das Gummi wurde in 50 g Schritten bis 450 g belastet.

2.3 ungedämpfte, schwach und stark gedämpfte Schwingungen

Für der letzten Versuchsteil wurden Aufzeichnungen von ungedämpften, schwach und stark gedämpften Schwingungen gemacht und durch ein Computerprogramm automatisch als Messwerte ausgegeben. Durch diese Werte können die verschiedenen Schwingungstypen grafisch dargestellt werden und ein Gleitreibungskoeffizient von Stahl auf Stahl bestimmt werden. Für die schwach und stark gedänpfte Schwingung wird das Gewicht an der Feder durch einen Stahlstab um einen gestimmten Winkel ausgelenkt, welcher errechnet werden muss.

3 Formeln

Die folgenden Formeln wurden für die Auswertung verwendet. Die Formel für Gewichtskraft mit der Erdbeschleunigung g und der Masse m ergibt sich aus:

$$F_G = m \cdot g. \tag{3.1}$$

Der Zusammenhang mit der Federkonstante D lautet

$$D = \frac{m \cdot g}{\Delta x}. \tag{3.2}$$

Die Schwingungsdauer T wird über den Quotienten von π und der Winkelgeschwindigkeit ω folgendermaßen berechnet:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}. \tag{3.3}$$

Für die Berechnung der Federkonstante D bei der dynamischen Methode gilt

$$D = \frac{T^2}{4\pi^2} - m \tag{3.4}$$

Für die Berechnung der Federkonstante D bei der dynamischen Methode, bei Auftragung von T^2 über m, folgende Formel mithilfe der Betrachtung von $a = \frac{T^2}{m}$ verwendet werden, wobei a die Steigung des Graphens darstellt.

$$D = \frac{4\pi^2}{a} \tag{3.5}$$

Da die Masse der Feder auch berücksichtigt werden muss, gilt für diese

$$m_F = 3\left(\frac{T^2}{4\pi^2} - m\right). \tag{3.6}$$

Da der Winkel α um den das Gewicht bei der schwachen und starken Dämpfung ausgelenkt wird, berechnet werden muss, wird folgende Formel benötigt. G steht für die Länge der Gegenkathete und A für die der Ankathete. Dabei wird der Winkel mithilfe des arctan folgendermaßen berechnet:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{G}{A}\right). \tag{3.7}$$

Eine Differenz Δx der Maxima in den Amplituden kann wie mit den Amplituden Maxima A_{max}, Amplituden Minima A_{min} und der Anzahl an Amplituden ΔA folgt bestimmt werden

$$\Delta x = \frac{\frac{A_{max_1} - A_{max_2}}{\Delta A} + \frac{A_{min_1} - A_{min_2}}{\Delta A}}{2}. \tag{3.8}$$

Der Gleitreibungskoeffizient kann nun mit

$$\mu = \frac{D \cdot \Delta x}{2m \cdot g \cdot \sin\alpha} \tag{3.9}$$

berechnet werden. Wobei auch gilt:

$$\sin\alpha = \frac{h}{\Omega}. \tag{3.10}$$

Hierbei gibt h die Messhöhe und Ω die Auslenkung an.

4 Messwerte

4.1 Federkonstante D

4.1.1 statische Methode

In Tabelle 1 sind die Werte für die statische Methode festgehalten.

Tab.1 Auslenkungen der Federn bei Gewicht mit Masse m.

Weiche Feder		Harte Feder	
m in g	d in cm	m in g	d in cm
0	22	0	24.5
50	27	100	25.5
100	29.3	200	26.5
150	31.7	300	27.5
200	33.6	400	28.5
250	36.2	500	29.5
300	38.3	600	30.5
350	40.5	700	31.4
400	42.6	800	32.2
450	44.8	900	33.3
-	-	1000	34.3

Mithilfe dieser Auslenkungen bei den Massen m kann die Federkonstante grafisch bestimmt werden.

4.1.2 dynamische Methode

Tab.2 Messungen zur dynamischen Methode mit der weichen Feder, Bestimmung der Periodendauer in Abhängigkeit zur Masse m.

m in g	Messung 1 in s	Messung 2 in s	Messung 3 in s
50	3.63	3.63	3.50
100	4.50	4.50	4.64
150	5.42	5.32	5.52
200	6.06	6.25	6.18
250	6.63	6.78	6.52
300	7.80	7.47	7.41
350	7.97	8.03	8.03
400	8.50	8.59	8.56
450	9.06	9.16	8.94

Tab.3 Messungen zur dynamischen Methode mit der harten Feder, Bestimmung der Periodendauer in Abhängigkeit zur Masse m.

m in g	Messung 1 in s	Messung 2 in s	Messung 3 in s
400	4.00	4.06	4.06
500	4.50	4.50	4.44
600	4.87	4.87	4.85
700	5.22	5.13	5.37
800	5.63	5.75	5.59
900	5.87	5.72	5.82
1000	6.18	6.13	6.22

Durch Tabelle 2 und Tabelle 3 ist es möglich die Federkonstante D zu bestimmen.

Die gewogenen Massen der Feder sind $m_{Weich} = 61{,}5\,\mathrm{g}$ und $m_{Hart} = 35{,}7\,\mathrm{g}$

4.2 Elastizität des Gummis

Tab.4 Ausdehnung des Gummis in Abhängigkeit von der dranhängenden Masse.

m in g	Auslenkung beim dranhängen in cm	Auslenkung beim abhängen in cm
0	16.0	17.6
50	21.2	27.5
100	30.8	42.2
150	44.4	61
200	56.7	72.5
250	67.8	77.9
300	73.4	80.8
350	77.1	82.8
400	79.9	83.2
450	83.2	83.2

4.3 Ungedämpft, schwach und stark gedämpfte Schwingung

Da eine Tabelle für die Messwerte viel zu lang wäre, werden als Messdaten in der Auswertung nur die Abbildungen 6, 7 und 8 gezeigt aus denen die Werte grob hervorgehen.

