GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Universität Potsdam
lernen:digital Kompetenzzentrum MINT

Handreichung

für den Einsatz eines Smartphone-Experiments im Physikunterricht

Inhaltsverzeichnis

VERSUCH: PERIODENDAUER EINES FADENPENDELS 1

AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG 1
GEFAHRENBEURTEILUNG 2
ALTERNATIVEN 2

HYPOTHESENTESTS 3

EXEMPLARISCHE ERGEBNISSE 3
MÖGLICHE UNTERRICHTSPLANUNG 4
BEISPIELAUFGABEN 5

BESTIMMUNG EINER GLEICHUNG FÜR DIE PERIODENDAUER EINES FADENPENDELS 8

EXEMPLARISCHE ERGEBNISSE 8
MÖGLICHE UNTERRICHTSPLANUNG 9
BEISPIELAUFGABEN 10

Versuch: Periodendauer eines Fadenpendels

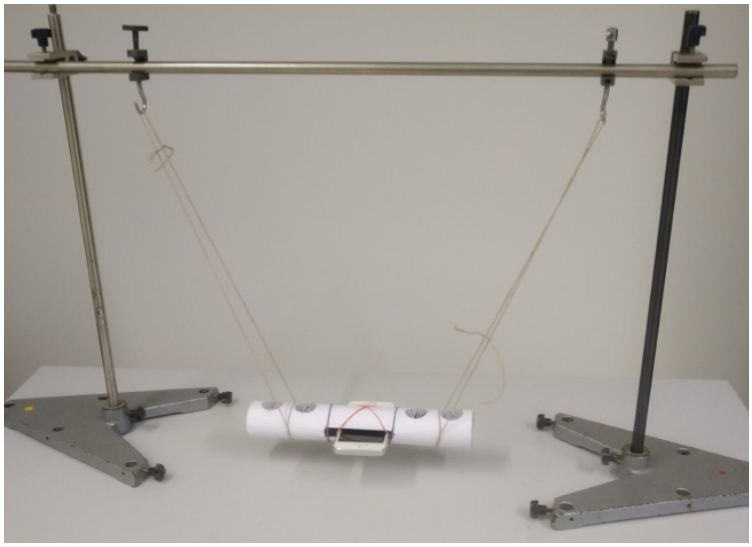
Aufbau und Durchführung

„phyphox“-Experiment:	Mechanik => Fadenpendel => Ergebnisse

Materialien:	- Smartphone mit Gyroskop
	- zweites Endgerät für Fernzugriff
	- 4x 100 g Massestücke
	- Lineal
	- Pendelaufhängung
	- Pappscheibe
	- Faden
	- 2 Stativhalter
	- 3 Stativstangen
	- 2 Kreuzmuffen
	- 2 Haken
	
	- Hilfsblätter:
	  ○ Messung der Periodendauer einer gedämpften Schwingung mit dem Smartphone
	  ○ Fernzugriff
	  ○ Bauanleitung Pendelaufhängung
	  ○ Schablone Pendelaufhängung

CC BY SA
Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Universität Potsdam
lernen:digital Kompetenzzentrum MINT

Skizze/Aufbau:	
Hinweise:	- Variablenkontrollstrategie beachten - Auslenkungen über 45° vermeiden - Aufbau mit Tischklemmen, wenn vorhanden, realisieren - Gummibänder müssen eng anliegen, damit das Smartphone nicht rutscht. - Bifilare Aufhängung ist besser geeignet - Einstellung in „phyphox“: Startverzögerung ca. 3,0 s; Dauer des Experiments ca. 10 s (oder: Fernzugriff)
Durchführung:	- Startverzögerung und Experimentdauer einstellen in „phyphox“ (oder: Fernzugriff aktivieren) - Messung am Smartphone einschalten (Fernzugriff oder Zeitverzögerung), Pendel auslenken und schwingen lassen - Messung beenden und Periodendauer ablesen - Einflussgröße verändern (Variablenkontrollstrategie) und Messvorgang mindestens 4x wiederholen

Gefahrenbeurteilung

Das Experiment ist ungefährlich, solange das Smartphone in der Halterung fixiert ist. Ansonsten könnte das darin befindliche Smartphone Schaden nehmen oder herunterfallen.

