

02 Bestimmung der Federhärten elastischer Stahlfedern und Gummibändern

Tipp: Schreiben Sie ein Versuchs-Protokoll so, dass auch eine Drittperson nachvollziehen kann, was Sie „gemacht“ haben.

Name des Schülers:
(Nachname, Vorname) _____

Name der restlichen Gruppenteilnehmer:
(Nachnamen, Vornamen)

	1	
	2	
	3	

Versuchsdatum: _____

Versuchsvorlage erhalten am: _____

Zeitraum für Versuchsvorbereitung: von _____ Datum bis _____ Datum

Zeitraum für Versuchsauswertung: von _____ Datum bis _____ Datum

Abzeichnung durch Schüler:
(Unterschrift) _____

Bewertung des Protokolles:		Punkte
<input type="checkbox"/> Die Bewertung wird in das Zeugnis übernommen		

Datum der Protokoll-Korrektur: _____

Abzeichnung durch Lehrer:
(Signum) _____

Anmerkung von Lehrer: _____

Von Schüler auszufüllen



Von Lehrer auszufüllen

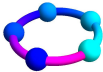


Durch seine Unterschrift bestätigt der Schüler verbindlich, dass er dieses Protokoll eigenständig und nur unter Verwendung der genannten Quellen angefertigt hat.

Die Protokolle werden eventuell nur Stichprobenweise korrigiert.

0 Inhalt

1	Einleitung	2
2	Grundlagen	2
3	Versuchsaufbau	3
4	Versuchsdurchführung und Auswertung	4
5	Diskussion	8
6	Zusammenfassung	9
7	Anhang	9
8	Literatur und Quellen	9
9	Berechnungen zu den Auswertungen	10
10	Zusatz-Aufgaben	11
11	Lösungen zu den Zusatzaufgaben	12
12	Lernprotokoll	12
13	Anhänge	13



Beachten Sie die **GeoGebra-Arbeitsblätter**, auf die in dieser Versuchsanleitung hingewiesen werden.

Sie finden diese Arbeitsblätter auf der *website*

www.jaeger-salz.de



1 Einleitung

In der 12. Jahrgangsstufe werden mechanische Schwingungen von Federpendeln besprochen. Sie können dann auf dieses Protokoll zurückgreifen.

Die Zusatzaufgaben können Sie zum Teil bereits zur **Versuchsvorbereitung** bearbeiten

Basis-Wissen für den Versuch

In diesem Praktikumsversuch sollen Sie die Federkonstanten (Federhärten) einer **Stahlfeder** und eines **Gummibandes** mit Hilfe zweier Messverfahren experimentell bestimmen. Zur Auswertung der Messwerte verwenden Sie sowohl rechnerische (Mittelwertberechnung) als auch graphische Methoden (Ausgleichsgeraden). Sie führen eine Diskussion der Messergebnisse und der Messfehler durch.

Beachten Sie die **Zusatzaufgaben** zu diesem Versuch auf Seite 11.

2 Grundlagen



Abbildung 1: Stählerne Spiralfeder

Stählerne Spiralfedern (Abbildung 1) haben die Eigenschaft, bei **Deformation** durch äußere Kräfte (wie z.B. die Gewichtskraft des Betrages F_G angehängter Probemassen) die ursprüngliche Form wieder anzunehmen, sobald die deformierenden Kräfte verschwinden [Abbildung 2: **Stauchung** (2) oder **Dehnung** (3)].

Dabei üben die Federn gegen die deformierenden Kräfte **Gegenkräfte** des Betrages F_F aus, die versuchen, die Feder wieder in die ursprüngliche entspannte Lage zurückzuführen. Geschieht dies ohne bleibende Restdeformation, spricht man von einer **elastischen Feder**. Die Gegenkräfte des Betrages F_F der Feder sind betragsgleich zu den deformierenden Kräften, diesen aber entgegengesetzt.

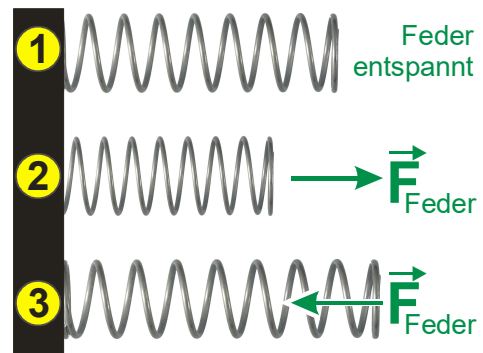


Abbildung 2: Wird eine elastische Feder durch äußere Kräfte gestaucht (2) oder gedehnt (3), versucht die Feder, durch entsprechende Gegenkräfte des Betrages F_F wieder die ursprüngliche Länge des entspannten Zustandes (1) zu erlangen.