5 Auswertung

5.1 Bestimmung der Federkonstanten nach der statischen Methode

Die Federkonstante wird über die Gewichtskraft ermittelt wofür die Gleichung 3.1 verwendet wird. Dies wird beispielhaft für die zweite Messsung, mit einer angehängten Masse von 50g, der weichen Feder berechnet:

$$F_G = 50\,\mathrm{g} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 0{,}491\,\mathrm{N}. \tag{5.1}$$

Tab.5 Gewichtskraft F_G der verwendeteten Massen für die weiche und harte Feder

	Weiche Feder		Harte Feder	
Messung	m in g	F_G in N	m in g	F_G in N
1	0	0	0	0
2	50	0,491	100	0,981
3	100	0,981	200	1,962
4	150	1,471	300	2,943
5	200	1,962	400	3,924
6	250	2,453	500	4,905
7	300	2,943	600	5,886
8	350	3,434	700	6,867
9	400	3,924	800	7,848
10	450	4,415	900	8,829
11	-	-	1000	9,810

Wird nun die Gewichtskraft über die Federauslenkung Δx aufgetragen ergibt sich jeweils für die weiche und harte Feder folgender linearer Zusammenhang welcher in Abb.1 (harte Feder) und Abb.2 (weiche Feder) veranschaulicht wird.

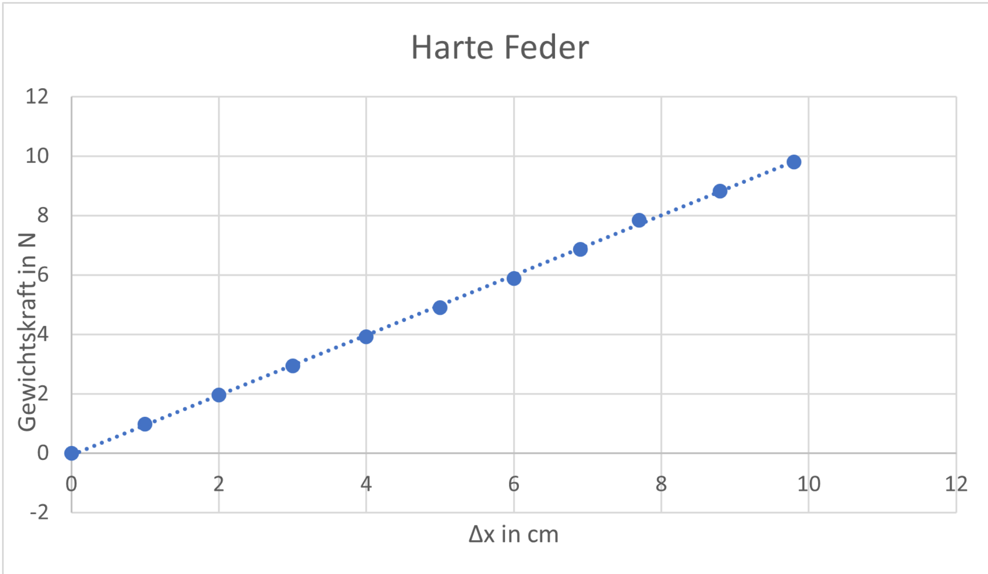


Abb.1 Gewichtskraft in Abhänigkeit von Δx

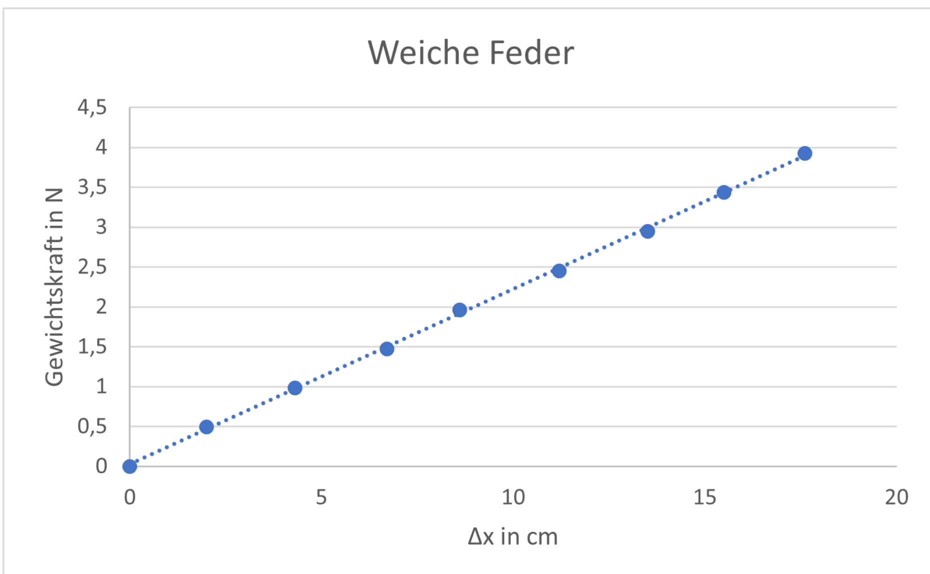


Abb.2 Gewichtskraft in Abhänigkeit von Δx

Mit der Steigung $m_{\text{weich}} = 21{,}9\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ der Fitgeraden in Abb.2 ergibt sich folgende Federkonstante:

$$F_{G_{\text{weich}}} = 21{,}9\,\frac{\text{N}}{\text{m}}\Delta x + 0{,}0227\,\text{N} = 21{,}9\,\frac{\text{N}}{\text{m}} \tag{5.2}$$

