

Antrag auf ein Fellowship für Innovationen in der digitalen Hochschullehre

Smartphone-gestützte Flipped Classroom Module in der Experimentalphysik

Dr. Sebastian Kuhlen, 2. Physikalisches Institut A, RWTH Aachen University

Ziel des Projekts „Smartphone-gestützte Flipped Classroom Module in der Experimentalphysik“ ist die Entwicklung einer Smartphone- und Web-basierten Plattform für Lehrmodule für die Experimentalphysik, welche mit Unterstützung von Experimenten außerhalb des Hörsaals Studierende an die Inhalte einer Vorlesung heranführen sollen und so eine völlig neuartige Umsetzung des Flipped Classroom-Prinzips für die Experimentalphysik Vorlesungen (inklusive Physik Einführungs-veranstaltungen in anderen Studiengängen) ermöglichen. Die Experimente werden dabei vor allem durch den Einsatz der Sensoren von Smartphones umgesetzt und somit für die Studierenden leicht und ohne Kosten verfügbar gemacht, wobei die Ergebnisse aller Studierenden anschließend gesammelt und in der Vorlesung weiterverarbeitet werden können. Hierdurch wird es erstmalig möglich, dass die Studierenden Experimente der Physikvorlesung außerhalb der Universität in Eigenregie durchführen können, so dass deren Ergebnisse in der Vorlesung diskutiert, ausgewertet und genutzt werden können.

1. Motivation und Ziel des Projekts

Das Konzept des Flipped Classrooms¹ erfreut sich in vielen Disziplinen großer Beliebtheit und wird in vielen Studiengängen erfolgreich angewandt^{2,3}. Studierende erarbeiten Lerninhalte bereits vor der eigentlichen Vorlesung selbständig in einer selbst gewählten Geschwindigkeit, sodass in der Vorlesung im Idealfall alle Zuhörer auf dem gleichen hohen Vorwissenstand die Vorlesung besuchen und so mithilfe des Dozenten Diskussionen und deutlich weitergehende Vertiefungen möglich sind. Hierzu müssen die vorzubereitenden Inhalte den Studierenden in vergleichsweise kompakter und möglichst motivierender Form angeboten werden. Üblich sind hier kurze Videos oder ähnliche multimediale Inhalte.

1 Abeysekera, Lakmal, Phillip Dawson (2015). "Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research." *Higher Education Research & Development* 34 (1), 1-14.

2 Zamzami Zainuddin, Siti Hajar Halili (2016). "Flipped Classroom Research and Trends from Different Fields of Study" *International Review of Research in Open and Distributed Learning* 17 (3), 313-340.

3 Jerry Chih-Yuan Sun, Yu-Ting Wu (2016). "Analysis of Learning Achievement and Teacher-Student Interactions in Flipped and Conventional Classrooms" *International Review of Research in Open and Distributed Learning* 17 (1), 79-99.

In der Physik und insbesondere der Experimentalphysik gestaltet sich eine Umsetzung des Flipped Classroom Konzepts hingegen etwas schwieriger. Das Besondere ist hier, dass die Inhalte gemäß der wissenschaftlichen Vorgehensweise in der Physik den Studierenden nicht einfach als fertiges Ergebnis präsentiert werden, sondern aus Experimenten und Beobachtungen abgeleitet werden. Während in anderen Bereichen die Herleitung der Zusammenhänge oft theoretisch oder historisch motiviert wird, erweisen sich vor allem die Einführungsvorlesungen Physik (Hauptfach sowie als auch Nebenfach) als sehr anschaulich, da nahezu jedes Phänomen mit vergleichsweise einfachen experimentellen Aufbauten im Hörsaal vorgeführt werden kann.

