

Fellowship für Innovationen in der digitalen Hochschullehre
Förderungszeitraum 2017

Abschlussbericht:

Smartphone-gestützte Flipped Classroom Module in der Experimentalphysik

Sebastian Staacks geb. Kuhlen

Im Rahmen des Projekts „Smartphone-gestützte Flipped Classroom Module in der Experimentalphysik“ wurde eine Web-basierte Plattform entwickelt, die es Dozierenden erlaubt, ihren Studierenden physikalische Experimente an die Hand zu geben, welche diese selbständig mit haushaltsüblichen Materialien durchführen können. Hierbei bietet sich insbesondere die App „phyphox“ an, welche die Sensoren in Smartphones zur Datenerfassung nutzbar macht, und es wurde ein besonderes Augenmerk darauf gelegt, diese Experimente vor der Behandlung der zugehörigen Theorie in der Vorlesung durchführen zu lassen, so dass die Messergebnisse der Studierenden in der Vorlesung diskutiert werden können und so ein Flipped-Classroom-Aspekt hinzu kommt. Die übergeordneten Ziele, nämlich die Entwicklung der Plattform sowie das Erstellen von Materialien für Studierende und deren Erprobung in der Vorlesung, wurden vollständig erreicht und die Plattform sowie deren Inhalte sind unter <http://phyphox.org/module/> erreichbar.

Projektverlauf

Das Projekt wurde am 01.01.2017 begonnen und zum 01.02.2018 abgeschlossen, wobei weitere Inhalte für die hierbei entstandene Plattform unabhängig von der Förderung weiterhin entwickelt und verbreitet werden. Da die Inhalte parallel zur Plattform entwickelt und in Vorlesungen erprobt wurden, fanden die ersten Flipped Classroom Experimente im Rahmen der Vorlesung „Experimentalphysik I“ im Wintersemester 2016/2017 durch rein schriftliche Aufgabenstellungen statt. Die Messwerte der Studierenden konnten jedoch erfolgreich über eine zugehörige Lernplattform erfasst und in der Vorlesung diskutiert werden. Zum Sommersemester 2017 kam schließlich eine einsatzbereite Version unserer Plattform in der Vorlesung „Experimentalphysik II“ erfolgreich zum Einsatz und wurde aus diesen Erkenntnissen heraus weiter verbessert und für eine möglichst flexible und ansprechende Darstellung durch Bilder, Videos, Formeln und ähnlichem optimiert. Zu diesem Zeitpunkt fehlte jedoch noch eine Möglichkeit ohne fremde Lernplattformen die Messwerte der Studierenden zu erfassen,

weswegen ein Einsatz im Wintersemester 2017/2018 nicht zustande kam. Die Plattform wurde dennoch im Laufe dieses Semesters fertig gestellt und im Dezember für die Öffentlichkeit freigegeben.

Eine Evaluation des Erfolges wurde wie geplant während des Wintersemesters 2016/2017 durchgeführt und bestätigte eine hohe Motivation durch eigenständiges Experimentieren mit Smartphones. Eine spätere Evaluation erfolgte zum Ende des Sommersemesters 2017 nachdem große Teile der Plattform einsatzbereit waren und auch verwendet wurden. Diese Evaluation war ausführlicher und fragte auch Hemmnisse und Schwierigkeiten der Studierenden ab.

