

Smartphone-gestützte Experimente zur Untersuchung des Federpendels

Einleitung

Smartphones und Tablets können als experimentelle Werkzeuge im Physikunterricht eingesetzt werden und fördern den kognitiven und motivationalen Lernerfolg beim Experimentieren, wenn damit physikalische Phänomene im Physikunterricht untersucht werden (Kuhn & Vogt 2015, 2022). Da Smartphones über Sensoren wie Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetometer verfügen, deren Messwerte von einer App wie phyphox ausgelesen und graphisch dargestellt werden können (Staacks et al., 2018), lassen sich insbesondere in der Mechanik zahlreiche Experimente durchführen. Die App phyphox kann darüber hinaus auch externe Sensoren auslesen (siehe z.B. Dorsel et al., 2019, 2023). Dadurch können smartphone-gestützte Experimente sowohl mit dem Smartphone selbst als auch mit externen Sensoren realisiert werden. Dies wird am Beispiel des Federpendels gezeigt. Die Amplitude der Schwingung kann mit verschiedenen externen Sensoren wie einem Abstandssensor oder Drucksensor gemessen werden. Hierzu wurden diese Sensoren zusammen mit einem leichten und kompakten Mikrocontroller in einer zylindrischen Sensorbox (siehe Abb. 1 links) verbaut, die mit der App phyphox über Bluetooth ausgelesen wird. Durch die kompakte und leichte Bauweise der Sensorbox können Variablen wie die Pendelmasse oder die Größe einer zur Dämpfung der Schwingung genutzten Pappe (siehe Abb. 1 Mitte) leicht variiert werden. In dieser Arbeit werden Daten aus mit der App phyphox durchgeführten Federpendel-Experimenten für vier verschiedene (externe) Sensortypen, nämlich einen Beschleunigungssensor, Abstandssensor, Drucksensor und Magnetfeldsensor, vorgestellt, verglichen und Einsatzoptionen diskutiert.

1 Abstands- und Beschleunigungssensor

Die Amplitude der gedämpften Schwingung kann direkt mit dem Abstandssensor und indirekt mit dem Beschleunigungssensor gemessen werden. Dies kann auch parallel geschehen. Abbildung 1 zeigt rechts die Messdaten der beiden Sensoren. Die gedämpfte Schwingung wurde

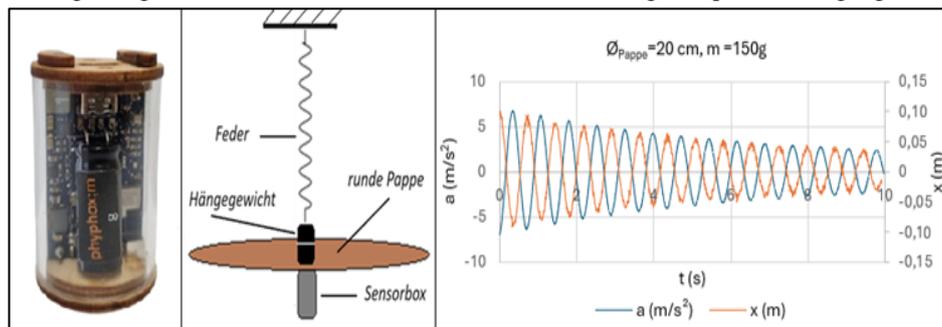


Abb. 1: Sensorbox von phyphox (links), Skizze des experimentellen Aufbaus (Mitte). Abstands- und Beschleunigungsmessung zeitgleich aufgenommen mit der Sensorbox (rechts).

hierbei durch eine kreisförmige Pappe mit einem Durchmesser $d = 20$ cm, mit einer Pendelmasse $m = 150$ g und eine Feder mit einer Federkonstante $k = (11.9 \pm 0.2)$ N/m realisiert. Die gleichzeitige Messdatenaufnahme mit den beiden Sensoren erlaubt den Lernenden einen Vergleich, der die zeitliche Verschiebung der Maxima und der Minima der Abstands- und Beschleunigungsmessung sichtbar macht, wie in Abb. 1 (rechts) zu sehen ist.