Dieses deduktive Vorgehen ist jedoch deutlich schwerer auf einen Flipped Classroom anzuwenden. Das naheliegende Format hierfür wäre offensichtlich ein Video des Experiments, doch ein Teil der Faszination des Experimentierens geht in dieser Form verloren, da es an Interaktivität und schlicht an der Möglichkeit mangelt, dass ein Experiment auch fehlschlagen kann. Alternativen sind hier interaktive Bildschirmexperimente (IBE)^{4 5} oder Videoexperimente, in denen die Studierenden vor dem Abspielen des Videos Parameter des Experiments wählen können und entsprechend verschiedene Ausgänge zu sehen bekommen. In beiden Fällen bleiben aber die möglichen Ausgänge des Experiments weiterhin eingeschränkt und der Aufwand zur Erstellung von IBE oder Videoexperimente wächst erheblich mit der Anzahl der wählbaren Parameter. Dabei lassen sich das Gefühl der eingeschränkten Interaktivität und auch die fehlende Haptik sich nicht vollständig oder gar nicht überwinden.

Eine weitere Alternative stellen ferngesteuerte Experimente (Remotely Controlled Laboratories, RCL)⁶ dar. Das Experiment wird hierbei real in einem Labor durchgeführt und kann von den Studierenden von jedem beliebigen Ort in Echtzeit über das Internet gesteuert werden. Dieser Zugang bietet neben den bereits oben für IBE und Videoexperimente thematisierten Defiziten der fehlenden Haptik und des eingeschränkten Parameterraums zusätzlich das offensichtliche Problem, dass eines oder wenige Experimente nicht zeitgleich von hunderten Studierenden genutzt werden können und es somit unvermeidbar zu Engpässen kommt.

Letztendlich bleibt somit das zentrale Problem, dass bei der Umsetzung des Flipped Classroom Prinzips in der Experimentalphysik der größte Motivator, die Faszination des Experimentierens, verloren geht. Um dieses Problem zu überwinden, sollen in dem hier vorgestellten Projekt smartphone- und webbasierte Flipped Classroom Module entwickelt werden, die es Dozenten ermöglichen, zu einem Vorlesungsthema in der Experimentalphysik den Studierenden gezielt ein fertiges oder eventuell auch nach Bedarf konfigurierbares Experimentmodul anzubieten, welches im Sinne des Flipped Classroom Konzepts auf die Vorlesung vorbereitet und hierbei vor allem Wert auf die Integration von Experimenten legt, die die Studierenden mit einfachen Mitteln bereits zu Hause in einer selbst wählbaren Geschwindigkeit erforschen können.

Da es hierbei unrealistisch ist, alle Experimente einer Vorlesung auf dieses Format umzuwandeln und manches Experiment unter der Einschränkung der für Studierende verfügbaren Geräte leiden würde

4 J. Kirstein (1999). „Interaktive Bildschirmexperimente - Technik und Didaktik eines neuartigen Verfahrens zur multimedialen Abbildung physikalischer Experimente.“ Dissertation, TU Berlin.

5 M. Zastrow (2001). „Interaktive Experimentieranleitungen - Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum.“ H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 18, Berlin: Logos.

6 S. Altherr, M. Vetter, B. Eckert, H. J. Jodl (2005). „Experimentieren aus der Ferne – Ferngesteuertes Labor im Internet (Remotely Controlled Laboratory – RCL)“ Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 6 (54), 40-46.

oder schlicht nicht umsetzbar ist, soll in diesem Projekt ein modulares System entstehen, sodass in einer Vorlesung genau bei den Themen und den Versuchen eine Flipped Classroom-Erfahrung eingeflochten werden kann, bei der die Studierenden davon am meisten profitieren. Diese angestrebte Modularität wird zudem die Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Hochschulstandorte und Fachrichtungen deutlich erleichtern.

Ein sehr wichtiger Bestandteil und das entscheidende Alleinstellungsmerkmal eines Großteils dieser Module wird dabei die Integration unserer *phyphox* App sein. Hierbei handelt es sich um eine von mir am 2. Physikalisches Institut der RWTH Aachen entwickelte App, welche es Studierenden ermöglicht, die Sensoren ihrer Smartphones zu nutzen, um selbständig physikalische Experimente durchzuführen, woraus sich der Name *phyphox* von „Physical Phone Experiments“ ableitet. Diese App wird voraussichtlich Anfang September 2016 kostenlos für Android und iOS veröffentlicht und im Wintersemester 2016/2017 in verschiedenen Experimentalphysikvorlesungen und Physik



Abbildung 1: *phyphox* auf einem iOS und Android Smartphone. Hier wurden beispielhaft Daten mit dem Gyroskop bzw. dem Beschleunigungssensor in allen drei Raumrichtungen aufgezeichnet. (Die App ist sowohl auf Englisch als auch Deutsch verfügbar.)