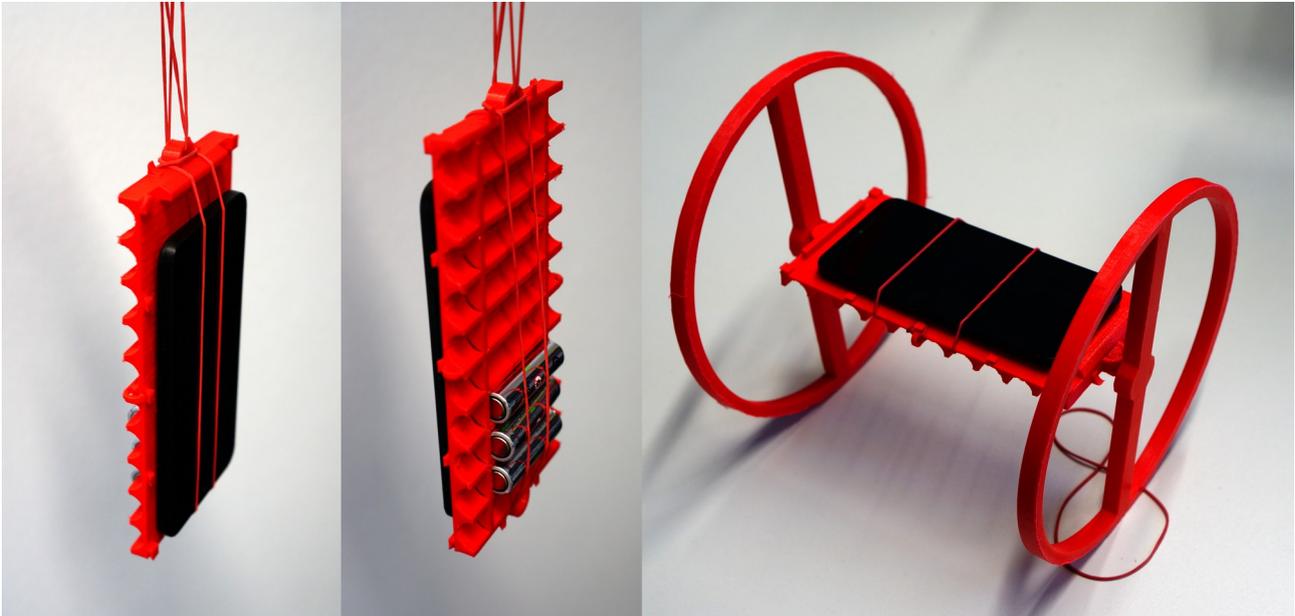


Abbildung 1: Links: Mit der entwickelten Halterung aus dem 3D-Drucker kann das Smartphone an einem Pendel befestigt werden. Mitte: Auf der Rückseite ist es möglich, handelsübliche AA-Batterien einzusetzen um die Masse des Pendelkörpers zu variieren. Rechts: An die Halterung können Räder angeklebmt werden um eine Drehbewegung durchzuführen.

Bei der Entwicklung von Experimentiermaterialien hingegen kam es zu Verzögerung, da entgegen der ursprünglichen Planung der 3D-Drucker des Fablabs der RWTH nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stand, dafür jedoch stattdessen ein Gerät eines anderen Instituts genutzt werden konnte. Dabei wurde zwar durch eine studentische Hilfskraft erfolgreich eine geeignete Smartphone-Halterung entwickelt (Abb. 1), aber eine Produktion in größerer Stückzahl erwies sich nicht unerwartet als zu schlecht skalierbar. Der ursprüngliche Gedanke, dass solche 3D-Drucke für Demonstrationsversuche an anderen Universitäten geeignet wären, bleibt zwar bestehen, doch sind die Ergebnisse mit einfacheren Materialien (z.B. Gefrierbeutel als Halterung des Smartphones an einem Federpendel, Papprolle für eine Abrollbewegung, usw.) so erfolgreich, dass es fraglich ist, ob der Aufwand eines 3D-Drucks für andere Dozierende gerechtfertigt ist.

Unsere Flipped-Classroom-Plattform wurde zudem auf kleineren regionalen sowie größeren internationalen Konferenzen vorgestellt und ist dort auf großes Interesse gestoßen. Eine zukünftige Übersetzung ins Englische ist entsprechend geplant.

Beschreibung der Plattform

Die entstandene Plattform soll zunächst von Dozierenden aufgerufen werden, die für ihre Vorlesung eine Sitzung mit den gewünschten Inhalten erstellen. Im ersten Schritt wählen diese hierzu das Thema bzw. Experiment aus, welches sie in ihrer Vorlesung verwenden möchten (Abb. 2).

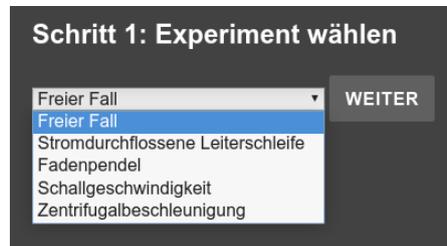


Abbildung 2: Der erster Schritt für Dozierende ist die Auswahl eines der bereits implementierten Module.