Alternativen

Aufgrund der relativen Ungefährlichkeit werden keine Alternativen benötigt.

CC BY SA

Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Universität Potsdam
lernen:digital Kompetenzzentrum MINT

Hypothesentests

Exemplarische Ergebnisse

$T = T(y_{max})$	$y_{max} = 5$ cm		$y_{max} = 15$ cm
i	$T_{y_{max},i}$ in s	$(T_{y_{max},i} - \overline{T}_{y_{max}})^2$ in s^2	$T_{y_{max},i}$ in s
1	1,20	0,0025	1,18
2	1,15	0,0000	1,15
3	1,20	0,0025	1,12
4	1,10	0,0025	1,08
5	1,10	0,0025	1,21
Durchschnitt	1,15	0,0020	1,15
Ergebnisse	$\sigma_{T,y_{max}} = 0{,}05$ s		$\sigma_{T,y_{max}} = 0{,}05$ s
	verschiedene $T_{y_{max}}$ innerhalb des Unsicherheitsbereichs um $\overline{T_y}$: $\overline{T_{y_{max}}} - \sigma_{T,y_{max}} \leq T_{y_{max},i} \leq \overline{T_{y_{max}}} + \sigma_{T,y_{max}}$ ⇨ $T \neq T(y_{max})$ => Vermutung widerlegt		

$T = T(m)$	$m = 300$ g		$m = 500$ g
i	$T_{m,i}$ in s	$(T_{m,i} - \overline{T}_m)^2$ in s^2	$T_{m,i}$ in s
1	1,18	0,0009	1,17
2	1,20	0,0025	1,14
3	1,20	0,0025	1,11
4	1,17	0,0004	1,10
5	1,13	0,0004	1,20
Durchschnitt	1,15	0,0014	1,14
Ergebnisse	$\sigma_{T,m} = 0{,}04$ s		$\sigma_{T,m} = 0{,}04$ s
	verschiedene T_m innerhalb des Unsicherheitsbereichs um $\overline{T_m}$: $\overline{T_m} - \sigma_{T,m} \leq T_{m,i} \leq \overline{T_m} + \sigma_{T,m}$ ⇨ $T \neq T(m)$ => Vermutung widerlegt		

$T = T(l)$	$l = 0{,}33$ m		$l = 0{,}60$ m
i	$T_{l,i}$ in s	$(T_{l,i} - \overline{T}_l)^2$ in s^2	$T_{l,i}$ in s
1	1,20	0,0025	1,50
2	1,15	0	1,60
3	1,20	0,0025	1,54
4	1,10	0,0025	1,62
5	1,10	0,0025	1,56
Durchschnitt	1,15	0,002	1,56
Ergebnisse	$\sigma_{T,l} = 0{,}05$ s		$\sigma_{T,l} = 0{,}05$ s
	verschiedene T_l außerhalb des Unsicherheitsbereichs um $\overline{T_l}$:		

CC BY SA

Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

	$T_{l,i} \neq \left[\overline{T_l} - \sigma_{T,l};\ \overline{T_l} + \sigma_{T,l}\right]$ ⇨ $T = T\ (l)$ => Vermutung bestätigt