Wird eine elastische Feder durch die **Gewichtskraft** des Betrages F_G um eine Strecke s (**Dehnungsstrecke**) gedehnt oder gestaucht, versucht die Feder, mit einer Kraft (**Rückstellkraft**) des Betrages F_F dieser Dehnung entgegenzuwirken (siehe Abbildung 2). Wird die Gewichtskraft des Betrages F_G zum Beispiel verdoppelt, verdoppelt sich auch die Dehnungsstrecke. **Allgemein** gilt:

$$F_G \sim s \rightarrow F_G = D \cdot s = F_F \quad (1)$$

Dieses Gesetz wird als **Federgesetz** oder auch **Hooksches Gesetz** bezeichnet. Die Proportionalitätskonstante D ist die **Federkonstante**, auch als **Federhärte** bezeichnet.

Besitzt eine Feder eine niedrige Federhärte, sagt man, die Feder ist „**weich**“. Besitzt eine Feder dagegen eine hohe Federhärte, sagt man, die Feder ist „**hart**“.

Im Versuch werden die unterschiedlichen Kräfte zur Vergrößerung der Federlänge durch Anhängen von **Probemassen** erzeugt. Der Zusammenhang zwischen der federdehnenden Gewichtskraft F_G und der Masse m lautet

$$F_G = m g \quad (2)$$

g ist dabei der **Ortsfaktor** mit $g = 9,81 \text{ N/kg} = 9,81 \text{ kg/s}^2$.

Deformation

Lern-Tipp:

Sie müssen sich in den Versuch auch thematisch einarbeiten. Recherchieren Sie dazu im Internet, in Bibliotheken und auch in Ihrem **Schulbuch**. Geben Sie die verwendeten Recherchequellen im Quellenverzeichnis dieses Protokolles an.

Elastische Feder

Gewichtskraft

Dehnungsstrecke

Rückstellkraft

Federgesetz
Hooksches Gesetz
Federkonstante
Federhärte

Weiche Federn

Harte Federn

Probemassen

Achtung: Hier ist die Masse m in **kg** (Kilogramm) einzusetzen!

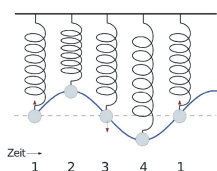
Ortsfaktor g

Wird eine elastische Feder mit dem oberen Ende an einer Stäbe aufgehängt, unten in die Länge gezogen und losgelassen, schwingt das untere Ende der Feder entlang der Vertikalen (**Federpendel**; siehe Abbildung 3). Wird das untere Ende der Feder mit einem Gewichtsstück (**Pendelmasse**) beschwert, wird die Schwingungsbewegung verlangsamt. Der Zusammenhang zwischen der Masse m und der **Schwingungsdauer T** (Dauer einer **Schwingungsperiode**; siehe Abbildung 4) wird durch die Gleichung

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{D}} \quad (3)$$

beschrieben. m ist dabei die Pendelmasse (die Eigenmasse der Feder wird vernachlässigt) und D die Federkonstante. Nach D aufgelöst ergibt sich aus (3)

$$D = 4 \pi^2 \frac{m}{T^2} \quad (4)$$



← Periode →

Abbildung 4: Periode der Schwingung eines Federpendels

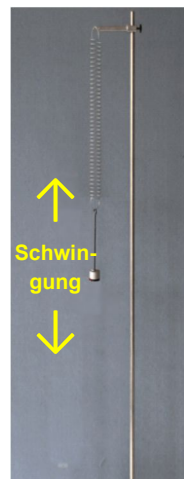


Abbildung 3: Wird ein Federpendel aus der Ruhelage ausgelenkt und losgelassen, schwingt es periodisch.

Das Thema „**Schwingungen elastischer Federn**“ wird in der 12. Klasse näher behandelt. Sie müssen in diesem Praktikumsversuch **nur die Gleichungen (3) und (4) anwenden** können.

Federpendel

Pendelmasse

Schwingungsdauer
Schwingungsperiode

Lern-Tipp:

Führen Sie ein Physik-„**Vokabelheft**“, in dem Sie alle wichtigen Stichworte und ihre Bedeutung eintragen.

Die Schwingungsdauer T wäre in einem solchen Heft einen Eintrag wert.