Im nächsten Schritt erfolgt die Anpassung des Moduls an die jeweilige Vorlesung. Je nach ausgewähltem Modul werden dem Dozierenden verschiedene Möglichkeiten geboten. Typischerweise kann ausgewählt werden, ob eine theoretische Herleitung des physikalischen Hintergrunds den Studierenden gezeigt werden soll, ob das Experiment mit oder ohne phyphox durchgeführt werden soll (sofern möglich) und ob bzw. welche Art der Aufgabenstellung den Studierenden gegeben werden soll (Abb. 3).

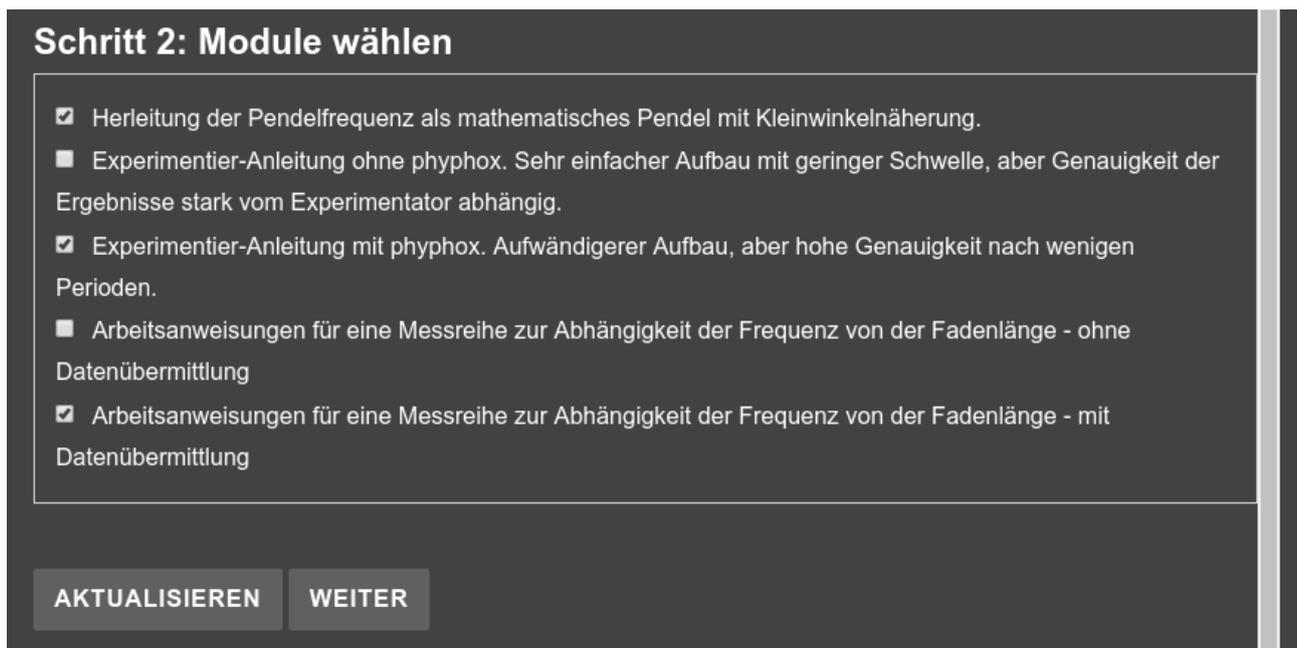


Abbildung 3: Im zweiten Schritt kann ausgewählt werden, welche Inhalte und Aufgabenstellungen den Studierenden gezeigt werden sollen.

Bei der Auswahl der Inhalte kann bereits eine Vorschau des entstehenden Arbeitsblatts angezeigt werden. Somit kann nicht nur überprüft werden, welche genauen Inhalte sich hinter der ausgewählten Beschreibung verbergen, sondern auch Bild- und Videomaterialien vorher angesehen werden. Ebenso enthält die Vorschau das Formular

zur Datenübermittlung durch die Studierenden, sofern eine Aufgabenstellung mit Datenübermittlung ausgewählt wurde. Dies ist das Kernstück des Flipped-Classroom-Aspekts dieser Module.