Mögliche Unterrichtsplanung

Schlagworte:	Fadenpendel, Testen von Hypothesen
Lerngruppe:	10, G - H, Sekundarschule & Gymnasium
Lernziel des Unterrichts:	Die Schüler*innen sind in der Lage, angeleitet den mutmaßlichen Einfluss einer gewählten physikalischen Größe auf die Periodendauer eines Fadenpendels mithilfe eines vorgegebenen Aufbaus zu untersuchen und den Einfluss auf die Periodendauer zu beurteilen.
Mögliche Struktur des Unterrichts:	- Hypothesen bzw. Vermutungen im Brainstorming aufstellen lassen und an Tafel sammeln - (ggf. Vermutungen in physikalische Größen überführen) - Protokoll austeilen und auf Variablenkontrollstrategie verweisen (Protokoll befindet sich im Anhang) - jede Vermutung wird von mindestens 2 Kleingruppen (á 2-3 Schüler*innen) experimentell überprüft - Schüler*innen bearbeiten die Aufgaben des Protokolls und experimentieren gemäß der Anleitung - Rückbezug der Ergebnisse auf Hypothesen im Klassengespräch
Funktion des Experiments:	Entwicklung von Fragestellungen und Hypothesen, Auswerten von Daten, Diskussionsanlass über Wissensentstehung in NaWi., Gegenüberstellung Diskussion versch. Ergebnisse
Kompetenz:	- Untersuchungsergebnisse (auch erwartungswidrige) interpretieren (2.2.2) - Mittelwerte einer Messreihe berechnen (2.2.4) - vorgegebene Verfahren der Mathematik beim Umgang mit Gleichungen, chemischen Formeln, Reaktionsgleichungen, Diagrammen und Tabellen anwenden (2.2.4) - Hypothesen fachgerecht und folgerichtig mit Daten, Fakten oder Analogien begründen bzw. widerlegen (2.3.3) - Daten, Trends und Beziehungen interpretieren, diese erklären und weiterführende Schlussfolgerungen ableiten (2.2.2)
Format:	Schülerexperiment

Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

Beispielaufgaben

1) Stellt Vermutungen auf, wovon die Periodendauer eines Fadenpendels abhängen könnte.
2) Findet euch zu dritt zusammen. Jede Vermutung wird von (mindestens) 2 Experimentiergruppen á 3 Schüler*innen untersucht.
3) Bearbeitet die Aufgaben des Protokolls. Die von euch zu testende „Einflussgröße“ entnehmt ihr der euch zugewiesenen Vermutung. Ermittelt dabei, ob sich die vermutete Abhängigkeit zur Periodendauer bestätigt.

Name: Punkte: / 36 P Note:

Namen Partner*innen:

Protokoll zum Experiment: Einflussfaktoren der Periodendauer eines Fadenpendels

Vermutung aufstellen

1) Gib die im Brainstorming genannten Vermutungen an und markiere die, die ihr untersucht. / 4 P

_____

_____

_____

_____

Planung

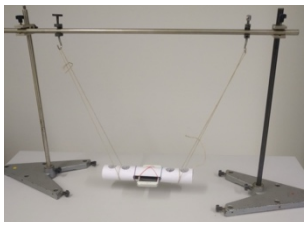
2) Baut das Experiment nach dem Schaubild auf und benenne die benötigten Materialien. / 4 P

_____

_____

_____

_____



Beobachten und Messwerte sammeln

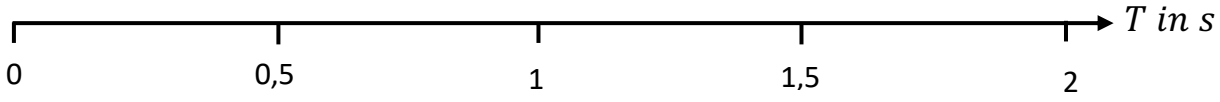
3) Untersucht eure Hypothese. Führt hierfür 3 Messreihen durch. In jeder Messreihe wird nur der Wert eurer Einflussgröße geändert. Jede Messreihe beinhaltet 5 Messungen. Gib in der Zeile „Einflussgröße“ den jeweils von euch gewählten Wert eurer Einflussgröße an. Gib von jeder Einzelmessung die Periodendauer in der Spalte „T in s“ an. Die Periodendauer wird mit dem Smartphone und der App „phyphox“ ermittelt (s. Hilfsblätter). Nenne eventuelle Besonderheiten in der Spalte „Bobachtung“. / 15 P

