

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

ich freue mich über Ihr Interesse zu der Stunde „Das Smartphone am Fadenpendel“. Anbei finden Sie einige Informationen zum verwendeten Material und zum didaktischen Konzept. Bei Rückfragen erreichen Sie mich unter schule@diplomer.de.

Viel Spaß, Dr. Michael Plomer.

Zum Inhalt der Stunde:

Die harmonische Schwingung wird im Physikunterricht der 10. Klasse des Gymnasiums typischerweise an den Beispielen des Federpendels und des Fadenpendels besprochen. Anhand dieser einfach zu realisierenden Versuche können viele der Eigenschaften einer harmonischen Schwingung veranschaulicht und im Experiment untersucht werden. Das Fadenpendel weist dabei einen höheren Schwierigkeitsgrad auf, da die Bewegung der schwingenden Masse zweidimensional verläuft und daher eine Kräftezerlegung notwendig ist. Zudem kann der Schwingungsvorgang nur dann als harmonisch beschrieben werden, wenn die Kleinwinkelnäherung beachtet wird.

In der Stunde soll der Bewegungsvorgang beim Fadenpendel untersucht und die notwendigen Randbedingungen, welche die Beschreibung als harmonische Schwingung gestatten, erarbeitet werden. Im Rahmen eines Schülerexperiments messen die Schüler mit ihren eigenen Smartphones die tangentielle Beschleunigung und erleben die Kleinwinkelnäherung anhand der graphischen Auswertung des Experiments, ohne dass diese näher mathematisch thematisiert wird.

Im Anschluss an die Stunde wird das Fadenpendel unter Beachtung der Kleinwinkelnäherung mathematisch beschrieben und die Bewegungsgleichungen aufgestellt. Als Ausblick kann hier nun die allgemeine Beschreibung durch die Methode der kleinen Schritte erfolgen und auch einige Sonderfälle diskutiert werden.

Didaktische Überlegungen:

Das Fadenpendel als mathematisches Pendel wird in den Schulbüchern meist nur an zweiter Stelle behandelt. Die Eigenschaften einer harmonischen Schwingung werden üblicherweise am Federpendel besprochen, da die rücktreibende Kraft hier stets proportional ist und die Bewegung im Eindimensionalen abläuft. Die Formel für die Periodendauer des Fadenpendels wird meistens vorgegeben und vorgeschlagen, die Abhängigkeit $T \sim \sqrt{l}$ im Schülerexperiment zu untersuchen.

Ein zu mathematischer Zugang über die Kleinwinkelnäherung erscheint aus einem anderen Ansatzpunkt her didaktisch bedenklich und für Fehlvorstellungen anfällig zu sein: Wenn beim Fadenpendel nicht sehr exakt zwischen dem trigonometrischen Sinus zur Beschreibung der rücktreibenden Kraft in Abhängigkeit des Auslenkwinkels und der Sinusfunktion zur Beschreibung der Auslenkung in Abhängigkeit der Zeit unterschieden wird, kann für den Schüler folgender (falscher) Zirkelschluss entstehen: „Wir stellen den Kraftansatz $a = -g \cdot \sin(\varphi)$ auf und vereinfachen ihn unter Verwendung der Kleinwinkelnäherung $\sin(\varphi) = \varphi$ zum Ansatz $a = -g \cdot \varphi$. Da es sich jetzt um eine harmonische Schwingung handelt, ist die Lösung der Bewegungsgleichung eine Sinusfunktion. Aber wir haben doch gerade den Sinus genähert und weggelassen???“

In der geplanten Stunde soll den Schülern die Möglichkeit gegeben werden, die rücktreibende Kraft als Ursache der Pendelbewegung sowie deren Proportionalität innerhalb eines gewissen Bereichs als Kriterium für die Beschreibung als harmonische Schwingung zu begreifen. Dieser Ansatz basiert auf der eigentlichen Definition der harmonischen Schwingung, welche aufgrund von messtechnischen Schwierigkeiten für das Fadenpendel oft vernachlässigt und nur die Periodendauer im Experiment untersucht wird.

Die Messung der rücktreibenden Kraft erfolgt dabei über die entsprechende Beschleunigung, welche mit einem Smartphone gemessen wird. Moderne Geräte besitzen Beschleunigungssensoren, deren Messdaten über verschiedene Programme als 3D Beschleunigungsvektoren ausgelesen werden können. Die folgenden beiden Programme werden dabei im Unterricht verwendet und laufen auf den in der Regel ausreichender Anzahl vorhandenen Geräten der Schüler:

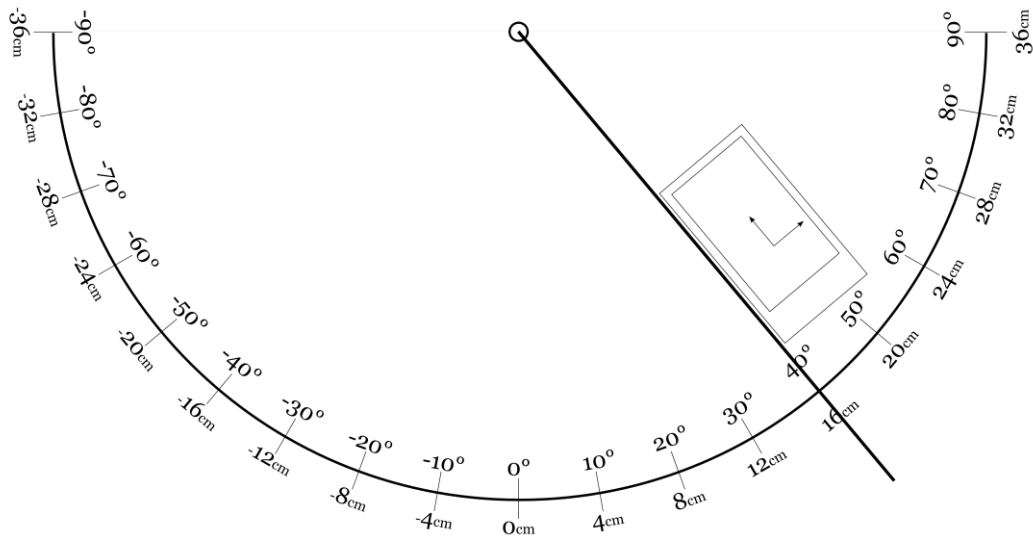
- A-Logger: Kostenlos, deutsch, einfache Bedienung, Anzeige aller relevanten Daten in einem Display, Exportmöglichkeit. Läuft auf dem Iphone sowie den neuen Ipod Touch Playern. Messgenauigkeit und Messfrequenz einstellbar.
<http://itunes.apple.com/us/app/a-logger/id378876978?mt=8>
- Accellogger: Kostenlos, englische Bedienung, Anzeige etwas überladen, aber einziges (mir bekanntes) gutes Programm für Android-Handys. Messgenauigkeit und Messfrequenz nur teilweise einstellbar.
https://market.android.com/details?id=jp.daikiko.Accellogger&feature=search_result

Auf die genaue Funktionsweise der Sensorik kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Ein Vergleich der beiden Programme sowie die Erfahrungen aus den Testversuchen zeigen, dass prinzipiell beide geeignet sind, aber folgende Kleinigkeiten zu beachten sind: Bei Accellogger wurde die Richtung entgegen der hiesigen Gewohnheit gewählt, weshalb die Messwerte ein anderes Vorzeichen wie bei A-Logger tragen. Zudem zeigen die Messwerte der verschiedenen Schülergeräte eine leichte Schwankungsbreite von etwa $0,1\text{m/s}^2$. Dies muss bei der Wahl der Messgenauigkeit sowie der Aussagekraft der Auswertung bedacht werden. Bei A-Logger kann dies durch die Wahl der Einstellung sinnvoll kompensiert werden, bei Accellogger ist dies nicht möglich.

Verwendetes Material:

Die Schüler arbeiten z.B. in Dreiergruppen. Dies muss auf die Anzahl der vorhandenen Geräte in der Klasse abstimmt werden. Anhand des Aufbaus messen die Schüler die für die rücktreibende Kraft entscheidende tangentielle Beschleunigung in Abhängigkeit von der Auslenkung und werten dies graphisch aus (vgl. Arbeitsblatt bzw. Lösung dazu). Das zugehörige Arbeitsblatt enthält alle für die Durchführung und die erste Auswertung nötigen Handlungsabfolgen. Jede Gruppe trägt die Daten in ein Arbeitsblatt ein. Dieses wird am Ende der Stunde eingesammelt und für die restlichen Schüler der Gruppe kopiert.

Die Kopiervorlage für den Aufbau liegt in zwei Versionen vor: Dabei wurde der Radius des Aufbaus jeweils so gewählt, dass 10° in „Winkelskala3m.pdf“ einer Bogenlänge von 3cm und in „Winkelskala4cm.pdf“ einer Bogenlänge von 4cm entsprechen, so dass sich für die Auslenkung im Winkelmaß sowie für die Bogenlänge im Rahmen der Messgenauigkeit immer ganze Zahlenwerte ergeben.



Winkelskala3cm kann auf DinA3-Papier kopiert, laminiert und dann entweder auf einem Holzaufbau befestigt oder auch „an die Wand geklebt“ werden. Winkelskala4cm ist für DinA3 zu groß, aber schöner zu handhaben. Es bietet sich an, sechs Skalen auf einem DinA0-Plotter zu drucken, dafür ist die Vorlage „Skalen auf A0-Poster.pdf“ bereitgestellt.

Anstelle eines Pendels wird nur ein einfacher Faden montiert, der von den Schülern an die gewünschte Auslenkposition gezogen werden kann und als Orientierung für die Neigung des Smartphones dient. Das verwendete Stativmaterial sollte ausreichend stabil sein, dass durch das Andrücken des Geräts keine Verkippung des Aufbaus und damit keine größeren Messfehler entstehen sollten.

Für meinen Prototypen habe ich 12 Aufbauten mit Material aus dem Baumarkt gebaut, die Kosten lagen inklusive Druck (lrz-muenchen.de) bei ca. 120 Euro. Kosten für die Messgeräte bestehen keine.