3 Versuchsaufbau

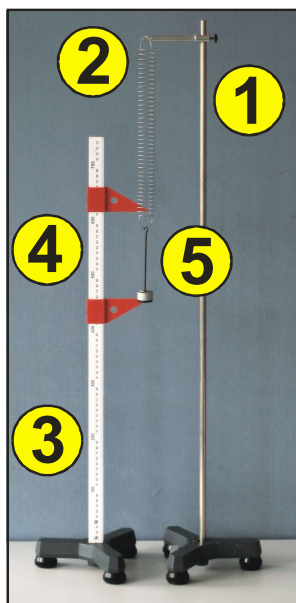


Abbildung 6: Versuchsaufbau zu Stationen 1 und 2. Bei Station 3 wird kein Zentimetermaß benötigt.

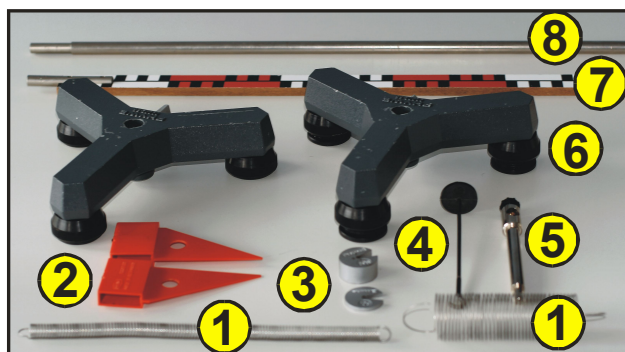


Abbildung 5: Teile für Stationen 1 bis 3. (1) Federn; (2) Positionsmarker; (3) Massestückchen; (4) Massehalter; (5) Federaufhängung; (6) Stativständer; (7) Zentimetermaß; (8) Stativstangen.

Für den Versuch werden **drei Stationen** aufgebaut. Abbildung 5 zeigt die wesentlichen Teile, aus denen die Versuchsaufbauten zusammengesetzt werden.

Station 1: Der Aufbau besteht aus zwei Teilen. Teil (1) setzt sich aus Stativstangen und -ständer sowie der Federanbringung zusammen. Teil (2) besteht aus einem Zentimetermaß (3) und den Positionsmarkern

(4). Diese werden so eingestellt, dass sich die Position des unteren Feder-Endes ohne und mit Massestückchen (5) ablesen lassen. **An Station 1 wird die Federkonstante einer Feder gemessen.**

Station 2: Aufbau und Versuchsdurchführung wie an Station 1. **An Station 2 wird die „Federkonstante“ eines Gummibandes gemessen.**

Station 3: Wie Station 1, nur ohne Zentimetermaß. Auf Station 3 wird zur Messung der Schwingungsdauer eine Stoppuhr verwendet. **An Station 3 wird die Federkonstante einer Feder gemessen.**

Versuche an drei Versuchsstationen

Station 1

Station 2

Station 3

4 Versuchsdurchführung und Auswertung

15 Minuten pro Station

**Erst Messen !
Dann Auswerten !**

Station 1

Stahlfeder

Die Masse des Gewichtshalters und der Stahlfeder wird bereits mit der Einstellung von l_1 berücksichtigt.

Sie führen mit Ihrer Gruppe an allen drei Stationen die Versuche aus. Pro Station haben Sie eine Zeit von 15 Minuten.

Station 1:

Messung: Hängen Sie die Feder mit dem Gewichtshalter (ohne Probmassen) an das Stativ. Stellen Sie den oberen Ortsmarker so ein, dass er die Position l_1 der Unterkante des Gewichtshalters markiert. Legen Sie nun unterschiedliche Massen auf den Gewichtshalter und lesen Sie mit Hilfe des zweiten Ortsmarkers die Positionen l_2 ab. Protokollieren Sie Ihre Ergebnisse (grau unterlegte Felder):

m/g	F/N	l_1/cm	l_2/cm	l/m	$D/N/m$
10,0					
20,0					
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0					
80,0					
90,0					
Mittelwert:					
m	Angehängte Masse in g	F	Gewichtskraft in N ($F= m \cdot g$)	l_1	Position des oberen Markers
l_2	Position des unteren Markers	l	Dehnungsstrecke $l = l_2 - l_1 $	D	Siehe Gleichung (1)

Rechnerische Auswertung: Füllen Sie die restlichen Spalten der Tabelle aus und berechnen Sie für jede Zeile D und daraus den Mittelwert.

Graphische Auswertung: Tragen Sie in das Koordinatensystem auf der folgenden Seite für jede Einzelmessung einen Punkt in das l - F -Diagramm ein. Zeichnen Sie eine **Ausgleichsgerade** durch diese Punkte und bestimmen Sie die Steigung dieser Ausgleichsgeraden.

Ausgleichsgerade

Station 2

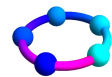
Gummiband

Die Masse des Gewichtshalters und des Gummibandes wird bereits mit der Einstellung von l_1 berücksichtigt.