Aus der Steigung $m_{\text{hart}} = 100{,}71\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ der Geraden ergibt sich nach der allgemeinen Geradengleichung folgende Federkonstante:

$$F_{G_{hart}} = 100{,}71\,\frac{\text{N}}{\text{m}}\Delta x + 0{,}0574\,\text{N} = 100{,}71\,\frac{\text{N}}{\text{m}} \tag{5.3}$$

Damit ergibt sich nach der statischen Methode für die weiche Feder eine Federkonstantenwert von $D_{\text{weich}} = 21{,}9\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ und für die harte Feder ein wert von $D_{\text{hart}} = 100{,}71\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$

5.2 Bestimmung der Federkonstante nach der dynamischen Methode

Die Periodendauer T wird über $\frac{T}{10}$ berechnet, da $\frac{T}{10}$ den Mittelwert einer einzelnen Periodendauer darstellt. Die Werte T und T^2 bei unterschiedlichen Massen m sind in Tabelle 6 festgehalten.

Tab.6 Messdaten für T und T^2 bei unterschiedlichen Massen.

	Weiche Feder			Harte Feder		
Messung	m in g	F_G in s	T^2 in s^2	m in g	F_G in s	T^2 in s^2
1	50	0,359	0,129	400	0,404	0,163
2	100	0,455	0,207	500	0,460	0,210
3	150	0,542	0,294	600	0,486	0,240
4	200	0,616	0,380	700	0,524	0,275
5	250	0,674	0,455	800	0,559	0,312
6	300	0,756	0,571	900	0,580	0,337
7	350	0,801	0,642	1000	0,618	0,382
8	400	0,855	0,731	-	-	-
9	450	0,905	0,820	-	-	-

Wird T^2 über m aufgetragen ergibt sich folgendes Diagramm in Abb. 3

Abb.3 T^2 über m nach der dynamischen Methode

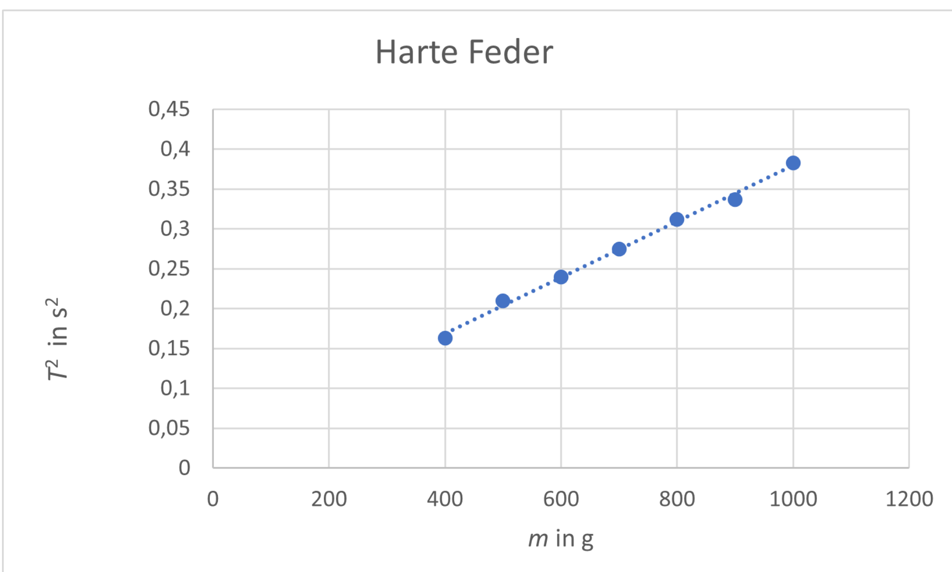
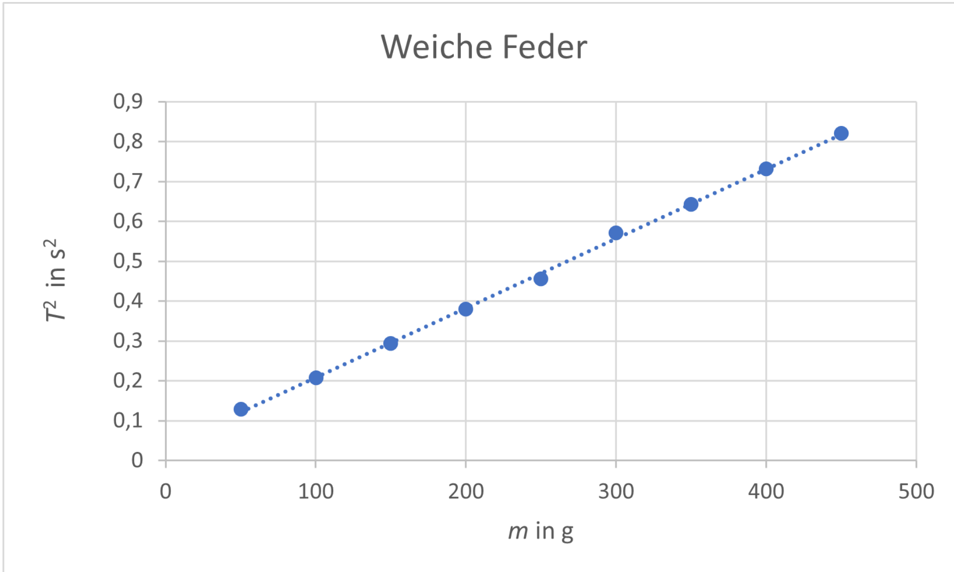