Abschließend folgt als dritter Schritt eine abschließende Konfiguration (Abb. 4) der erstellten Sitzung. Bei dieser muss eine E-Mail-Adresse hinterlegt werden, an welche später der Zugang zu der Sitzung und zu einem Administrationsbereich übermittelt wird. Zudem kann hier entschieden werden, ob alle Studierenden mit Zugang zu der Sitzung beliebig Daten übermitteln dürfen oder ob für jeden Teilnehmer ein Code generiert werden soll, der die Anzahl der übermittelten Datensätze auf einen pro Code beschränkt.

Schritt 3: Sitzung konfigurieren

Bitte tragen Sie eine Email-Adresse ein. Wir werden diese Adresse nicht an Dritte weitergeben und nutzen sie nur um Ihnen Links zu schicken, mit denen Sie Ihr Experiment editieren können, oder um Sie über Probleme zu informieren (z.B. wenn Ihr Experiment wegen Missbrauchs abgeschaltet werden muss). Über den Link, den wir Ihnen schicken, können Sie Ihr Experiment jederzeit löschen, wobei auch die hier eingegebene Email-Adresse wieder vollständig aus unserem System gelöscht wird.

Email:

Wenn Ihr Experiment das Übermitteln von Daten erlaubt, sollten Sie das übermitteln mehrere Datensätze einer Person einschränken. Hierzu können Codes generiert werden, die Sie ausgeben oder verschicken und so jedem Teilnehmer nur einen Datensatz erlauben. Wenn Sie Ihren Teilnehmern vertrauen, das System nicht zu missbrauchen, können Sie auch jedem Zugang gewähren. Wir werden die Übermittlung jedoch nach 10.000 Einträgen schließen.

Zugang:

Um zu verhindern, dass Bots diese Seite missbrauchen, geben Sie bitte den angezeigten Code ein.



Code:

Abbildung 4: Im letzten Schritt werden vorwiegend Sicherheitsaspekte konfiguriert, indem eine Mail-Adresse hinterlegt wird und die Berechtigungen zur Übermittlung von Messergebnissen für die Studierenden festgelegt werden.

Nach Abschluss dieses letzten Schritts wird eine E-Mail an die hinterlegte Adresse geschickt, welche zwei Links enthält. Einer ist für die Studierenden gedacht und kann

entsprechend an die Teilnehmer eines Kurses verschickt oder auf einer Lernplattform hinterlegt werden. Der andere Link ist nur für die Dozierenden bestimmt und gewährt Zugang zu einem Administrationsbereich.

Öffnen die Studierenden ihren Link, erreichen sie eine Webseite, welche ähnlich einem Textbuch aufgebaut ist und welche auch problemlos gedruckt werden kann. Die Module werden dabei mit einer recht einfachen Skriptsprache erstellt, worüber sie leicht in Überschriften gegliedert, mit Abbildungen und Formeln (Abb. 5) versehen werden und auch Multimedia-Inhalte eingebunden werden können (Abb. 6).

ausgelenkt ist und in welcher Orientierung es sich bei $t = 0$ befindet. Die Kreisfrequenz wird durch den Faktor g/L in der Differentialgleichung ausgedrückt. Dass dies die Differentialgleichung löst, lässt sich leicht durch Einsetzen zeigen:

$$\begin{aligned}\ddot{\varphi}(t) &= \frac{d^2}{dt^2} A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \\ &= A\omega \frac{d}{dt} \cos(\omega t + \varphi_0) && 1.7 \\ &= -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi_0) \\ &= -\omega^2 \varphi(t)\end{aligned}$$

Hieraus können wir auch gleich ω bestimmen und erkennen, dass diese Gleichung gilt, wenn

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad 1.8$$

Abbildung 5: In den Modulen können problemlos Formeln verwendet werden, um eine Textbuch-ähnliche Einführung zu ermöglichen.

Ähnlich einfach können auch Masken zum Übermitteln der Messergebnisse durch die Studierenden erstellt werden (Abb. 7). Dabei können Eingabefelder und der Button zur Übermittlung beliebig mit anderen Elementen des Textes (z.B. Tabellen, Aufzählungen usw.) kombiniert werden und weitere Funktionen wie die Abfrage eines Zugangscodes (falls in Schritt 3 beim Erstellen aktiviert) werden automatisch ergänzt.