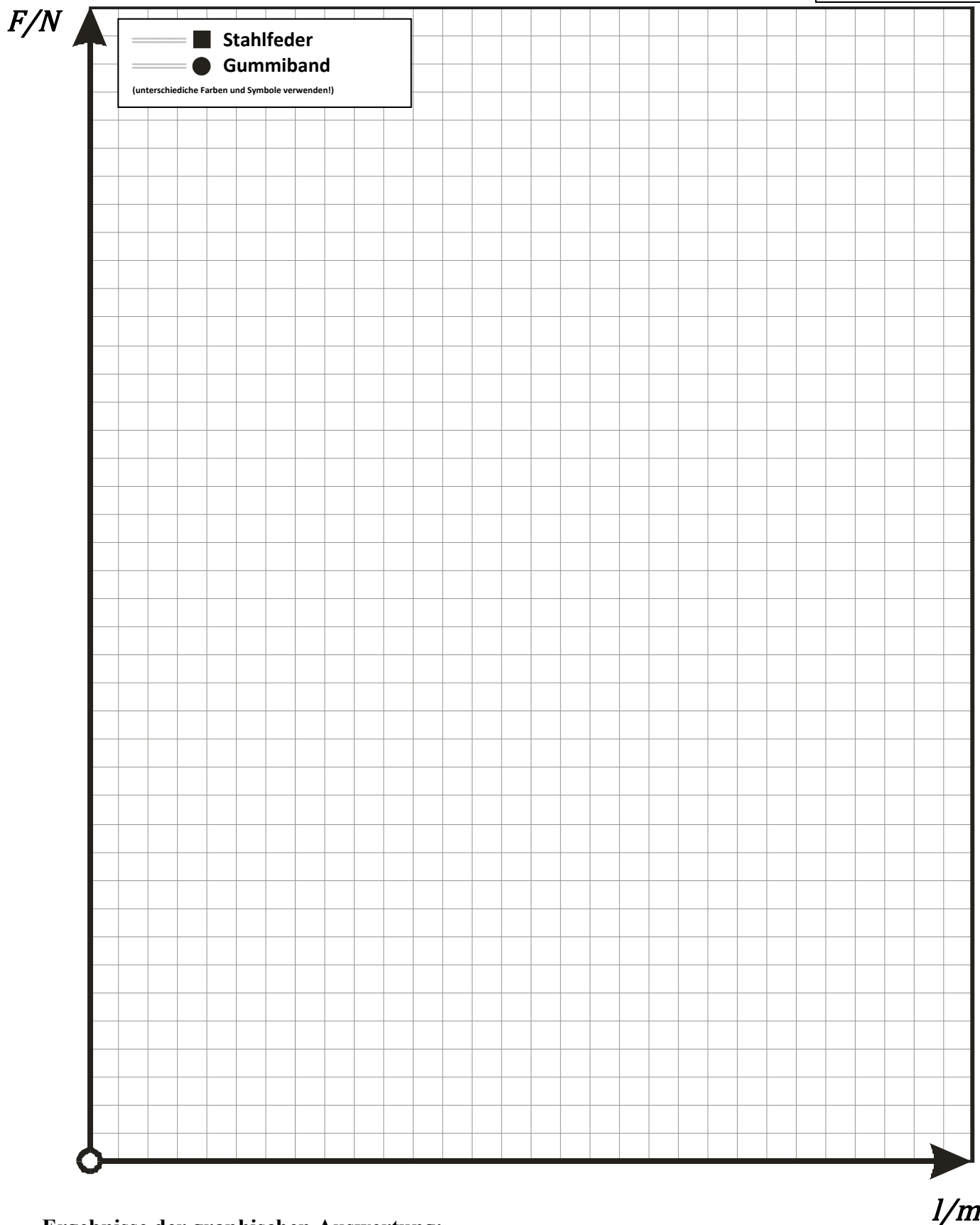
Verfahren Sie wie in Station 1 beschrieben. Zeichnen Sie hier eine **Ausgleichsgerade** durch die Punkte, die mit hinreichender Genauigkeit auf einer Geraden liegen, und bestimmen Sie die Steigung dieser Ausgleichsgeraden.

Messwerte:

m/g	F/N	l_1/cm	l_2/cm	l/m	$D/N/m$
0					
100					
200					
300					
400					
500					
600					
700					
800					
Mittelwert:					
m	Angehängte Masse in g	F	Gewichtskraft in N ($F= m \cdot g$)	l_1	Position des oberen Markers
l_2	Position des unteren Markers	l	Dehnungsstrecke $l = l_2 - l_1 $	D	Siehe Gleichung (1)



Vorlage zur graphischen Auswertung der Messwerte aus den Stationen 1 und 2



Ergebnisse der graphischen Auswertung:

Station	$\Delta F/N$	$\Delta l/m$	$\Delta F/\Delta l = D$	D aus Brechnung	
1					Stahlfeder
2					Gummiband

Station 3

Die Masse des Gewichtshalters muss mit berücksichtigt werden !

