

Fadenpendel

Ein Versuch aus dem PeP-Klassenzimmer

16. April 2018

Inhaltsverzeichnis

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 Smartphone als Fadenpendel | 1 |
| 1.1 Theorie zum Fadenpendel | 1 |
| 1.2 Material | 2 |
| 1.3 Aufbau | 2 |
| 1.4 Durchführung | 3 |
| 1.5 Auswertung | 3 |
| 1.5.1 Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigungsgraphen . | 4 |
| 1.5.2 Bestimmung der Periodendauer | 4 |
| 1.5.3 Periodendauer und Auslenkwinkel | 5 |
| 1.5.4 Periodendauer und Masse | 5 |
| 1.5.5 Periodendauer und Pendellänge | 5 |
| 2 Vor- und Nachteile der Nutzung des Smartphones | 5 |
| 3 Praktische Tipps | 6 |
| Literatur | 6 |

1 Smartphone als Fadenpendel

Mittlerweile nutzen fast alle Schülerinnen und Schüler privat ein Smartphone. Warum sollten Lehrerinnen und Lehrer diese Ressourcen nicht auch dazu nutzen, den Physikunterricht ein wenig interessanter zu gestalten? Dazu muss es jedoch auch für die Schülerinnen und Schüler möglich sein, die Experimente Zuhause mit einfachen Mitteln zu reproduzieren. Deshalb wird im Folgenden zusätzlich ein einfacher, alternativer Aufbau gezeigt.

1.1 Theorie zum Fadenpendel

Auch wenn durch das Smartphone die genaue Messung der Beschleunigungen und das Erstellen der zur Versuchsauswertung benötigten Graphen übernommen werden, ist dennoch eine physikalische Interpretation unumgänglich. Besonders hervorzuheben ist hierbei eine genaue Kenntnis der Richtungen der einzelnen Beschleunigungen.

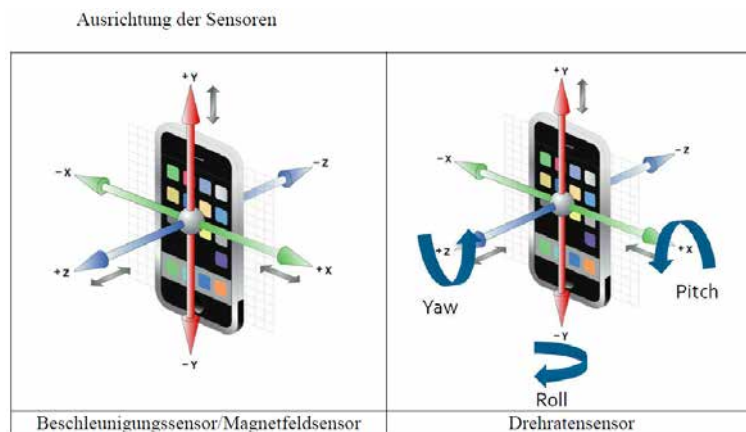


Abbildung 1: Sensorausrichtung

Da die Pendelbewegung des Smartphones durch eine Kreisbahn beschrieben werden kann, werden Polarkoordinaten über den Drehwinkel φ , anstatt einer Beschreibung über kartesische Koordinaten x und y verwendet. Für die Ruhelage gilt $\varphi = 0^\circ$. Aufgrund der bifilaren Aufhängung entspricht die Pendellänge l . Eine weitere Voraussetzung für den Versuch ist die Annahme eines mathematischen Pendels (punktförmige Masse mit festem Abstand l zum Koordinatenursprung). Damit gilt die Bewegungsgleichung

$$\ddot{\varphi} = -\frac{g}{l} \sin(\varphi) \quad (1)$$

Die Kleinwinkelnäherung liefert $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$. Daraus ergeben sich die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung

$$\dot{\varphi}(t) = \varphi_0 \omega_0 \cos(\omega_0 t) \quad (2)$$

$$\ddot{\varphi}(t) = -\varphi_0 \omega_0^2 \sin(\omega_0 t). \quad (3)$$

1.2 Material

Für das Fadenpendel werden neben eines Smartphones (gegebenenfalls mit Hülle) die nachfolgenden Materialien benötigt:

- 2 Stativfüße
- 2 Stativstangen
- 2 Muffen mit Haken
- Schnur
- Gliedermaßstab („Zollstock“).

Für den Versuchsaufbau Zuhause bieten sich folgende Materialien an:

- 1 Zahnstocher
- Türzarge
- Schnur
- Tesafilm.

1.3 Aufbau

Das Smartphone wird bifilar (an zwei Fäden) an den Haken des Stativs befestigt. Die bifilare Aufhängung soll dabei eine Rotation um die y-Achse des Smartphones verhindern. Um den Versuch Zuhause durchzuführen, kann anstelle des Stativs eine Türzarge genutzt werden. Eine mit Klebeband auf die Hülle geklebte Traverse (beispielsweise kann hier ein Zahnstocher genutzt werden) ermöglicht zudem eine sichere Befestigung des Telefons.