2.1 Aufbau des Pendels

Da phyphox mit dem Gyroskop des Smartphones die Winkelgeschwindigkeit aufzeichnet, ist es wichtig, dass sich das Smartphone während der Pendelbewegung nicht um andere Achsen dreht. Hängt man das Smartphone an nur einem Faden auf, ist es fast unvermeidlich, dass das Smartphone intensiver um die Achse des Fadens rotiert als um die Achse der Pendelaufhängung. Daher wird das Pendel als Schaukel, also mit vier Aufhängepunkten ausgeführt.

Hierzu wird die Papprolle benötigt, welche das Smartphone aufnimmt und als Schaukel dient. Die Konstruktion wird in folgendem Video vorgeführt:



Abb. 2.1: Konstruktion einer Schaukel für Pendelversuche mit phyphox

Es empfiehlt sich, stets ein Kissen unter dem Pendel zu platzieren, damit das Smartphone nicht beschädigt wird falls die Konstruktion einmal versagt.

Abbildung 6: Die Durchführung des Experiments wird in der Regel mit Screenshots und Videoanleitungen erklärt.

3 Aufgaben

- Konstruieren Sie ein Fadenpendel und messen Sie die Schwingungsfrequenz. Welche Parameter Ihres Aufbaus beeinflussen die gemessene Frequenz?
- Wiederholen Sie die Messung für drei verschiedene Fadenlängen und tragen Sie diese in das Formular unten ein.

	Fadenlänge (cm)	Frequenz (Hz)
Versuch 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Versuch 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Versuch 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Code:

Tabelle 3.1: Eingabemaske für Versuchsergebnisse zum Fadenpendel. Bei Eingabe die Einheiten beachten!

Abbildung 7: Die Studierenden können ihre Messergebnisse über eine Eingabemaske übermitteln.

Die von den Studierenden übermittelten Daten wiederum können von den Dozierenden im Administrationsbereich als CSV-Datei abgerufen werden, so dass diese leicht in der Vorlesung präsentiert und diskutiert werden können. Ebenso ist es über den Administrationsbereich möglich, die Zugangsadresse für die Studierenden abzurufen, die Übermittlung auf Zugangscodes zu beschränken und diese in Massen zu erstellen und über den Administrationsbereich kann die aktuelle Sitzung auch wieder gelöscht werden.

Das beschriebene System entspricht weitestgehend dem ursprünglichen Projektvorhaben mit der Einschränkung, dass der genaue Wortlaut der Inhalte eines Moduls derzeit nicht durch den Nutzer bearbeitet werden kann. Zwar werden die Module durch eine für Laien leicht nutzbare Sprache definiert (beispielsweise vergleichbar mit der Skript-Sprache von Wikipedia), doch erwies es sich als technisch schwierig, diese so umzusetzen, dass die umfassenden Möglichkeiten nicht missbraucht werden können (insbesondere Cross-Site-Scripting und Spam im Allgemeinen werden hier von uns befürchtet). Es ist vorgesehen, dass bei Interesse ein Zugang zum Moduleditor ausgewählten Dozierenden auf Anfrage zur Verfügung gestellt wird.

Die Module

Zum Abschluss des Projekts wurden bereits fünf Module erstellt und öffentlich verfügbar gemacht, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

1. Zentrifugalbeschleunigung

Im Modul Zentrifugalbeschleunigung werden die Studierenden aufgefordert, ein Experiment zu entwickeln, in welchem sie ihr Smartphone auf einer Kreisbahn bewegen und so den Zusammenhang zwischen Zentrifugalbeschleunigung und Winkelgeschwindigkeit (über Beschleunigungssensor und Gyroskop des Smartphones gemessen) ermitteln können. Das Modul verfügt über eine Herleitung des rotierenden Bezugssystems, über Erläuterungen zur Unterscheidung der Begriffe „Zentrifugal-“ und „Zentripetalbeschleunigung“ im Bezug auf das vorliegende Experiment, über eine Experimentieranleitung und über eine Aufgabenstellung für das Experiment. Da hier das Entwickeln eines eigenen Versuchsaufbaus zur Rotation (beispielsweise in einer Salatschleuder, auf einem Karussell oder mit einem Drehstuhl) im Vordergrund steht und das Ergebnis vergleichsweise komplex ist, ist dies das einzige Modul ohne eine Datenübermittlung durch die Studierenden. Diese Art der Aufgabenstellung wurde bereits vor Projektbeginn in Form schriftlicher Aufgaben erfolgreich in der Vorlesung „Experimentalphysik I“ erprobt.