Die Eigenmasse der Feder bleibt **unberücksichtigt**.

Die Messwerte müssen so transformiert („umgerechnet“) werden, dass die Zielgröße T linear von der Ausgangsgröße abhängt. Dieses Verfahren werden Sie an der FOS/BOS bis zur Abschlussprüfung noch öfters verwenden. **Versuchen Sie** daher, **den Inhalt dieses Abschnittes zu verstehen**.

Station 3:

Messung: Hängen Sie die Feder mit dem Gewichtshalter (ohne Gewichtsstück) an das Stativ. Wenn sich das Pendel in der Ruheposition befindet, ziehen Sie es um einige cm nach unten und lassen es zum Zeitpunkt $t=0$ los. Messen Sie die Dauer T_n von n Schwingungsperioden. **Wichtig:** Das Eigenmasse der Feder wird vernachlässigt. Die **Masse des Gewichtshalters** wird mit 10 g berücksichtigt. Sie protokollieren also die **Gesamtmasse** $m_{ges} = m_{Probemasse} + m_{Gewichtshalter}$:

m_{ges}/g	T_n/s	n	T/s	$m/T^2/kg/s^2$	$D/N/m$
30,0					
40,0					
50,0					
60,0					
70,0					
80,0					
90,0					
100,0					

Mittelwert:

m	Angehängte Masse in g	T_n	Dauer von n Schwingungen	n	Anzahl Schwingungen
T	Dauer einer Schwingung				

Rechnerische Auswertung: Füllen Sie die restlichen Spalten der Tabelle aus und berechnen Sie für jede Zeile die jeweiligen Federkonstanten D und aus diesen den Mittelwert.

Graphische Auswertung: Zur graphischen Auswertung der Messungen aus Station 3 müssen Sie zuerst die Messwerte umrechnen. Nach Gleichung (3) gilt:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{D}} \quad \mapsto \quad T \sim \sqrt{m} \quad (5)$$

und somit

$$T = C \cdot \sqrt{m}$$

[C : Proportionalitäts-Konstante], d.h. die Schwingungsdauer T gegen die Wurzel der Masse m aufgetragen ergibt in einem \sqrt{m} - T -Diagramm eine Gerade.

Umrechnungstabelle:

m/g								
\sqrt{m}/\sqrt{kg}								
T/s								

Lern-Tipp:

Sie haben zu Beginn des Praktikums einen Reader zum Thema „Ausgleichsgeraden“ erhalten. Dort wird auch das Thema „Daten-Transformation“ behandelt.

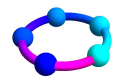
Behalten Sie einen Überblick über alle Informationen, die Sie bisher erhalten haben bzw. in Zukunft erhalten werden – nur dann haben Sie die Chance, bereits erworbenes Wissen wieder „aufzufrischen“.

Tragen Sie diese Werte in die Diagramm-Vorlage auf der folgenden Seite ein und zeichnen Sie eine Ausgleichsgerade in das Diagramm ein.

