

Mosab Abumezied  
Dominik Dorsel  
Sebastian Staacks  
Christoph Stampfer  
Heidrun Heinke

RWTH Aachen University

## **Experimentieraufgaben für eine zeitgemäße Physikausbildung an Hochschulen**

### **Einleitung**

Die bei praktisch allen Jugendlichen vorhandenen Smartphones (JIM-Studie 2022) verfügen neben dem Mikrofon beispielsweise über einen Beschleunigungssensor, ein Magnetometer oder einen Lichtsensor, welche durch Apps ausgelesen werden können (Vogt & Kuhn, 2012). Je nach App können die Messdaten als Wert oder in Graphen visualisiert werden. Damit können Smartphones auch als experimentelle Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht eingesetzt werden (West & Vosloo, 2013) und ermöglichen neue Lehr-Lern-Konzepte zum Beispiel im Themenfeld der Bewegung und Kraft im Physikunterricht (Pendel & Rohlén, 2011, Vieyra et al., 2015).

Insbesondere für die Hochschullehre bieten Smartphone-gestützte Experimente die Chance auf die Umsetzung neuer didaktischer Konzepte. Während bisher die Vorlesungen zur Experimentalphysik und Physikpraktika zumeist zeitlich versetzt und auch häufig inhaltlich getrennt voneinander stattfinden, können diese Lehrveranstaltungen durch den Einsatz Smartphone-gestützter Experimente zusammengeführt werden.

### **Einsatz externer Sensorboxen**

Aus diesem Grund werden im Rahmen des Verbundprojekts Physik.SMART der Stiftung *Innovation in der Hochschullehre* systematisch experimentelle Übungsaufgaben für die Grundlagenvorlesungen zur Experimentalphysik unter Nutzung der App *phyphox* (Staacks et al., 2018, Staacks et al., 2018a) entwickelt. Dabei kommen sowohl Experimente mit geräteinternen Sensoren als auch Experimente mit speziell entwickelten externen Sensorboxen zum Einsatz. Letztere erweitern das didaktische Potential von Smartphone-gestützten Experimenten nochmals erheblich gegenüber Experimenten, die ausschließlich auf die Daten geräteinterner Smartphone-Sensoren zurückgreifen (Dorsel et al., 2018). Dies ist dadurch begründet, dass externe Sensormodule zusätzliche physikalische Messgrößen und damit auch weitere Inhaltsfelder für den Einsatz der Experimente erschließen. Sie können zudem deutlich kompakter und robuster gebaut werden als Smartphones. Zusätzlich können die ausgewählten Sensoren auch speziell für geplante Experimente optimiert werden. Die Vereinheitlichung derjenigen Hardware, die sich kritisch auf die experimentellen Ergebnisse auswirkt, ist ein weiterer wichtiger Vorteil, der sich in einigen Lehr-Lern-Szenarien gegenüber den typischen BYOD-Ansätzen (*bring your own device*) für Smartphone-Experimente deutlich zeigt. Dies betrifft den einheitlichen Zugriff auf bestimmte Sensortypen, aber auch den Messbereich und die Empfindlichkeit der Sensoren. Zudem erweisen sich einheitliche Formen und Massen der die Sensoren enthaltenden Geräte in vielen Mechanik-Experimenten als vorteilhaft. Der Aspekt der einheitlichen Hardware wird umso wichtiger, je stärker der Fokus auf quantitativen Daten und deren Modellierung liegt, wie hier exemplarisch für das Experiment *Federpendel* gezeigt wird.

### **Das Experiment Federpendel**

Das Experiment *Federpendel* ist ein Standardexperiment der klassischen Mechanik und typischer Bestandteil von Grundvorlesungen zur Experimentalphysik sowohl in Physik-Studiengängen als auch in der Nebenfachausbildung Physik.

Das Experiment zeigt deutlich den Mehrwert von Smartphone-Experimenten: Da praktisch alle Lernenden mit ihren Smartphones Zugang zu dem entscheidenden Messgerät für die digitale Messwerterfassung haben, können nur durch die Bereitstellung von Low-Cost-Materialien z.B. in Form einer Zugfeder und einer Tüte zur Halterung des Smartphones bereits von allen Lernenden Experimente mit digitaler Messwerterfassung durchgeführt werden. Dies lässt sich mit wenig Aufwand auch für große Hörerzahlen in Vorlesungen zur Experimentalphysik umsetzen, die in Physikstudiengängen oft mehrere Hundert und in der Nebenfachausbildung teilweise auch mehr als 1000 Studierende erreichen (Hütz et al., 2019).