2. Freier Fall

Um die Dauer eines freien Falls zu untersuchen, sollen die Studierenden einen Aufbau erstellen, bei welchem ein Start- und Stopngeräusch den Beginn und das Ende des Falls markieren. Diese Geräusche können dann mit dem Smartphone in phyphox erfasst und so die Fallzeit bestimmt werden. Das Modul bietet eine Einführung zum Begriff „Beschleunigung“, eine Herleitung zur Fallzeit, eine Experimentieranleitung mit Video sowie Aufgabenstellungen wahlweise mit oder ohne Datenübermittlung durch die

Studierenden. Wird eine Datenübermittlung durchgeführt, ergibt sich aus den gesammelten Daten die Fallzeit als Funktion der Fallhöhe.

3. Fadenpendel

Mithilfe eines Fadens und einer Küchenrolle sollen die Studierenden hier ein Pendel konstruieren, in welchem ihr Smartphone ähnlich einer Schaukel als Pendelmasse dient. Neben einer theoretischen Herleitung des mathematischen Pendels verfügt das Modul über eine Videoanleitung des Versuchsaufbaus. Alternativ kann das Experiment auch ohne Smartphone und phyphox durchgeführt werden, wozu eine alternative Anleitung gewählt werden kann. Unabhängig von der gewählten Methode kann auch zwischen Aufgabenstellungen mit und ohne Datenübermittlung unterschieden werden.

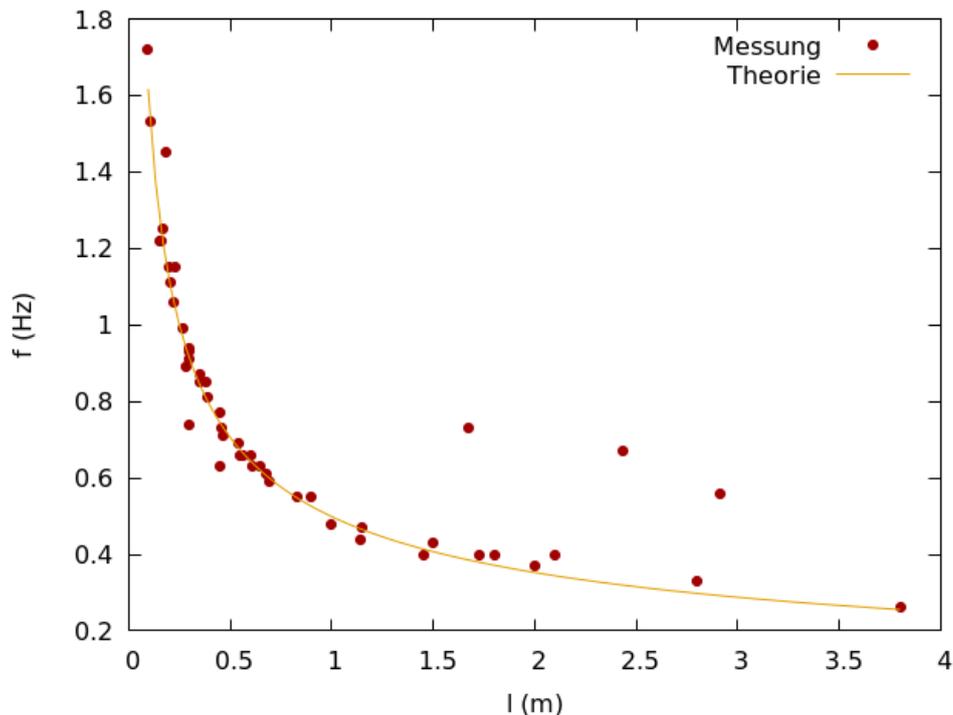


Abbildung 8: Die von den Studierenden mit phyphox gemessenen Frequenzen und Pendellängen wurden gesammelt und erfolgreich mit der Theorie verglichen.

Dieses Experiment wurde in der Vorlesung „Experimentalphysik I“ erprobt, wobei hier auch der gewünschte Flipped-Classroom-Aspekt zum Einsatz kam. Die Studierenden haben das Experiment durchgeführt bevor das Thema in der Vorlesung behandelt wurde. Bei der Herleitung des mathematischen Pendels wurde schließlich auf die zuvor gesammelten und aufbereiteten Daten zurückgegriffen und die Herleitung erfolgte mit Diskussion der von den Studierenden ermittelten Werte (Abb. 8).