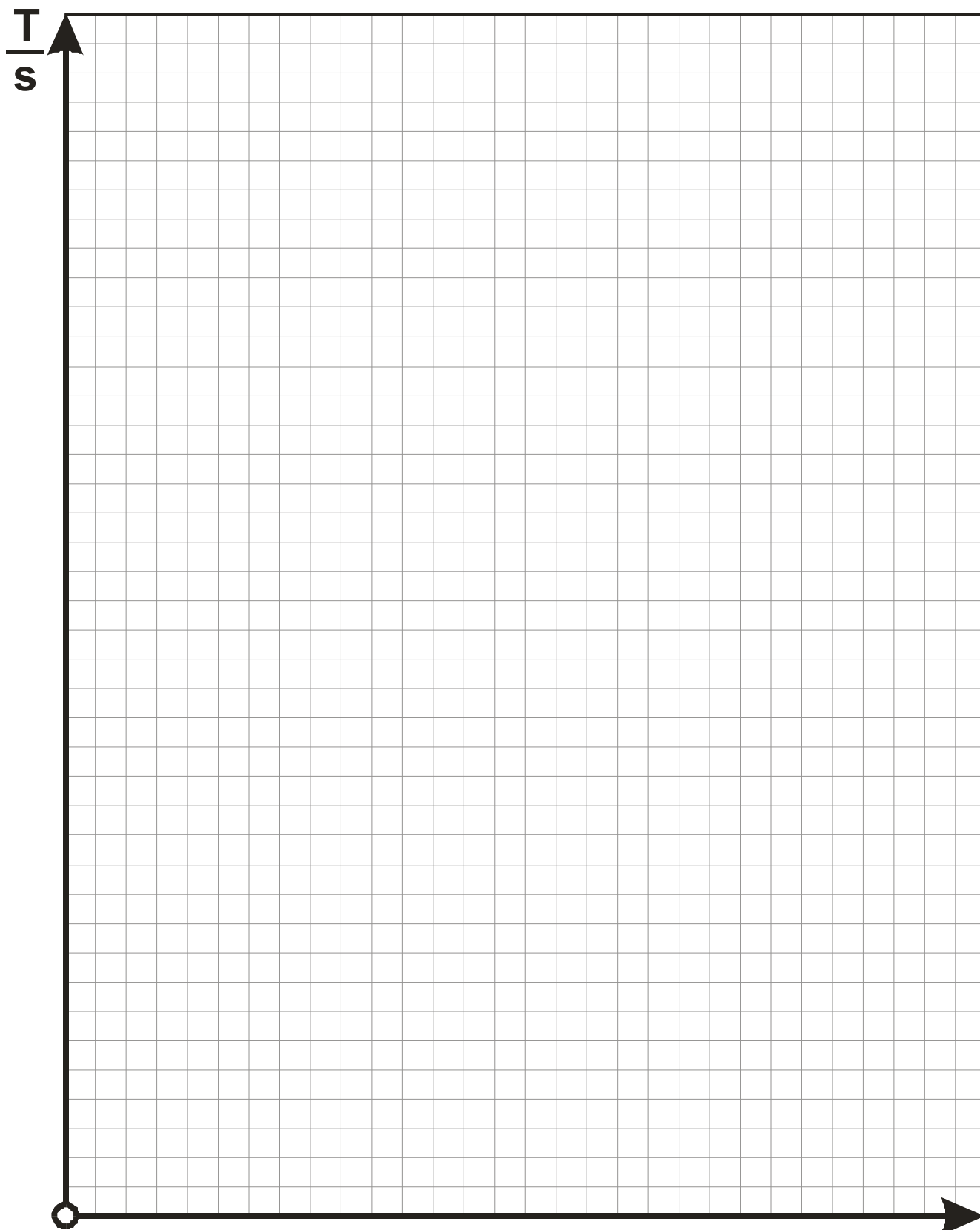
Wird die Steigung der Ausgleichsgeraden als C bezeichnet, lässt sich die Federhärte D berechnen mit

$$D = \frac{4 \pi^2}{C^2} \quad (6)$$

Wichtig: Wie bereits oben erwähnt, ist m die **Gesamtmasse** des schwingenden Systems. Die **Masse des Gewichtshalters** ist zu berücksichtigen. Die **Eigenmasse der Feder** muss unberücksichtigt bleiben.



Vorlage zur graphischen Auswertung der Messwerte aus der Station 3



Ergebnisse der graphischen Auswertung zu Station 3:

$$\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{kg}}$$

<i>Steigung C</i>	<i>Federhärte D</i>	<i>D aus Berechnung</i>	
			Stahlfeder

5 Diskussion

Die Diskussion eines Versuches enthält:

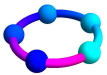
- Beabsichtigtes **Ziel des Versuches**.
- Kurze Darstellung des **Ergebnisses**.
- **Fehler**diskussion/-betrachtung.
- Eventuelle vereinfachende **Annahmen** bei der Versuchsdurchführung und – Auswertung, die sich auf die Ergebnisse auswirken könn(t)en.

Verfassen Sie hier Ihre Diskussion des Versuches als **Freitext**.

Lern-Tipp:

Treffen Sie sich mit den anderen Mitschülern Ihrer Versuchs-Gruppe (**Arbeitsgruppen**) und diskutieren Sie dort die Versuchsergebnisse. Notieren Sie sich alle wichtigen Diskussionsbeiträge und verwenden Sie diese Beiträge für diese Diskussion.