2 Drucksensor

Nach der barometrischen Höhenformel ist der Atmosphärendruck mit der Höhe verknüpft, so dass ein in vertikaler Richtung pendelnder Drucksensor auch Informationen über die Pendelbewegung enthält. In der Sensorbox wurde ein Bosch BMP581 Drucksensor verbaut, der absolute Drücke im Bereich bis 125 kPa messen und mit seiner relativen Genauigkeit Höhenunterschiede von wenigen cm auflösen kann. Zusätzlich können auch veränderliche Geschwindigkeiten des Pendelkörpers nach der Bernoulli-Gleichung zu Variationen im Druck führen, was z.B. bei der Messung mit Pitot-Rohren genutzt wird (Dorsel et al., 2022).

Abb. 2 zeigt die Messdaten des Drucksensors bei Pendelversuchen, die ohne ((a) und (b)) und mit Pappe ((c) und (d)) zur Dämpfung durchgeführt wurden. Insbesondere die Rohdaten in der Abb. 2(a) für die Schwingung ohne Dämpfungsglied (Pappe) zeigen, dass der Mittelwert von

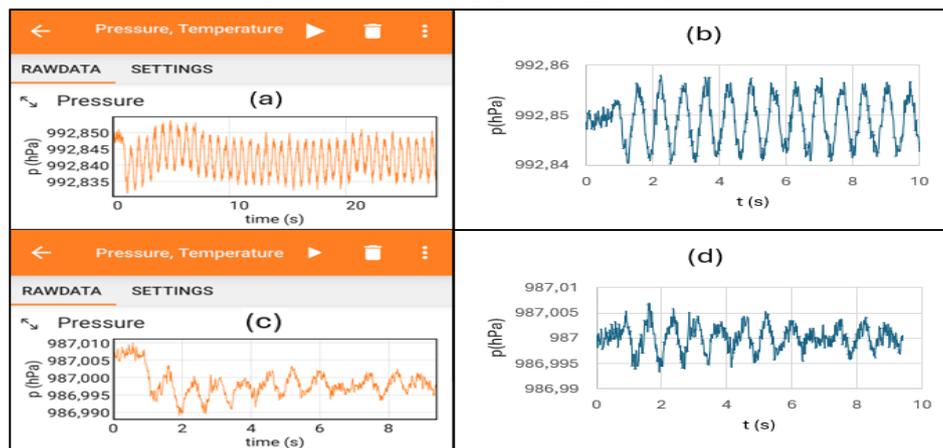


Abb. 2: (a) und (c) sind graphische Darstellungen der Messdaten des Drucksensors der Sensorbox *phyphox:m* in der App *phyphox* für eine Schwingung ohne und mit Pappe als Dämpfungsglied. (b) und (d) sind die Messdaten aus (a) und (c) mit Korrektur auf einen konstanten Mittelwert.

benachbarten Maxima und Minima der Kurve deutlich mit der Zeit variiert. Dies ist dadurch bedingt, dass der Druck stark von den Gegebenheiten der Umgebung (wie z.B. leichte Luftströmungen in einem Gebäude) beeinflusst wird. Daher wurde die Messung um den zeitabhängigen Verlauf des Mittelwerts korrigiert, was zu den Graphen in Abb. 2(b) und (d) geführt hat. Bei der gedämpften Schwingung (Abb. 2(c) und (d)) bleibt der Verlauf der Messdaten auch nach dieser Korrektur stark verrauscht.

3 Magnetfeldsensor

In diesem Versuch wird die Auslenkung der gedämpften Schwingung mit dem Magnetfeldsensor über die Veränderung der ortsabhängigen Magnetfeldstärke bei zwei verschiedenen Positionen und Ausrichtungen des Magneten parallel und senkrecht zur Bewegungsrichtung der Pendelmasse untersucht. Abb. 3 zeigt den experimentellen Aufbau mit dem Magneten und

die Messdaten der z-Achse des Magnetometers. Man erkennt charakteristische Unterschiede der Messdaten für beide Magnetkonfigurationen. Bei Position 2 unterliegt die Amplitude aufgrund unvermeidbarer kleiner Rotationen und Schaukelbewegungen der Masse beim Pendeln deutlichen Schwankungen.