Abb.4 T^2 über m nach der dynamischen Methode



Die Federkonstante wird über Gleichung 3.5 bestimmt. Beispielhaft wird die zur Berechnung der Federkonstanten für die weiche Feder dargestellt, wobei für a_{weich} nach Abb.4 gilt $1{,}7\,\frac{\text{s}^2}{\text{kg}}$:

$$D_{\text{weich}} = \frac{4\pi^2}{1{,}7\,\frac{\text{s}^2}{\text{kg}}} = 23{,}2\,\frac{\text{N}}{\text{m}} \tag{5.4}$$

Analog ergibt sich für $D_{\text{hart}} = 98{,}7\,\frac{\text{N}}{\text{kg}}$. Die Masse der Feder wird durch das umstellen der Gleichung 3.6, nach m_F berechnet. Dadurch ergibt sich folgende Gleichung:

$$m_F = 3\left(\frac{T^2 \cdot D}{4\pi^2}\right) \tag{5.5}$$

Beispielhaft wird hierbei die Masse der weichen Feder für m= 0 g ergibt sich die quadratische Schwingungsdauer von $T^2 = 0{,}0278\,\text{s}^2$

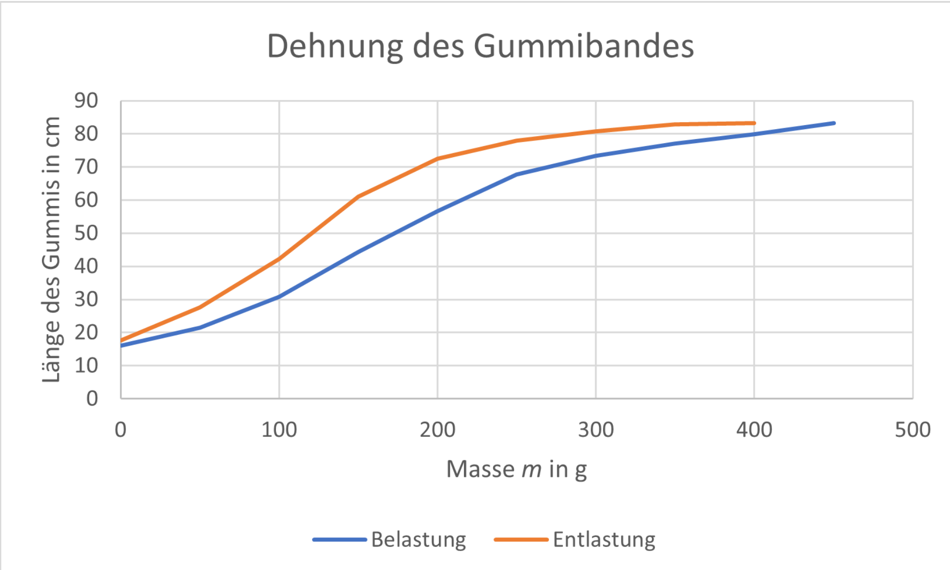
$$m_{F_{\text{weich}}} = 3\left(\frac{0{,}0278\,\text{s}^2 \cdot 23{,}2\,\frac{\text{N}}{\text{m}}}{4\pi^2}\right) = 0{,}061\,\text{kg} \tag{5.6}$$

Analog ergibt sich die Masse der harten Feder $m_{F hart} = 0{,}209\,\text{kg}$.Damit weichen beide errechneten Werte signifikant von beiden gewogenen Massen ab.

5.3 Untersuchung der Elastizität eines Gummibandes

Wird die Länge des Gummibandes über die zugehörige Masse aufgetragen ergibt sich folgendes Diagramm:

Abb.5 Länge des Gummibandes bei unterschiedlicher Masse m.

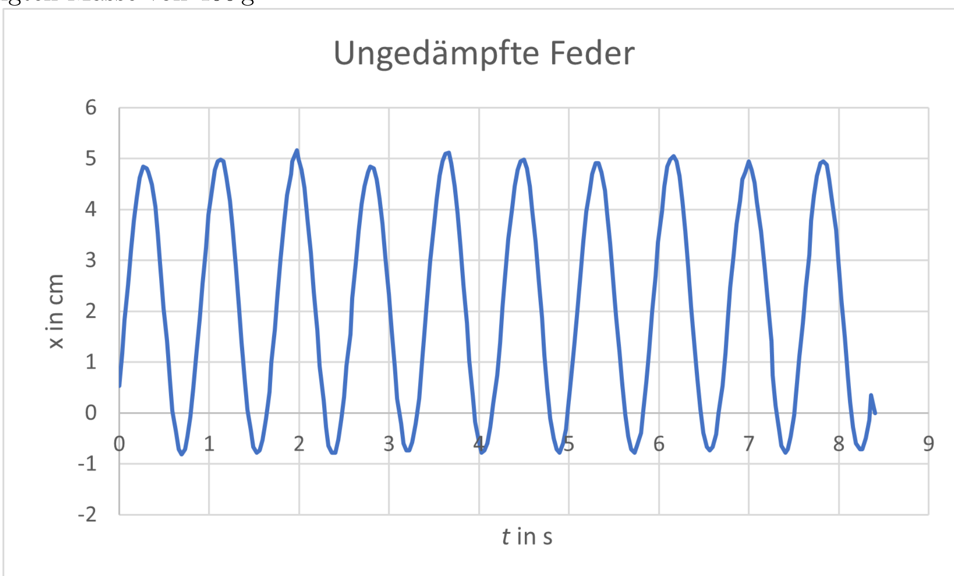


Dabei fällt auf das trotz derselben angehängten Masse das Gummiband während der Entlastung deutlich länger ist als bei der belastung. Dies lässt sich darauf zurückführen das das Gummi nicht perfekt elastisch ist und sich die Molekulare Grundstruktur während der Belastung verlängert hat.