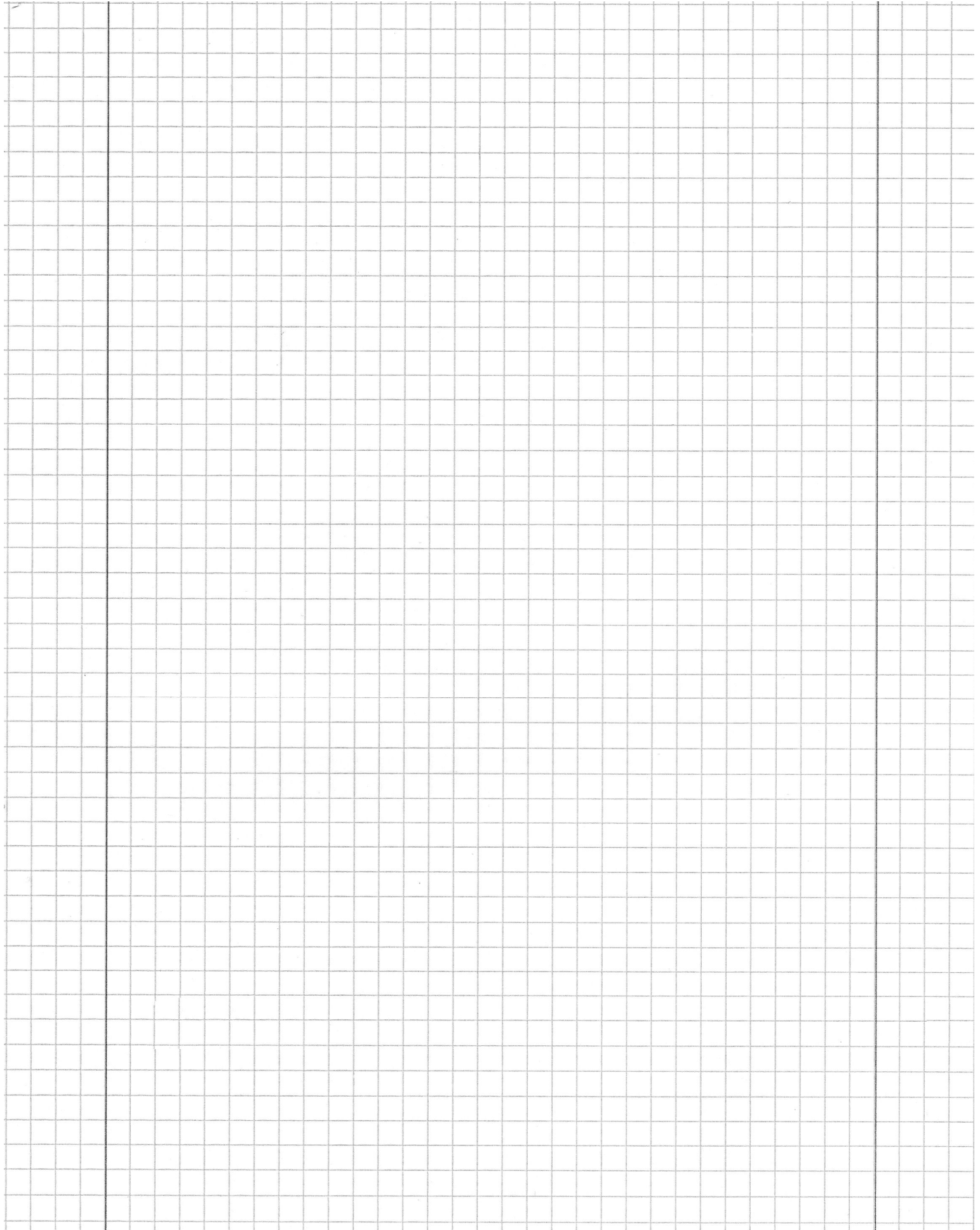
Ihre Diskussion schreiben Sie allerdings selber.



Verwenden Sie für die Diskussion auch die GeoGebra-Arbeitsblätter **Federhaerte-1.ggb** und **Federhaerte-2.ggb**

9 Berechnungen (Nebenrechnungen) zur Auswertung

Sollte der Platz für die Berechnungen nicht ausreichen, setzen Sie diese auf einem separaten Blatt Papier fort und heften Sie dieses Blatt als **Anhang** diesem Protokoll bei. Machen Sie dann einen entsprechenden Hinweis auf dieser Seite **und** auf dem Anhang.



10 Zusatzaufgaben

Die folgenden Aufgaben bearbeiten Sie auf einem separaten Blatt Papier. Dieses Papier heften Sie diesem Protokoll als Anlage bei.