Messreihe	1			2			3		
Einflussgröße									
	Beobachtung	T in s	$(T - \bar{T})^2$ in s^2	*Beobachtung*	T in s	$(T - \bar{T})^2$ in s^2	*Beobachtung*	T in s	$(T - \bar{T})^2$ in s^2
Messung 1									
Messung 2									
Messung 3									
Messung 4									
Messung 5									
Durchschnitt	----------			----------			----------		

Auswertung der Ergebnisse

4) Berechne die durchschnittliche Periodendauer $\bar{T}$ für jede Messreihe und gib den Wert in der Tabelle an. / 3 P

5) Zeichne die in /3) und /4) Werte ermittelten Periodendauern maßstabsgetreu ein. / 3 P



(Zusatz: Ermittelt die Messunsicherheit u eurer jeweiligen Messreihe. Hierfür berechnet ihr die Wurzel aus dem Durchschnitt der Abweichung des Einzelwertes zum Mittelwert (Wurzel des Durchschnitts der Spalte $(T - \bar{T})^2$ in s"). Gib die Werte unten an. Trage das so ermittelte Intervall $\bar{T} \pm u$ für jede Messreihe in den Zeitstrahl ein.) + / 3 P

Messreihe 1: $\bar{T}$ = s; u = s

Messreihe 2: $\bar{T}$ = s; u = s

Messreihe 3: $\bar{T}$ = s; u = s

Rückbezug auf die Vermutung

6) Beurteile, ob sich die von euch untersuchte Vermutung bestätigte oder widerlegte. / 2 P

Hinweis: Vergleicht hierfür die in /5) eingezeichneten Periodendauern T miteinander. Ist nur eine einzige Gruppe um die durchschnittlichen Periodendauern $\bar{T}$ zu erkennen, gilt die Vermutung als widerlegt.

(Besser: Vergleiche hierfür die 3 beim Zusatz bestimmten Intervalle und gib an, ob sie sich überschneiden oder einander ausschließen.)

Ausblick und Reflexion

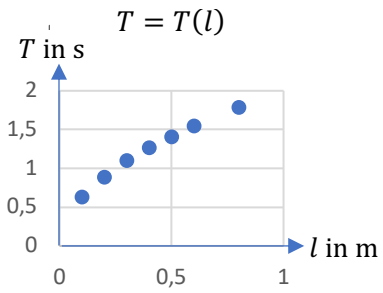
7) Gib an, was gut bzw. schlecht lief und was DU PERSÖNLICH gelernt hast. Nenne auch DEINE an das Experiment anschließende Fragen bzw. Unklarheiten. / 5 P

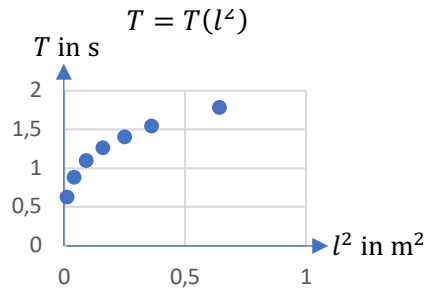
GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Universität Potsdam
lernen:digital Kompetenzzentrum MINT

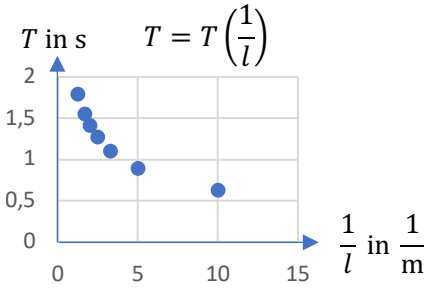
Bestimmung einer Gleichung für die Periodendauer eines Fadenpendels