5.4 Ermittlung des Gleitreibungskoeffizienten

Eine ungedämpfte Schwingung der weichen Feder ist in der Nachfolgenden Abbildung 6 dargestellt.

Abb.6 Ungedämpfte Schwingung über mehrere Perioden einer ungedämpften Feder bei einer angehängten Masse von 400 g



Aus der Grafik lässt sich die Periodendauer von $T = 0{,}9\,\mathrm{s}$ entnehmen. Nach Gleichung 3.4 ergibt sich die Federkonstante folgender Wert:

$$D_{\text{weich}} = \frac{4\pi^2}{0{,}18\,\mathrm{s}^2} \cdot (0{,}4\,\mathrm{kg} + \frac{0{,}0637\,\mathrm{kg}}{3}) = 92,4\frac{N}{m} \tag{5.7}$$

Dieser Wert weicht signifikant von der gemessenen Federkonstante der weichen Feder bei der statischen und dynamischen Methode ab.

Abb.7 Schwach gedämpfte Schwingung einer weichen Feder mit der angehängten Masse von 400g

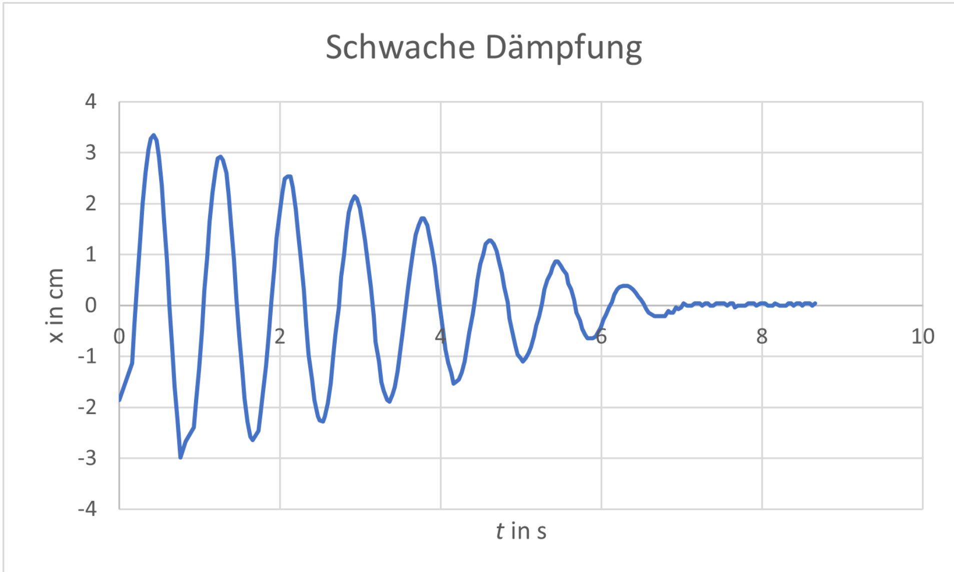
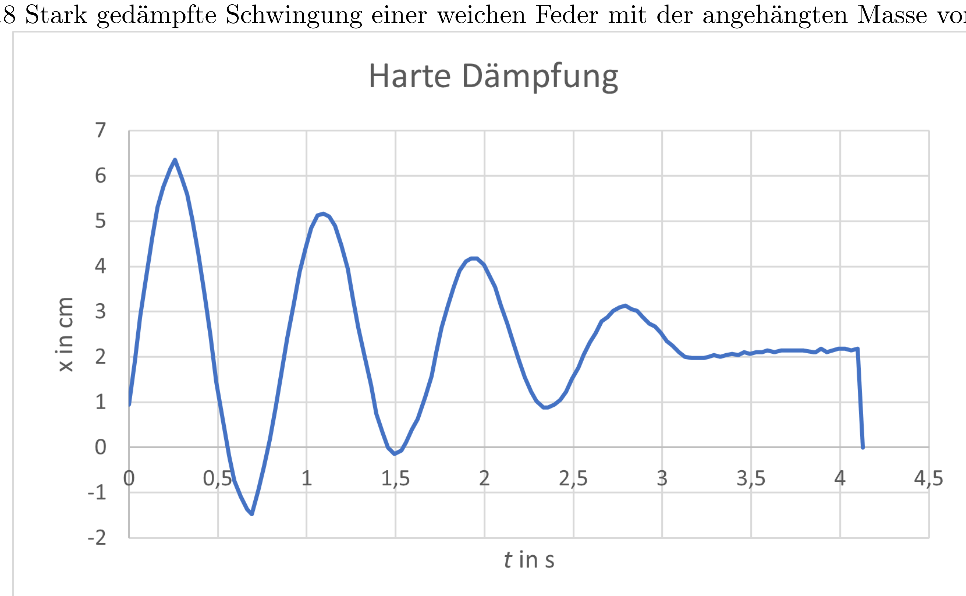


Abb.8 Stark gedämpfte Schwingung einer weichen Feder mit der angehängten Masse von 400g



Der Winkel α zwischen Feder und Stativ wird über folgende Gleichung 3.7 berechnet:

$$\alpha_{\text{schwach}} = \arctan(\frac{0{,}7\,\text{cm}}{45\,\text{cm}}) = 0,02 \tag{5.8}$$

Für α stark beträgt der Winkel 0.