Bearbeiten Sie diese Aufgaben nach Möglichkeit vor dem eigentlichen Versuch

Hier allgemein Rechnen

- 1 Eine Feder hat im entspannten Zustand eine Länge von l_0 , die Federkonstante beträgt D . **Geben Sie eine allgemeine Gleichung** für die Gesamtlänge $l(m)$ [„Länge l in Abhängigkeit von der Masse m “] der Feder **an**, wenn die Feder durch Anhängen einer Masse m in die Länge gezogen wird.
- 2 Ein Federpendel besitzt die Masse $m=75,0\text{ g}$ und schwingt mit einer Periodendauer von $T=4,57\text{ s}$. Die Federmasse wird vernachlässigt. **Berechnen Sie** die Federkonstante D .
- 3 **Nennen Sie** drei Beispiele für den Einsatz elastischer Federn aus unterschiedlichen Bereichen des Alltags.
- 4 Werden zwei baugleiche elastische Federn (Federhärten D) parallel angeordnet und die unteren Enden miteinander fest verbunden (siehe Abbildung rechts), verhält sich diese Feder-Kombination wie eine Einzelfeder. **Geben Sie** allgemein deren Gesamtfederhärte D_{ges} **an** und **begründen Sie** Ihre Antwort.

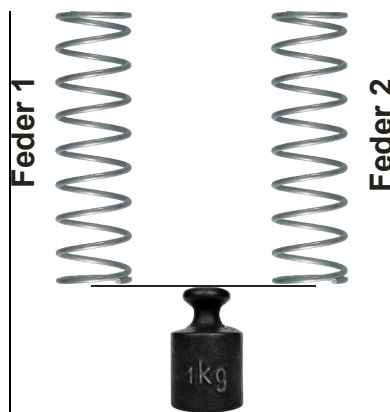
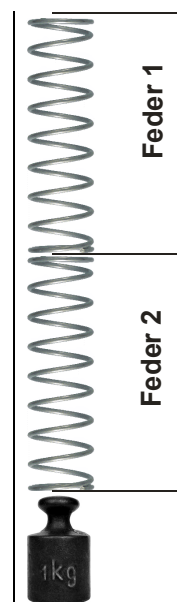


Abbildung rechts: Parallele Anordnung zweier Federn.

- 5 Werden zwei baugleiche elastische Federn (Federhärten D) in Reihe angeordnet (siehe Abbildung rechts), verhält sich diese Feder-Kombination wie eine Einzelfeder. **Geben Sie** allgemein deren Gesamtfederhärte D_{ges} **an** und **begründen Sie** Ihre Antwort.

Abbildung rechts: Reihenanzordnung zweier Federn.



- 6 Ihnen stehen nur ausreichend viele baugleiche elastische Federn der Federhärte $D_1=30\text{ N/m}$ zur Verfügung. Für einen Versuchsaufbau brauchen Sie aber eine Feder der Federhärte $D_2=10\text{ N/m}$. **Geben Sie an**, mit welcher Anordnung der Ihnen zur Verfügung stehenden Federn Sie die gesuchte Federhärte D_2 einstellen können **und begründen Sie** Ihre Antwort.
- 7 Bei beiden Messverfahren zur Bestimmung der Federhärte D wurde die Eigenmasse der Feder **nicht** explizit berücksichtigt. **Begründen Sie**, warum dies bei der Messung auf Station 1 (Bestimmung von D mit Hilfe des Hook'schen Gesetzes) **nicht notwendig** ist.
- 8 Bei der Messung der Dehnung eines Gummibandes (Station 2) ergab sich, dass die Messpunkte im l - F -Diagramm **nicht** auf einer Geraden liegen. Zeichnen Sie in das Diagramm auf Seite 5 durch diese Punkte eine gekrümmte Kurve. Interpretieren Sie den Kurvenverlauf. Verwenden Sie hierzu das GeoGebra-Arbeitsblatt **Federhärte-1.ggb**.

Verwenden Sie hierzu ein Kurvenlineal.



Federhärte-1.ggb

11 Lösungen zu den Zusatz-Aufgaben

Sollte der hier zur Verfügung stehende Platz für die Bearbeitung der Zusatz-Aufgaben nicht ausreichen, verwenden Sie bitte ein Zusatzblatt mit einem entsprechenden Vermerk und heften Sie dieses Zusatzblatt als Anlage dem Protokoll bei. Machen Sie in diesem Fall einen Vermerk auf dieser Seite.

12 Lernprotokoll

Reflexion des
Lernerfolges !

Sie führen ein Lernprotokoll: Dann tragen Sie das, was Sie in diesem Versuch erfolgreich gelernt haben oder wo Sie noch „Nachholbedarf“ haben, in dieses Lernprotokoll ein.

Sie führen kein Lernprotokoll: Dann tragen Sie das, was Sie in diesem Versuch erfolgreich gelernt haben oder wo Sie noch „Nachholbedarf“ haben, auf ein separates Blatt Papier und heften Sie dieses Blatt dem Protokoll bei.

13 Anhänge

Anhänge auf den folgenden Seiten