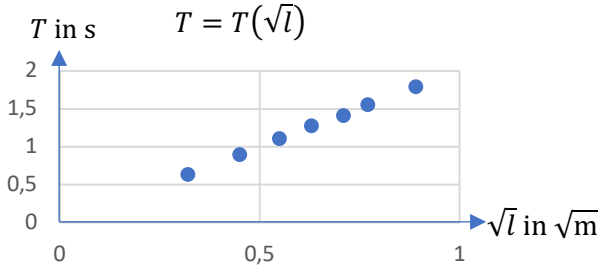
Exemplarische Ergebnisse

$T = T(l)$	$l = 0{,}33$ m		$l = 0{,}6$ m
i	$T_{l,i}$ in s	$(T_{l,i} - T_{l,\emptyset})^2$ in s^2	$T_{l,i}$ in s
1	1,20	0,0025	0,85
2	1,15	0	0,84
3	1,20	0,0025	0,86
4	1,10	0,0025	0,83
5	1,10	0,0025	0,85
Durchschnitt	1,15	0,002	0,85
Ergebnisse	$\sigma_{T,l} = 0{,}05$ s		$\sigma_{T,l} = 0{,}05$ s
	verschiedene T_l außerhalb des Unsicherheitsbereichs um $\overline{T_l}$: $T_{l,i} \neq [\overline{T_l} - \sigma_{T,l}; \overline{T_l} + \sigma_{T,l}]$ ⇨ $T = T(l)$		









T in s	0,63	0,89	1,10	1,27	1,41	1,55	1,79
l in m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
l^2 in m^2	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,64
$\frac{1}{l}$ in $\frac{1}{\text{m}}$	10	5	3,3	2,5	2	1,7	1,25
$\sqrt{l}$ in $\sqrt{\text{m}}$	0,32	0,45	0,55	0,63	0,71	0,77	0,89
Proportionalitätsfaktor k in $\frac{\text{s}}{\sqrt{\text{m}}}$	1,97	1,98	2	2,02	1,99	2,01	2,01

$$\bar{k} \approx 2\ \frac{\text{s}}{\sqrt{\text{m}}}\ ;\ u = \frac{k_{max} - k_{min}}{2} \approx 0{,}03\ \frac{\text{s}}{\sqrt{\text{m}}};\ \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \approx 2{,}006\ \frac{\text{s}}{\sqrt{\text{m}}};\ \bar{k} - u \leq \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \leq \bar{k} + u$$

CC BY SA
Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Universität Potsdam
lernen:digital Kompetenzzentrum MINT

Mögliche Unterrichtsplanung

Schlagworte:	Fadenpendel, Schwingungsdauer, Pendellänge
Lerngruppe:	Kl. 10, Kompetenzniveau G - H, Sekundarschule und Gymnasium
Lernziel des Unterrichts:	Die Schüler*innen sind in der Lage, am Beispiel der ermittelten Fadenlängen und Periodendauern eine Gleichung für die Periodendauer eines in Brandenburg stehenden Fadenpendels aufzustellen und mithilfe des Tafelwerks zu interpretieren.
Mögliche Struktur des Unterrichts:	- Transparentmachung der Zielsetzung: Gleichung aufstellen aus eigenen experimentell gewonnenen Daten - Vermutung vorgeben: $T = T(l)$ - Beispielaufbau beschreiben lassen und Messprinzip erklären $(m = konst., y = konst.)$ - Experiment durchführen lassen (ggf. auf Daten aus vorheriger Stunde zurückgreifen und mit eigenen erweitern) - Graph vom $T(l)$-Diagramm angeben lassen & zugehörige Funktion nennen/vermuten lassen - Achse linearisieren: $T(\sqrt{l})$-Diagramm zeichnen lassen (optional: alle bekannten Funktionen gruppenweise untersuchen) - $\bar{k} = \frac{k_1 + \ldots + k_7}{7}$ inklusive Unsicherheit $u = \frac{k_{max} - k_{min}}{2}$ bzgl. $T = k\sqrt{l}$ berechnen lassen - Vergleich (inklusive Einheitenbetrachtung von k) mit Tafelwerk: $T = 2\,\frac{\mathrm{s}}{\sqrt{\mathrm{m}}}\sqrt{l} \leftrightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{l}$ mit $\bar{k} - u \leq \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \leq \bar{k} + u$ - Modellgrenzen bzgl. mathematisches Pendel beurteilen - Reflexion: Schrittfolge für Gleichungsfindung verallgemeinern
Funktion des Experiments	Überprüfung physikalischer Gesetze, Auswerten von Daten, Diskussionsanlass über Wissensentstehung in NaWi., Erwerb experimenteller Fähigkeiten
Kompetenz:	- Untersuchungsergebnisse (auch erwartungswidrige) interpretieren (2.2.2) - Mittelwerte einer Messreihe berechnen (2.2.4) - Zusammenhänge zwischen Größen unter Verwendung von Gleichungen und Diagrammen erläutern (2.2.4) - Hypothesen fachgerecht und folgerichtig mit Daten, Fakten oder Analogien begründen bzw. widerlegen (2.3.3) - Daten, Trends und Beziehungen interpretieren, diese erklären und weiterführende Schlussfolgerungen ableiten (2.2.2)
Format:	Schülerexperiment