Einführungsvorlesungen erprobt. Die wichtigsten Vorteile gegenüber schon existierender Apps in diesem Bereich ist eine einfache Fernsteuerung des Experiments von nahezu beliebigen Geräten (Tablet, Notebook, PC etc.), eine einheitliche Verfügbarkeit über die beiden großen Plattformen Android und iOS und nicht zuletzt eine integrierte Datenauswertung, die für jedes Experiment vom Nutzer frei erstellt werden kann. Details, Beispiele und die App selbst sind im Internet über phyphox.org verfügbar.

Die App ist über ein eigenes Dateiformat frei konfigurierbar, sodass in einem der geplanten Flipped Classroom Module beispielsweise ein Experiment zum Thema „Federpendel“ integriert sein kann, welches durch einen einfachen Klick das vollständig vorbereitete Experiment in *phyphox* öffnet. Die Studierenden können dann in diesem Beispiel den Beschleunigungssensor des Smartphones nutzen, um die Pendelbewegung aufzuzeichnen und je nach Vorgabe des Moduls wertet *phyphox* gleich die Frequenz der Schwingung aus. Dies eröffnet ein breites didaktisches Potential, um die Flipped Classroom Module auch an Studierendengruppen mit unterschiedlichem physikalischen Vorkenntnisstand und an verschiedene Lernziele in der Physikausbildung anpassen zu können.

Während *phyphox* damit bereits die technischen Voraussetzungen für Smartphone-Experimente liefert, fehlt es an der didaktischen Aufbereitung und an Anleitungen für die Studierenden. Im ersten Einsatz in unseren Vorlesungen werden daher schriftliche Anleitungen oder mündliche Einweisungen durch Tutoren verwendet. Dies soll durch das hier vorgestellte Projekt geändert werden, so dass ein vollkommen eigenständiges und motiviertes Lernen möglich wird, indem die Studierenden vor der Vorlesung auf eine entsprechende Webseite geleitet werden, auf welcher das Modul die Studierenden inhaltlich auf die Vorlesung vorbereitet und Anweisungen und Materialien zum dazugehörigen Experiment bietet.

Die zu entwickelnden Module sollen letztlich direkt ein entsprechendes *phyphox*-Experiment enthalten und inhaltlich darauf hinarbeiten, dass die Studierenden das Experiment und seinen physikalischen Hintergrund verstehen und selbständig durchführen können. Dazu gehören neben der Theorie und der angepassten *phyphox*-Datei auch entsprechendes Anschauungsmaterial wie Video-Anleitungen, Simulationen oder interaktive Animationen (Elemente, die weit über ein klassisches Lehrbuch hinausgehen). Im Hinblick auf konkrete Vorlesungen sind auch einfache Konstruktionsvorlagen oder günstig in Massen (z.B. mittels eines Lasercutters) gefertigtes Zubehörmaterial für die Studierenden möglich.

Bei manchen Experimenten kann das Flipped Classroom-Erlebnis zudem zu einer anschließend interaktiven Vorlesung erweitert werden, indem die Studierenden ihre Messergebnisse über das Modul sammeln und der Dozent in der Vorlesung mit den zusammengeführten Messergebnissen der Studierenden weiter arbeiten kann. So können z.B. die Studierenden als Aufgabe bekommen, die Frequenz eines Fadenpendels zu bestimmen und geben ihr Ergebnis unter Angabe der Länge des benutzten Fadens in das System ein. In der Vorlesung kann dann aus den gesammelten Ergebnissen der Zusammenhang zwischen Fadenlänge und Pendelfrequenz veranschaulicht und diskutiert werden.