4. Schallgeschwindigkeit

In Zweiergruppen können die Studierenden in diesem Modul die Schallgeschwindigkeit bestimmen. Zu diesem leichten Thema wird kein theoretischer Hintergrund geboten, aber das Experiment wird in einer Videoanleitung vorgeführt. Die Aufgaben erlauben optional eine Datenübermittlung, wobei diese einer statistischen Auswertung vieler Messungen durch die Studierenden dient.

5. Stromdurchflossene Leiterschleife

Dank des Magnetometers moderner Smartphones ist es möglich, selbst sehr kleine Magnetfelder zu erfassen. So reicht eine handelsübliche 1,5 V Batterie aus um in einer einfachen Leiterschleife einen Strom zu erzeugen, der ein messbares Magnetfeld erzeugt. Dieses soll von den Studierenden in diesem Modul als Funktion des Schleifenradius untersucht werden. Hierzu bietet das Modul eine theoretische Herleitung, eine Versuchsanleitung und Aufgabenstellungen, die optional mit oder ohne Datenübermittlung durchgeführt werden können. Werden Daten übermittelt, ergibt sich ähnlich zum Fadenpendel-Modul durch das Zusammenfügen der Beiträge aller Studierender ein Zusammenhang zwischen magnetischer Flussdichte im Mittelpunkt senkrecht zur Schleife und dem Radius der Schleife. Da die absolute Flussdichte jedoch auch von der Batterie und dem verwendeten Kabel abhängt, werden die Werte auf eine Referenzschleife mit vorgegebenem Radius (hier 5 cm) normiert.

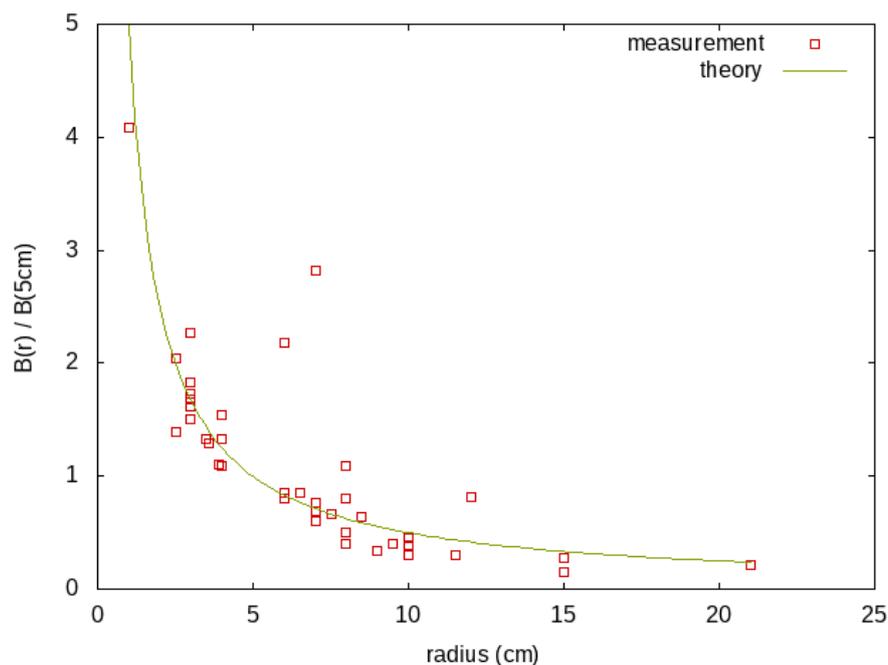


Abbildung 9: Kollektives Ergebnis unserer Studierenden zum Magnetfeld einer stromdurchflossenen Leiterschleife als Funktion des Schleifenradius.