CC BY SA
Dr. J. Müller, V. Weber, C. Grotheer, 2025

Beispielaufgaben

1) Findet euch zu dritt zusammen.
2) Bearbeitet die Aufgaben des Protokolls und leitet mithilfe eurer Untersuchungsergebnisse eine Gleichung zur Berechnung der Periodendauer her und vergleicht eure Gleichung mit der aus dem Tafelwerk.

Name: Punkte: / 57 P Note:

Namen Partner*innen:

Ermittlung einer Gleichung zur Berechnung der Periodendauer eines Fadenpendels

1) Gib die Gleichung zur Bestimmung der Periodendauer eines Fadenpendels aus dem Tafelwerk an. / 1 P

_____

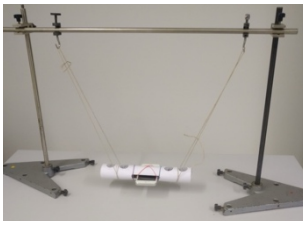
2) Baue das Experiment nach dem Schaubild auf und gib die benötigten Materialien an. / 4 P

_____

_____

_____

_____

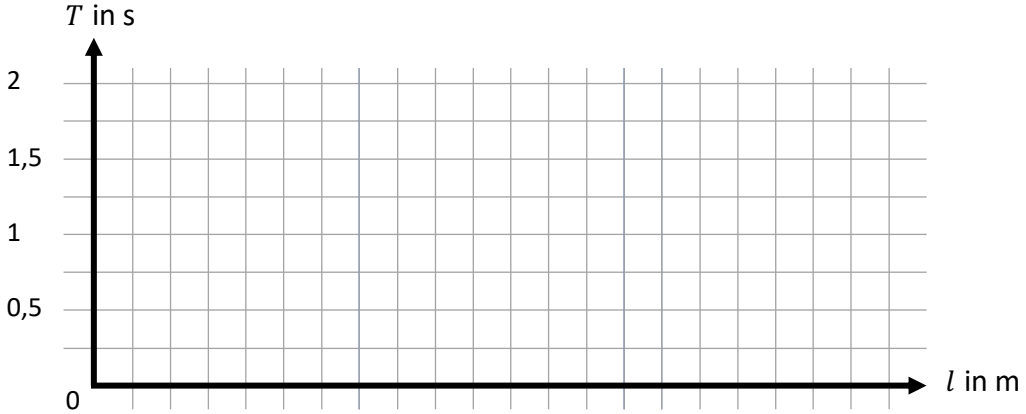


3) Untersucht die Periodendauer T in Abhängigkeit zur Fadenlänge l. Führt hierfür 6 verschiedene Messungen durch. Verändert nach jeder Messung die Fadenlänge. Die Periodendauer T wird mit dem Smartphone und der App „phyphox“ ermittelt (s. Hilfekärtchen), die Fadenlänge mit einem Lineal.

Gib jeweils die Periodendauer in die Zeilen „T in s“ und die Fadenlänge in die Zeile „l in m“ an. / 12 P
Gib auch eventuelle Besonderheiten in der Spalte „Bobachtung“ an.