Somit wird es durch dieses Projekt möglich, dass die Studierenden bereits außerhalb der Vorlesung die grundlegenden Experimente verschiedener Lehreinheiten vollkommen selbständig durchführen können und ihre Ergebnisse schließlich auch in der Vorlesung noch zum Erkenntnisgewinn verwendet werden, sodass das Konzept des Flipped Classrooms mit der deduktiven Natur der Experimentalphysik vereinbar wird.

2. Persönliche Motivation

Gerade das Entdecken und Ausprobieren im Rahmen kleiner Experimente sowie das Verstehen und Erklären alltäglicher Phänomene empfand ich stets als den stärksten Motivator, mich mit der Physik auseinander zu setzen. Um hierbei einen eigenen Antrieb zu entwickeln, ist vor allem entscheidend, dass man selbst handelt, sodass ich an mir selbst beobachten kann, dass ich die meiste Energie in Projekte stecke, die aus reiner Neugier und einem ersten einfachen Ausprobieren entstanden sind.

So habe ich bereits 2010 privat eine App entwickelt und veröffentlicht, die unter Verwendung des Lautsprechers und Mikrofons meines damals ersten Smartphones als Sonar arbeitet und so Entfernungen messen kann. Die App sendete kurze Signale über den Lautsprecher und analysierte

die über das Mikrofon aufgezeichneten Echos, um so Entfernungen reflektierender Oberflächen zu bestimmen. Diese App hatte keinen direkten Nutzen und ihre Entwicklung hatte kein konkretes Ziel, sondern war lediglich eine „Spielerei“. Erst später, als ich selbst in der universitären Lehre eingebunden war, entstand zusammen mit Prof. Christoph Stampfer die Idee, dass solche „Spielereien“ ein Teil der Lehre sein könnten, sodass die intrinsische Motivation der Neugier genutzt werden kann.

Die hieraus entstandene und von mir entwickelte *phyphox* App ist dabei nicht mein erstes Projekt, in welchem ich moderne Medien in die Lehre übertrage. Zuvor habe ich bereits auf sehr effizientem Weg *hive mind* (siehe hmind.org) entwickelt, ein Werkzeug welches es erlaubt online und in Echtzeit anonymes Feedback aller Studierenden im Hörsaal einzuholen. Der Dozent zeigt im Hörsaal eine Folie, über welcher eine kurze URL eingeblendet wird. Nun können alle Studierende diese URL in einem Webbrowser aufrufen (per Smartphone, Tablet oder Notebook, etc.) und sehen die gleiche Folie, die der Dozent zeigt. Sobald dieser die Folie zur Abstimmung freigibt, kann jeder Teilnehmer eine Stelle auf der Folie markieren.

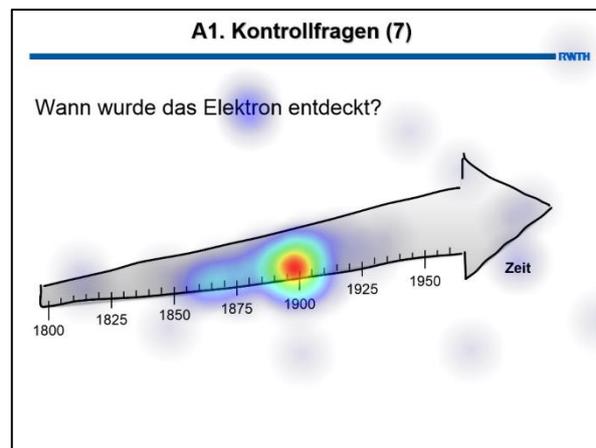


Abbildung 2: Beispielfolie in *hive mind*. Jeder Studierende hat auf seinem Smartphone, Tablet oder Notebook einen Punkt markiert. Alle markierten Punkte werden als Heatmap (rot/grün/blau) angezeigt.

Der Dozent kann schließlich alle markierten Stellen als Heatmap auf der gezeigten Folie anzeigen und so das Feedback des gesamten Hörsaals visualisieren. Das System funktioniert damit nahezu unabhängig vom Inhalt der Vorlesung und weckt bei den Studierenden großes Interesse, da sie hierdurch Teil der Vorlesung werden und interaktiv teilnehmen können. Diesen Effekt möchte ich auch in dem hier vorgestellten Projekt aufgreifen, indem die Ergebnisse der selbst durchgeführten Experimente im Hörsaal zusammengeführt werden können.