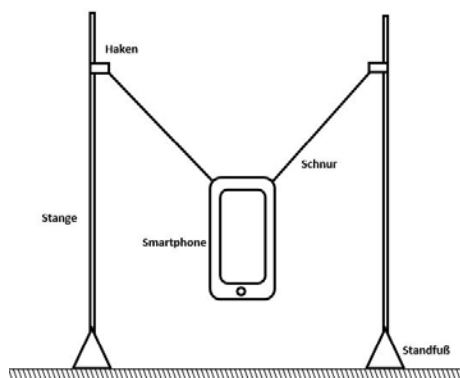


Abbildung 2: Versuchsaufbau



Abbildung 3: Aufbau
im Unter-
richt



Abbildung 4: Aufbau
Zuhause

1.4 Durchführung

Benutzt wird die App „SPARKvue“. Diese bietet unter anderem eine übersichtliche Darstellung der Messwerte des Beschleunigungssensors und zusätzlich einige statistische Funktionen.

Die im Experiment auftretende Tangentialbeschleunigung wird bei Messung in z-Richtung erfasst, die Radialbeschleunigung wird bei einer Messung in y-Richtung erfasst. Gemessen werden, unabhängig von der Darstellung auf dem Display des Smartphones alle drei Beschleunigungskomponenten, sodass diese zur Versuchsauswertung zur Verfügung stehen. Zuerst wird die Pendellänge gemessen. Anschließend wird das Pendel um einen kleinen Winkel ($\varphi \leq 20^\circ$) ausgelenkt. Wiederholungen für verschiedene Pendellängen werden durchgeführt.

1.5 Auswertung

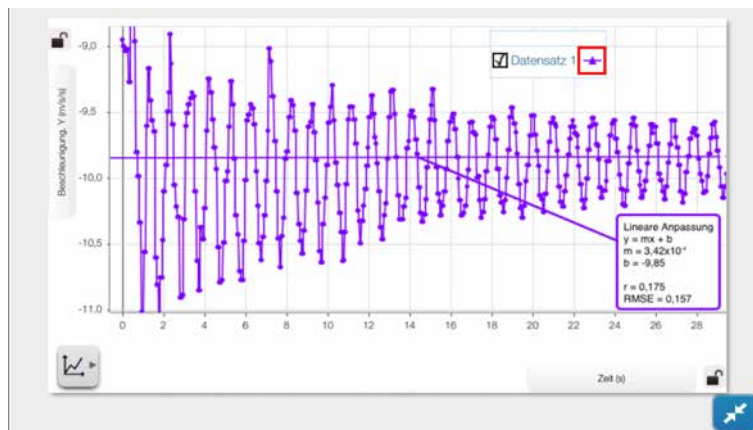


Abbildung 5: Radialbeschleunigung

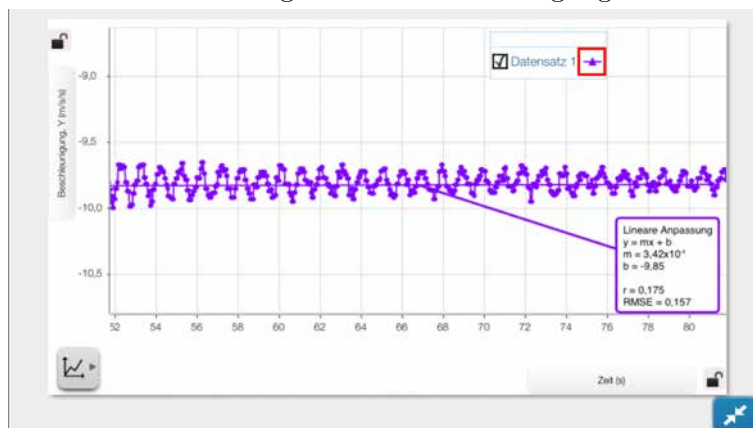


Abbildung 6: Radialbeschleunigung

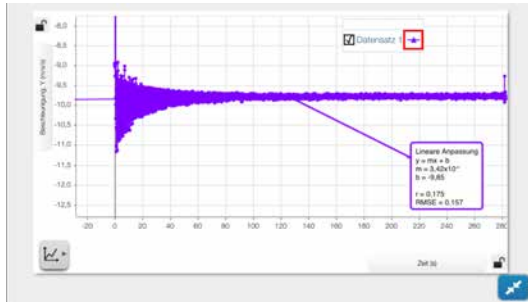


Abbildung 7: Radialbeschleunigung

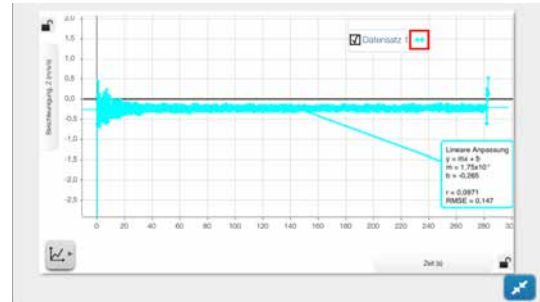


Abbildung 8: Tangentialbeschleunigung

Die angezeigten Graphen lassen sich als Screenshots nutzen, oder können direkt aus der App exportiert werden. In Kleingruppen innerhalb der Klasse lassen sich auch direkt die eigenen Smartphones der Schülerinnen und Schüler nutzen.