Δx ergibt sich aus der Differenz aus der höchsten Auslenkung minus der kleinsten Auslenkung , geteilt durch die Anzahl der Amplituden. Anschließend wird der Mittelwert gebildet.
Damit ergibt sich für Δx für die schwache Dämpfung aus Abb.7.

$$\Delta x_{\mathrm{schwach}} = \frac{\frac{3{,}3\,\mathrm{cm} - 0{,}4\,\mathrm{cm}}{8} + \frac{3\,\mathrm{cm} - (-0{,}2\,\mathrm{cm})}{8}}{2} = 0{,}006\,\mathrm{cm} \tag{5.9}$$

Damit ergibt sich für Δx für die starke Dämpfung aus Abb.8.

$$\Delta x_{\mathrm{stark}} = \frac{\frac{6{,}3\,\mathrm{cm} - 3{,}1\,\mathrm{cm}}{4} + \frac{-1{,}3\,\mathrm{cm} - (2\,\mathrm{cm})}{4}}{2} = 0{,}38\,\mathrm{cm} \tag{5.10}$$

Durch einsetzen in Gleichung 3.9 lässt sich der Gleitkoeffizient berechnen

$$\mu_{\mathrm{schwach}} = \frac{92{,}4\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}} \cdot 0{,}000\,06\,\mathrm{m}}{2 \cdot 0{,}4\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot \sin(0,02)} = 0,03 \tag{5.11}$$

Für μ_{stark} ergibt sich der Gleitkoeffizient von 0,11.

6 Fehlerrechnung

6.1 Bestimmung der Federkonstanten nach der statischen Methode

Die Fehlerbestimmung erfolgt über die Größtfehlerabschätzung. Diese wird über die Addition der gewichteten Größtfehler der einzelen Messgrößen ermittelt. Dabei stellt der Gewichtungsfaktor die jeweilige partielle Ableitung dar. Bei der statischen Methode wurde ein Größtfehler für die Länge von $\Delta\Delta x$ =0,002 m angenommen, sowie für die Masse ein Fehler von $\Delta m = 0{,}003\,\mathrm{kg}$
Somit ergibt sich aus Gleichung 3.2 folgender Größtfehler:

$$\Delta D = \left|\frac{\partial D}{\partial m}\right| \cdot \Delta m + \left|\frac{\partial D}{\partial \Delta x}\right| \cdot \Delta\Delta x \tag{6.1}$$

$$\Delta D = \left|\frac{g}{\Delta x}\right| \cdot \Delta m + \left|\frac{-m \cdot g}{\Delta x^2}\right| \cdot \Delta\Delta x \tag{6.2}$$

Somit ergibt sich für die erste Messung folgender Größtfehler:

$$\Delta D = \left|\frac{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{0{,}02\,\mathrm{m}}\right| \cdot 0{,}003\,\mathrm{kg} + \left|\frac{-0{,}05\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{0{,}004\,\mathrm{m}^2}\right| \cdot 0{,}002\,\mathrm{m} = 3{,}9\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

In Tabelle 7 sind die Fehler der Federkonstante für die weiche und harte Feder festgehalten.

Tab.7 Fehler der Federkonstanten für die weiche und harte Feder nach der statischen Methode.

Messung	m in kg	ΔD_{weich} in N m^{-1}	m in kg	ΔD_{hart} in N m^{-1}
1	0,05	3,90	0,1	22,5
2	0,10	1,74	0,2	11,3
3	0,15	1,09	0,3	7,5
4	0,20	0,87	0,4	5,6
5	0,25	0,65	0,5	4,5
6	0,30	0,54	0,6	3,7
7	0,35	0,48	0,7	3,3
8	0,40	0,42	0,8	3,0
9	0,45	0,37	0,9	2,6
10	-	-	1,0	2,1

Als Mittelwert für den Fehler der weichen Feder wurde der Wert $\Delta D_{\text{weich}} = 1{,}1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ und für die Harte Feder wurde der Wert $\Delta D_{\text{hart}} = 6{,}6\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$ ermittelt. Damit ergibt sich für die weiche Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{weich}} = 21{,}9\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}(\pm 1{,}1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}})$ und für die harte Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{hart}} = 100{,}71\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}(\pm 6{,}6\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}})$.

6.2 Bestimmung der Federkonstanten nach der dynamischen Methode

Bei der dynamischen Methode wurde ein Größtfehler für die Masse Δm von 0,0003 kg angenommen, sowie ein Zeitfehler von 0,031 s. Dadurch ergibt sich nach Gleichung 3.4 folgender Größtfehler:

$$\Delta D = \left|\frac{\partial D}{\partial m}\right| \cdot \Delta m + \left|\frac{\partial D}{\partial}\right| \cdot \Delta T \tag{6.4}$$

$$\Delta D = \left|\frac{4\pi^2}{{}^2}\right| \cdot \Delta m + \left|\frac{-8\pi^2 \cdot m}{T^3}\right| \cdot \Delta\ T \tag{6.5}$$

Somit ergibt sich für die erste Messung folgender Größtfehler:

$$\Delta D = \left|\frac{4\pi^2}{0{,}129\,\mathrm{s}^2}\right| \cdot 0{,}003\,\mathrm{kg} + \left|\frac{-0{,}05\,\mathrm{kg} \cdot 8\pi^2}{0{,}046\,\mathrm{s}^3}\right| \cdot 0{,}031\,\mathrm{s} = 3{,}6\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}}$$

In Tabelle 8 sind die weiteren Fehler der Federkonstanten für die weiche und harte Feder festgehalten:

Tab.8 Fehler der Federkonstanten für die weiche und harte Feder nach der dynamischen Methode.