Trage im Anschluss deine Messwerte ins Diagramm ein. / 6 P

Messung	1	2	3	4	5	6	7
Beobachtung							
T in s							1,79
l in m							0,8
in							
k in							

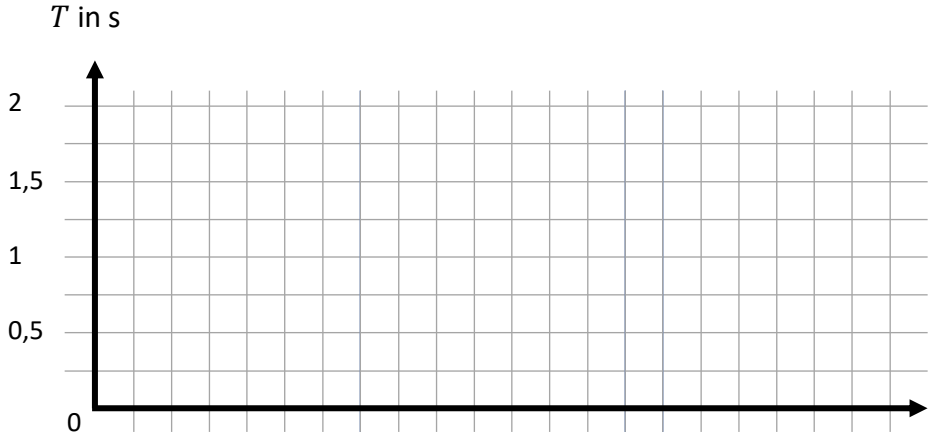


4) Beschreibe den Graphen im Diagramm und markiere, um welchen mathematischen Zusammenhang es sich handeln könnte: a) $T \sim l^2$ b) $T \sim \frac{1}{l}$ c) $T \sim \sqrt{l}$ d) $T \sim$ / 2 P

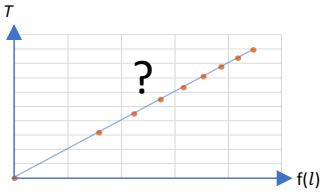
5) Berechnet die entsprechenden Werte und trage sie in die 4. Zeile der Tabelle von /3) ein. / 7 P

Hinweis: Falls ihr euch für 4 a) entschieden habt, müsst ihr jeweils l quadrieren und als „l^2 in m²“ eintragen.

6) Zeichne ein Diagramm. Trage T als abhängige Größe (y-Achse) und den mathematischen Zusammenhang mit l (4. Zeile der Tabelle) als unabhängige Größe (x-Achse) in das Diagramm ein. / 7 P



7) Wertet den Graphen im Diagramm aus. / 7 P



Falls sich eine Gerade ergibt, berechnet die Proportionalitätskonstante k und vervollständige die Tabelle aus /3). Falls nein, wiederholt /5) und /6) mit einem anderen mathematischen Zusammenhang.

Hinweis: Berechnung der Proportionalitätskonstanten: $T = k\, f(l) <=> k = \frac{T}{f(l)}$

8) Gib eine Gleichung zur Berechnung der Periodendauer eures Pendels an. / 2 P

$T \; =$

Name: Datum:

9) Gib das Intervall $\left[\bar{k} - u; \bar{k} + u\right]$ an, in dem die Proportionalitätskonstanten liegen. Berechnet hierfür $\bar{k}$ mit $\bar{k} = \frac{k_1 + \ldots + k_7}{7}$ und u mit $u = \frac{k_{max} - k_{min}}{2}$. / 2 P

10) Beurteile, inwieweit der von euch genutzte Aufbau dem Modell „mathematisches Pendel“ entspricht. Bei einem mathematischen Pendel schwingt ein Massepunkt reibungsfrei an einem masselosen Faden. Für ein solches Pendel gilt $k_{\text{mathe}} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$. / 2 P

11) Beschreibe, wie ihr eure Gleichung zur Berechnung ermittelt habt. Verallgemeinert hierfür das Vorgehen. Gebt den einzelnen Handlungsschritten sinnvolle Überschriften und nenne diese. / 5 P