Dieses Experiment wurde in der Vorlesung „Experimentalphysik II“ getestet (Abb. 9). Auch hier sollten die Studierenden das Experiment zunächst ohne theoretischen Hintergrund durchführen und die Daten wurden erst später in der Vorlesung bei der Herleitung des Biot-Savart-Gesetzes diskutiert. Im Gegensatz zum Fadenpendel ergeben sich hier deutlichere Abweichungen der Messwerte von der Theorie, was wir auf Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Position des Magnetometers im Smartphone und beim Abziehen eines immer vorhandenen Untergrunds (Kalibration des Magnetometers und Erdmagnetfeld) zurückführen. Aufgrund dessen wurde die Anleitung an mehreren Stellen überarbeitet, so dass diese Aspekte detaillierter beschrieben werden.

Evaluation und Erkenntnisse zum praktischen Einsatz

Nach den ersten Experimenten in den Übungsaufgaben der Vorlesung „Experimentalphysik I“ wurde eine einfache Evaluation durch eine Umfrage auf der online Lernplattform zur Vorlesung durchgeführt. Da zu dem Zeitpunkt die Aufgaben nur schriftlich erteilt wurden, ist dies als eine Beurteilung dessen zu verstehen, wie die Studierenden es aufnehmen, selbständig Experimente durchzuführen.

Während die Studierenden hier erwartungsgemäß keinen gesteigerten Lerneffekt sahen, stimmen sie mit einer großen Mehrheit zu, dass sich ein starker motivierender Effekt durch die Experimente einstellt (Abb. 10).

"phyphox macht mir Spaß und motiviert."



Antworten von 96 Studierenden der Vorlesung
Experimentalphysik I.

Abbildung 10: In einer Online-Umfrage sehen Studierende eine große Motivationswirkung.

Eine spätere Evaluation zum Ende der Vorlesung „Experimentalphysik II“ ergab hingegen ein gespaltenes Bild, in welchem die Mehrheit der Studierenden die motivierende Wirkung weiterhin bestätigte, jedoch ein zunehmender Anteil die Ansicht vertrat, dass nicht genügend Zeit im Studium zur Verfügung steht um Experimente als zusätzliche Leistung zu ermöglichen. Diese Evaluation erfolgte schriftlich in den Übungsgruppen, enthielt einen wesentlich umfangreicheren Fragenkatalog und fiel mit dem Beginn des Prüfungszeitraums des laufenden Semesters zusammen.

Hierbei wird erkennbar, dass Studierende Experimente im Rahmen von Vorlesungen nicht als festen Bestandteil der Übungen wahrnehmen, sondern diese als Zusatzaufgaben ansehen. Entsprechend ist erfreulich, dass die Aufgaben dennoch recht breit angenommen wurden.

In den genannten Vorlesungen war jedoch vorgesehen, dass experimentelle Aufgaben andere, traditionelle Aufgaben ersetzen und somit keinen Mehraufwand darstellen sollten. Es lässt sich somit für den zukünftigen Einsatz schließen, dass der zugehörige Arbeitsaufwand klarer kommuniziert werden muss und für die Studierenden transparent sein sollte, an welcher Stelle eine Zeitersparnis erfolgt.

Verstetigung und Übertragbarkeit

Das Projekt ist von Beginn an darauf ausgelegt gewesen, leicht durch andere Dozierende genutzt zu werden. Bereits wenige Monate nach der Veröffentlichung der Webmodule wurden bereits 15 Sitzungen von Dozierenden und Lehrkräften außerhalb der RWTH

erstellt. Da persönliche Daten beim Löschen von Sitzungen vollständig aus unserer Datenbank entfernt werden und bei keiner der Sitzungen große Datenmengen von Studierenden übermittelt wurden, ist der tatsächliche Einsatz dieser Sitzungen noch unklar. Es macht jedoch deutlich, dass das System auf der Webseite von phyphox für andere Dozierende sichtbar ist und Interesse weckt.

Aufgrund der Rückmeldungen auf Konferenzen sowohl deutscher Hochschulmitarbeiter als auch internationalen Lehrenden ist vorgesehen, dieses System auch in Zukunft für andere Sprachen und andere Themen zu erweitern. Dank der zugrunde liegenden flexiblen Skriptsprache ist das Erstellen eines Moduls kaum aufwändiger als die Verwendung eines Texteditors, so dass bei Interesse weitere Inhalte schnell implementiert werden können. Diese könnten dann sogar außerhalb der Physik liegen, wenn sich auch in anderen Fächern Experimente finden, die von Studierenden mit haushaltsüblichen Materialien durchgeführt werden können.