1.5.1 Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der Beschleunigungsgraphen

Wird die Tangentialbeschleunigung untersucht, so werden die Nulldurchgänge des Pendels den maximalen Pendelausschlägen gegenübergestellt. Im Nulldurchgang tritt keine Tangentialbeschleunigung auf, an den Umkehrpunkten ist diese maximal und entgegengerichtet. Es zeigt sich dadurch eine Projektion der vorhandenen Erdbeschleunigung in tangentialer Richtung. Dieser Graph wird zur Bestimmung der Periodendauer ausgewertet.

Für die Radialbeschleunigung zeichnet sich ein sinusförmiger Verlauf ab, seine Messwerte variieren um den Wert der Erdbeschleunigung g . Weiter zeigt sich, dass auch die Abstände der Maxima und Minima des Funktionsgraphen um g variieren. Dies liegt an den verschiedenen Geschwindigkeiten in den Umkehrpunkten, hervorgerufen durch die Zentrifugalkraft. Ein Vergleich der Geschwindigkeiten an den Umkehrpunkten mit derjenigen am Nulldurchgang bestätigt die Vermutung, dass diese in den Umkehrpunkten minimal, im Nulldurchgang maximal ist.

1.5.2 Bestimmung der Periodendauer

Die Periodendauer der Schwingung des Pendels lässt sich am zweckmäßigsten durch stoppen der Umlaufdauer bestimmen. Dennoch können hierzu auch die von „SPARKvue“ generierten Graphen genutzt werden. Aus dem Graphen zur Tangentialbeschleunigung können die Abstände der Maxima untereinander abgelesen werden. Es gilt

$$T = \frac{\Delta t}{n}, \quad (4)$$

wobei n der Anzahl der gemessenen Maxima entspricht. Diese Periodendauer kann mit dem theoretischen Wert

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{g}{l}} \quad (5)$$

verglichen werden.

1.5.3 Periodendauer und Auslenkwinkel

Der Vergleich der in den Gruppen ermittelten Periodendauern zeigt direkt eine Unabhängigkeit der Messergebnisse von dem Auslenkungswinkel. Alternativ bietet die App die Möglichkeit mehrerer Messungen, die alle in einem Graphen übereinander gelegt werden können.

1.5.4 Periodendauer und Masse

Die Unabhängigkeit der Periodendauer von der Masse lässt sich leider auf diese Art und Weise des Experimentierens nur schwer zeigen. Zwar besteht die Möglichkeit, zusätzliche Massen am Smartphone zu befestigen, dabei ist aus Sicherheitsgründen jedoch der Aufbau im Blick zu halten. Des Weiteren ist im Falle der Anbringung zusätzlicher Massen gegebenenfalls die Annahme eines mathematischen Pendels hinfällig.

1.5.5 Periodendauer und Pendellänge

In Kleingruppen sind viele Messungen mit verschiedenen Pendellängen leicht möglich. Da eine graphische Auswertung sehr aufwendig ist, bietet sich für ein Demoexperiment die Bestimmung der Periodendauer über eine Stoppuhr an.

2 Vor- und Nachteile der Nutzung des Smartphones

- Vorteile
 - schneller Versuchsaufbau
 - schnelle Messwerterfassung
 - graphische Darstellung
 - Betrachtung der Schwingung mit verschiedenen Auslenkungen einfach möglich
 - Möglichkeit der Darstellung mehrerer Messungen in einem Graphen
- Nachteile
 - Bestimmung der Periodendauer mittels Stoppuhr zweckmäßiger
 - auch eine Nutzung des Smartphones ersetzt physikalisches Grundverständnis nicht
 - die Möglichkeiten zur Befestigung von Zusatzgewichten sind sehr begrenzt.
 - Schülerinnen und Schüler nutzen ihr Smartphone während der Unterrichtszeit für private Zwecke.

3 Praktische Tipps

- Die Gruppengröße an die Kursgröße anpassen: kleine Gruppengrößen sind für Lehrkräfte schwieriger zu überblicken, größere Gruppen vereinfachen es einigen Schülerinnen und Schülern, sich zurückzulehnen und Andere arbeiten zu lassen.
- vor Versuchsbeginn klare Regeln festlegen: mobile Daten und WLAN sind von den Schülerinnen und Schülern auszuschalten, Stichproben ankündigen und auch durchführen.
- die horizontale Ausrichtung des Smartphones kann mit der App „**Kompass**“ überprüft werden.
- die App „**phyphox**“ der *RWTH AACHEN* bietet ebenfalls vielseitige physikalische Anwendungsmöglichkeiten. Auch hier lassen sich die Beschleunigungen des Smartphones auslesen, allerdings sind die Möglichkeiten der Datenverarbeitung derzeit noch sehr beschränkt.

Literatur

- [1] *Smartphones im Physikunterricht*. URL: <https://www.science-on-stage.de/page/display/on/7/7/268/teaching-physics-with-a-smartphone> (besucht am 15.04.2018).