Mit dem Experiment *Federpendel* können verschiedene Lernziele adressiert werden. Sie umfassen das Verständnis diverser physikalischer Konzepte (Goetze et al., 2017), den Aufbau experimenteller Kompetenzen oder das Kennenlernen von kollaborativem Arbeiten (Staacks et al., 2022). Durch den Einsatz von Smartphone-gestützten Experimenten werden aber auch im Vorlesungskontext die Entwicklung von Modellierungskompetenzen oder die Anwendung einfacher Programmierkenntnisse in physikalischen Kontexten zugänglich. Aufgaben zu den letztgenannten Lernzielen können in besonderem Maße vom Einsatz externer Sensorboxen profitieren (siehe unten).

Für die Vorlesung „Experimentalphysik I“ an der RWTH Aachen wurde eine experimentelle Übungsaufgabe zum Federpendel entwickelt, in der Studierende die zeitabhängige Beschleunigung eines gedämpften Federpendels mithilfe von phyphox erfassen sollen. Anschließend sollen die Studierenden als Übung zur Anwendung einfacher Programmierkenntnisse die aufgenommenen Daten mithilfe von Python auswerten. Bei der Entwicklung der Aufgabe wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die Dämpfung im System gezielt und kontrolliert so zu beeinflussen, dass die Ergebnisse eines Vergleichs der experimentellen Daten mit einem einfachen Modellsystem vorhersagbar werden. Dies führte zur Entscheidung, statt der Smartphones der Studierenden externe Sensorboxen als schwingendes System einzusetzen. Dabei handelt es sich um an der RWTH entwickelte zylindrische Sensormodule mit einem Durchmesser von 32 mm und einer Höhe von 60 mm, die u.a. über Beschleunigungssensoren verfügen (Dorsel, 2023). Mit ihrer Geometrie und der Masse von nur 42 g sind sie für die kontrollierte Untersuchung von Dämpfungseffekten deutlich besser geeignet als typische Smartphones, die zudem in Vorlesungen mit mehreren Hundert Studierenden auch eine große Varianz aufweisen. Im Versuchsaufbau kamen zusätzliche veränderliche Pendelmassen zum Einsatz. Die Dämpfung wurde mithilfe von runden Pappen mit verschiedenem Durchmesser realisiert, welche an den Pendelmassen befestigt wurden. Einen Beispiel-Datensatz zeigt Abb. 1.

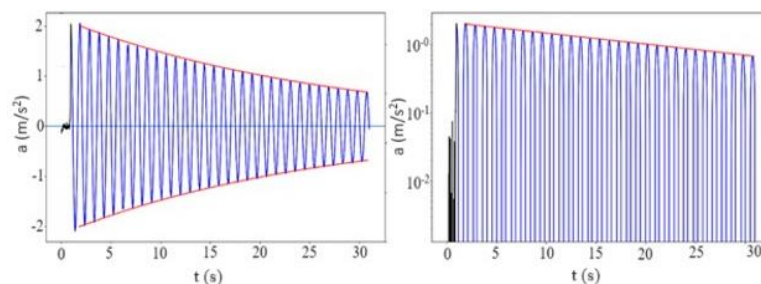


Abb. 1 Beispielhafte Darstellung der Beschleunigung als Funktion der Zeit für ein gedämpftes Federpendel auf linearer (links) und logarithmischer Skala (rechts). Details siehe Text.

Die Studierenden sollen mit der experimentellen Übungsaufgabe zum Federpendel neben den experimentellen Kompetenzen auch ihre Modellierungs- bzw. Programmierkenntnisse vertiefen, indem sie die erhobenen Daten mithilfe von Python darstellen und auswerten. Dazu sollen die Messdaten über ein Jupyter-Notebook importiert, visualisiert und die Einhüllende erfasst und deren Verlauf diskutiert werden. Beispielhaft sind in Abb. 1 Messdaten mit einer gefitteten Einhüllenden in linearer (links) sowie logarithmischer Darstellung (rechts) zu sehen.

Die in Abb. 1 gezeigte sehr gute Übereinstimmung zwischen den experimentellen Daten und dem theoretischen Modell einer exponentiell abfallenden Schwingungsamplitude wird tatsächlich nur für spezielle Kombinationen der experimentellen Parameter beobachtet. Dies zeigt beispielhaft Abb. 2 mit der Darstellung des zeitlichen Verlaufs der abfallenden Amplitude für verschiedene Dämpfungspappen mit Durchmessern von 5 cm bis 30 cm bei einer schwingenden Gesamtmasse von 280 g. Es ist erkennbar, dass mit steigendem Pappendurchmesser die erhobenen Messdaten immer weniger einem exponentiellen Verlauf (schwarze Linien) folgen. Offenbar ändern sich hier die dominanten Reibungsprozesse.