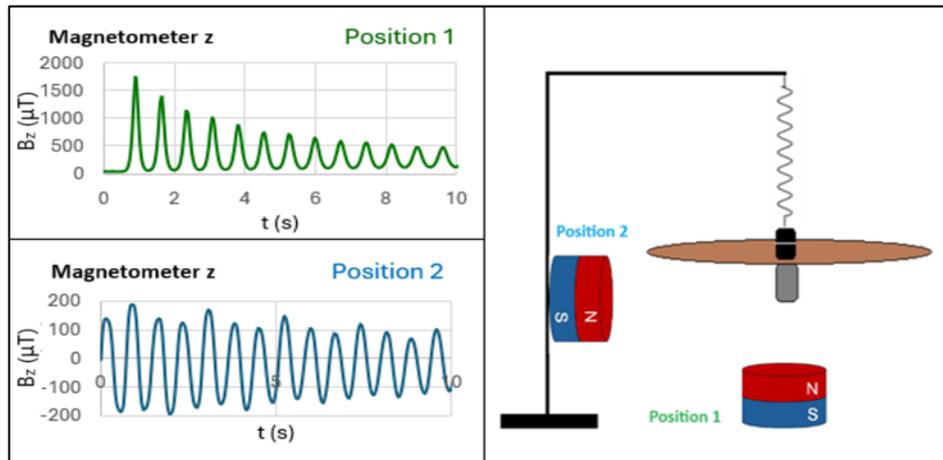


Abb. 3: Detektierte Magnetfeldstärke während der Pendelbewegung für Position 1 und 2 des Magneten (links) bezogen auf die z-Achse des Magnetometers. Skizze des experimentellen Aufbaus (rechts).

Ergebnisse und Diskussion

Mit vier verschiedenen Sensoren, die alle in einer Sensorbox implementiert waren und mit der App phyphox ausgelesen wurden, konnten Messdaten zur Schwingung verschieden gedämpfter Federpendel aufgenommen werden. Die Messkurven verdeutlichen neben charakteristischen Daten der Schwingung jeweils zusätzliche physikalische Phänomene. Diese einfachen Experimente eignen sich dabei sowohl zur Vermittlung physikalischer Konzepte als auch als Gegenstand vielfältiger Aufgabenstellungen zum forschenden Lernen.

Die Experimente können zudem sehr gut zur Vermittlung vielfältiger experimenteller Kompetenzen genutzt werden. Dies betrifft z.B. die Optimierung der Messungen hinsichtlich des Signal-Rausch-Verhältnisses. So zeigt ein Vergleich der Messdaten des Abstands- und Beschleunigungssensors, dass die Messkurven der Beschleunigung weniger Rauschen als die vom Abstandssensor aufweisen, insbesondere bei Langzeitmessungen, wenn die Amplitude sehr klein wird. Messungen mit dem Drucksensor und dem Magnetfeldsensor können zwar die Periodizität der Pendelbewegung sichtbar machen, erscheinen aufgrund komplexer physikalischer Hintergründe aber zur quantitativen Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Amplituden nur bedingt geeignet.

Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Smartphone-gestützte Experimente zur Untersuchung gedämpfter Federpendel vorgestellt. Vier verschiedene externe Sensoren einer Sensorbox ermöglichen es prinzipiell, Charakteristika der Bewegung des Federpendels zu untersuchen und eröffnen vielfältige Möglichkeiten nicht nur zur Vermittlung verschiedener physikalischer Konzepte, sondern auch für die Umsetzung von Aufgabenstellungen zum forschenden Lernen und zur Schulung diverser experimenteller Kompetenzen.

Literatur

- Kuhn, J., Vogt, P. (2015). Smartphone & Co. in physics education: effects of learning with new media experimental tools in acoustics. In: Schnotz, W., Kauertz, A., Ludwig, H., Müller, A., Pretsch, J. (eds.) Multidisciplinary Research on Teaching and Learning. Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK, S.254.
- Kuhn, J., Vogt, P. (2022). Smartphone as mobile minilabs in physics. Cham: Springer Nature Switzerland AG, S.5.
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. In: Physics Education, 53. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05c>.
- Dorsel, D., Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C (2019). Smartphone-Experimente für MINT-Fächer mithilfe von externen Sensoren. GDGP Tagungsband 2019 – Band 39.
- Dorsel, D., Staacks S., Loch M. & Pusch A. (2023). Sensordaten drahtlos zur Smartphone-App phyphox übertragen und grafisch auswerten. Ein einfaches Beispiel mit dem ESP32 und dem Ultraschallsensor HC-SR04. MNU Journal / Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts, 76 1, S. 36-43
- Dorsel, D., Staacks, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2022). Using a Smartphone Pressure Sensor as Pitot Tube Speedometer. The Physics Teacher 60(4):273-275.