Messung	m in kg	ΔD_{weich} in N m^{-1}	m in kg	ΔD_{hart} in N m^{-1}
1	0,05	3,6	0,4	15,6
2	0,10	3,2	0,5	13,2
3	0,15	2,7	0,6	13,0
4	0,20	2,4	0,7	12,3
5	0,25	2,3	0,8	11,6
6	0,30	1,9	0,9	11,6
7	0,35	1,8	1,0	10,6
8	0,40	1,7	-	-
9	0,45	1,6	-	-

Als Mittelwert für den Fehler der weichen Feder wurde der Wert $\Delta D_{\text{weich}} = 2{,}1\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ und für die Harte Feder wurde der Wert $\Delta D_{\text{hart}} = 12{,}6\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ ermittelt. Damit ergibt sich für die weiche Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{weich}} = 23{,}2\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 2{,}1\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$ und für die harte Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{hart}} = 98{,}7\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 12{,}6\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$.

6.3 Bestimmung des Gleitreibungskoeffizienten

Bei der Größtfehlerbestimmung für den Gleitreibungkoeffizienten μ wurden folgende Größtfehler angenommen. Der Fehler der Federkonstante bei 400 g beträgt ΔD =1,7 $\frac{\text{N}}{\text{m}}$, der Winkelfehler beträgt $0{,}1° = 0{,}0017$, der Massenfehler $\Delta\ m = 0{,}0003\,\text{g}$ und der Längenfehler $\Delta\Delta x = 0{,}002\,\text{m}$. Damit ergibt sich folgender Größtfehler $\Delta\mu$:

$$\Delta\mu = \left|\frac{\partial\mu}{\partial m}\right| \cdot \Delta m + \left|\frac{\partial\mu}{\partial\Delta x}\right| \cdot \Delta\Delta x + \left|\frac{\partial\mu}{\partial\alpha}\right| \cdot \Delta\alpha + \left|\frac{\partial\mu}{\partial D}\right| \cdot \Delta D \tag{6.7}$$

$$\Delta\mu = \left|\frac{-D\cdot\Delta x\cdot}{2\cdot m^2\cdot g\cdot\sin(\alpha)}\right| \cdot\Delta\alpha + + \left|\frac{D}{2\cdot m\cdot g\cdot\sin(\alpha)}\right|\cdot\Delta\Delta x + \left|\frac{-D\cdot\Delta x\cdot\cos(\alpha)}{2\cdot m\cdot g\cdot\sin(\alpha)^2}\right|\cdot\Delta\alpha + \left|\frac{\Delta x}{2\cdot m\cdot g\cdot sin(\alpha)}\right|\cdot\Delta D$$

$$\Delta\mu_{schwach} = \left|\frac{-92{,}4\,\frac{\text{N}}{\text{m}}\cdot 0{,}000\,06\,\text{m}}{2\cdot 0{,}16\,\text{kg}^2\cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot\sin(0,02)}\right|\cdot 0{,}0003\,\text{kg} + \left|\frac{92{,}4\,\frac{\text{N}}{\text{m}}}{2\cdot 0{,}4\,\text{kg}\cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot\sin(0,02)}\right|\cdot 0{,}002\,\text{m}$$

$$+\left|\frac{-92{,}4\,\frac{\text{N}}{\text{m}}\cdot 0{,}000\,06\,\text{m}\cdot\cos(0{,}02)}{2\cdot 0{,}4\,\text{kg}\cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot\sin(0{,}02)^2}\right|\cdot 0,0017 + \left|\frac{0{,}000\,06\,\text{m}}{2\cdot 0{,}4\,\text{kg}\cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot sin(0{,}02)}\right|\cdot 1{,}7\,\frac{\text{N}}{\text{m}} = 1,2$$

Für μ_{stark} ergibt sich der Fehler von 0,003. Damit ergibt sich für den schwachen Gleitreibungsfaktor ein Wert von $\mu_{\text{schwach}} = 0{,}03(\pm 1,2)$ und für $\mu_{\text{stark}} = 0{,}110(\pm 0,003)$.