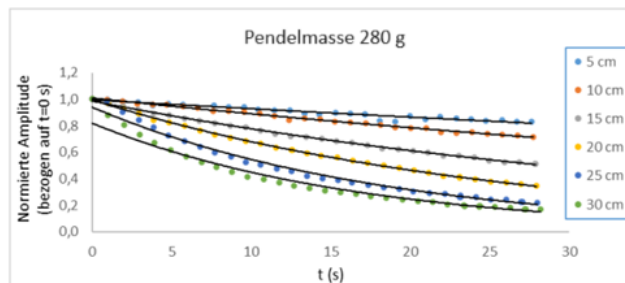


Abb. 2 Zeitabhängige Amplituden der Beschleunigung für eine Messreihe zum Federpendel mit Variation der Dämpfung durch runde Pappen mit verschiedenen Durchmessern.

Ein ähnliches Verhalten wird beobachtet, wenn das Experiment bei einer konstanten Dämpfungspappe von 20 cm Durchmesser mit verschiedenen schwingenden Massen von 100 g bis 300 g durchgeführt wird. Die Ergebnisse zeigen, dass das Modell des exponentiellen Abfalls der Beschleunigungsamplitude mit der Zeit hier umso besser passt, je größer die Masse ist. Da die mathematische Beschreibung der Pendelbewegung somit stark vom Verhältnis der Pendelmassen und der Größe des Dämpfungsglieds abhängt, erweist es sich für eine sinnstiftende Aufgabenstellung (zumindest am Studienbeginn) als essentiell, dass die Studierenden mit einer einheitlichen Hardware (hier in Form der externen Sensormodule) experimentieren.

#### Fazit und Ausblick.

Smartphone-Experimente mit der App *phyphox* können traditionelle Übungsaufgaben in Grundlagen-Vorlesungen zur Experimentalphysik gewinnbringend ergänzen und dabei auf diverse Lernziele ausgerichtet sein. Durch die Erweiterung mit externen Sensormodulen werden neue Themenfelder und Kompetenzbereiche zugänglich, was am Beispiel des gedämpften Federpendels gezeigt wird. Z.B. können Studierende unter Nutzung der mit einem externen Sensormodul gemessenen Daten ihre Modellierungs- und Programmierkenntnisse vertiefen. Neben dem Versuch *Federpendel* werden weitere Experimente in den Übungsbetrieb zu den grundlegenden Experimentalphysik-Vorlesungen eingebettet. In der einführenden Vorlesung sind das beispielsweise ein Fallschnur-Experiment, Experimente zur Reibung und zum Trägheitsmoment, zum Fadenpendel und zum inelastischen Stoß. Weitere Sensormodule, mit denen z.B. Temperaturen, der Druck und elektrische Spannungen gemessen werden können, ermöglichen die Ausweitung des Konzepts zum Einsatz experimenteller Smartphone-gestützter Übungsaufgaben auf den gesamten Kanon grundlegender Experimentalphysik-Vorlesungen.

## Literatur

- Dorsel, D., Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Smartphone-Experimente mit externen Sensoren. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, 1. Abgerufen von <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/883>
- Dorsel, Dominik (2023), *Entwicklung der Nutzbarkeit externer Sensoren bei Smartphone-Experimenten und deren Einsatz in naturwissenschaftlichen Experimenten*, Dissertation, RWTH Aachen University
- Götze, B., Heinke, H., Riese, J., Stampfer, S., Kuhlen, S. (2017) Smartphone-Experimente zu harmonischen Pendelschwingungen mit der App phyphox, in *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 233-239
- Hütz, S., Staacks, S., Stampfer, C., Heinke, H. (2019) Kleiner Aufwand, großer Nutzen? - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones, in *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 273-279
- JIM-Studie (2022), Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. JIM-Studie 2022 - Jugend, Information, Medien. Online abrufbar unter [https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM\\_2022\\_Web\\_final.pdf](https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2022_Web_final.pdf)
- Pendrill, A & Rohlén, J. (2011). Acceleration and rotation in a pendulum ride, measured using an iPhone 4. *Physics Education*, 46(6), 676-676.
- Staacks, S., Heinke, H., Stampfer, C. (2018) Smarte Experimente in *Physik Journal*, 17 (11), 35-38
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., Stampfer, C. (2018a) Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox, in *Physics Education*, 53 (4), 045009, DOI: [10.1088/1361-6552/aac05e](https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e)
- Staacks, S., (2022). Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox. *Eur. J. Phys.* 43 055702.
- Vieyra, R. et al (2015). Turn Your Smartphone Into a Science Laboratory. *The Science Teacher* 082(09).
- Vogt, P. & Kuhn, J. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 50, 182–183.
- West, M., Vosloo, S., (2013). *UNESCO Policy Guidelines for Mobile Learning*. UNESCO Publications, Paris