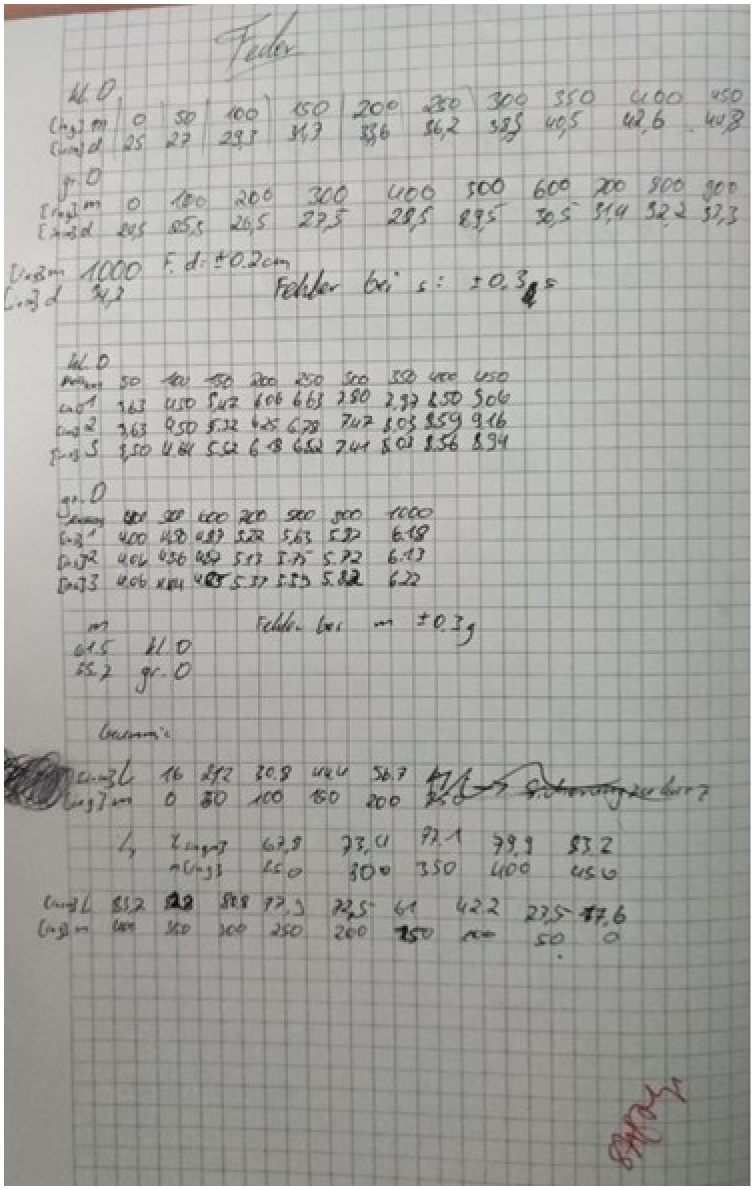
7 Zusammenfassung

Im ersten Versuchsteil wurden die Federkonstanten über die Statische Methode bestimmmt wobei für $\Delta D_{\text{weich}} = 21{,}9\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 1{,}1\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$ und für die harte Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{hart}} = 100{,}71\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 6{,}6\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$ rauskam. Im zweiten Versuchsteil wurden die Federkonstanten über die Dynamische Methode bestimmmt wobei für die weiche Feder ein Wert von $\Delta D_{\text{weich}} = 23{,}2\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 2{,}1\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$ und für die harte Federkonstante ein Wert von $\Delta D_{\text{hart}} = 98{,}7\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(\pm 12{,}6\,\frac{\text{N}}{\text{m}})$ rauskam. Zudem wurden in diesem Versuchsteil die Massen der einzelnen Federn ermittelt. Dabei wurde für $m_{F\,\text{hart}} = 0{,}023\,\text{kg}$ und für $m_{F\,\text{weich}} =$0,077 kg berechnet. Tatsächlich wog die weiche Feder 0,061 g und die schwere Feder 0,209 kg. Im dritten Versuchsteil wurde ein Gummi mit gewichten gedehnt und wieder entspannt. Durch diesen Prozess hat es sich irreversibel verlängert. Im letzten Versuchsteil wurde ein ungedämpftes, ein schwach und ein stark gedämpftes Federpendel betrachtet. Aus der ungedämpften Schwingung wurde die Federkonstante von $92{,}4\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$ berechnet. Dieser Wert weicht weit von den anderen berechneten Werten ab. Zudem wurden die Gleitreibungkoeffizient für die schwache und starke Dämpfung bestimmt. Dabei kam für die schwache Dämpfung ein Wert von $\mu_{\text{schwach}} = 0{,}03(\pm 1,2)$ und für $\mu_{\text{stark}} = 0{,}110(\pm 0,003)$ raus. Dabei ist der Fehler der schwachen Dämpfung zu groß da der Gleitreibungkoeffiient maximal 1 betragen kann.

Literatur

[1] Anleitungstext M20 Federpendel (2021)

8 Anhang



Feder

kl. O

[g] m	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
[cm] d	25	27	29,3	31,3	33,6	36,2	38,5	40,5	42,6	44,8

gr. O

[g] m	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
[cm] d	20,5	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5	30,5	31,4	32,2	33,3

[g] m 1000 F. d: ±0.2cm

[cm] d 34,3

Fehler bei s: ±0,3 s

kl. O

m[g]	50	100	150	200	250	300	350	400	450
[s] 1	3,63	4,50	5,47	6,06	6,63	7,80	7,97	8,50	9,06
[s] 2	3,63	4,50	5,32	6,25	6,78	7,47	8,03	8,59	9,16
[s] 3	3,50	4,84	5,52	6,13	6,62	7,41	8,01	8,56	8,94

gr. O

m[g]	400	500	600	700	800	900	1000
[s] 1	4,00	4,40	4,87	5,22	5,63	5,92	6,18
[s] 2	4,06	4,36	4,59	5,13	5,35	5,72	6,13
[s] 3	4,06	4,84	4,85	5,37	5,55	5,82	6,22

m

61,5 kl. O

55,2 gr. O

Fehler bei m ±0,3g

Gummi:

[cm] L	16	21,2	30,8	44,4	56,7	~~47,1~~ → ~~Schwankung zu kurz~~
[g] m	0	50	100	150	200	~~250~~

↳

L[cm]	67,9	73,4	77,1	79,9	83,2
m[g]	250	300	350	400	450

[cm] L	83,2	[illegible]	81,8	77,3	72,5	61	42,2	27,5	17,6
[g] m	400	350	300	250	200	150	100	50	0