Der Einsatz von *hive mind* in den Experimentalphysikvorlesungen von Prof. Stampfer wurde in der Lehrevaluation von den Studierenden äußerst positiv aufgenommen und hat mich sehr in der Entscheidung bekräftigt, den Einsatz moderner Medien weiter voranzutreiben und schließlich die *phyphox* App zu entwickeln.

Diese steht nun kurz vor seiner Veröffentlichung und wird im Wintersemester 2016 seine ersten Einsätze in den Vorlesungen sehen. Hierbei ergibt sich für mich jedoch eine neue Hürde: *phyphox* ist ein hervorragendes und in seiner Art einzigartig flexibles Werkzeug, aber damit es nicht nur für Demonstrationsversuche, sondern auch in den Händen der Studierenden außerhalb der Vorlesung zum Einsatz kommen kann, müssen Inhalte und präzise vorbereitete Vorlagen generiert werden. Hierzu gehören nicht nur die Entwicklung der Experimente und der zugehörigen Lehrinhalte, sondern vor allem eine Plattform, auf welcher diese präsentiert und zugänglich gemacht werden können.

Um die hierfür notwendigen Ressourcen sowie die Freiräume neben meinen Aufgaben am 2. Physikalischen Institut der RWTH Aachen erhalten zu können, bewerbe ich mich auf ein Fellowship für Innovationen in der digitalen Hochschullehre. Dies würde zudem den Austausch mit anderen, für innovative Konzepte offenen Lehrenden mit sich bringen, welcher mir ermöglicht, mein Konzept auf

Lehrinhalte über die Physik hinaus zu übertragen und Ideen anderer Lehrender in dieses Projekt zu integrieren.

Letztendlich sollen die Module unabhängig voneinander einsetzbar sein, wobei nach meiner Einschätzung nahezu jedes technische oder naturwissenschaftliche Fach das Potential hat, seine Studierenden zumindest mit vereinzelt Experimenten in seinen Bann zu ziehen. Da die Module auf einer Webplattform präsentiert werden, sollten nahezu alle digitalen Inhalte hier integriert werden können. Dabei bin ich sehr gespannt, welche Formate von anderen Lehrenden genutzt werden und welche Bedürfnisse und Anforderungen anderer Bereiche dieses Projekt erfüllen kann.

Insbesondere denke ich, dass ich mit meinem Tiefenverständnis der Webprogrammierung und App-Entwicklung eine große Bereicherung für das Netzwerk sein kann und die Fähigkeiten mitbringe, innovative Konzepte in der digitalen Hochschullehre auch effizient und technisch „sauber“ umzusetzen. Auch hier erwarte ich, dass sich im Austausch mit anderen Lehrenden interessante Ideen finden, die ich mit meiner Erfahrung auf diesem Gebiet oder einer Proof-of-Concept-Implementierung auf einen guten Weg bringen kann.

3. Zielgruppe, Übertragbarkeit und Verstetigung

Die primäre Zielgruppe der Flipped Classroom Module sind die Studierenden in den Anfangssemestern in den Vorlesungen zur Experimentalphysik sowie allen anderen Physik Einführungsvorlesungen. Der Schwerpunkt dieser Pflichtveranstaltungen liegt an der RWTH Aachen auf der Mechanik, deren Experimente ideal durch die Sensoren im Smartphone abgedeckt werden. So messen gerade der Beschleunigungssensor und das Gyroskop direkt zentrale Größen, die in der Mechanik behandelt werden und nahezu alle vorlesungsrelevanten akustischen Experimente sind über das integrierte Mikrofon und den Lautsprecher umsetzbar.

Darüber hinaus sollen aber auch Module in weiteren Experimentalphysikvorlesungen zum Einsatz kommen, wobei auch das Magnetometer, der Luftdrucksensor oder die Lichtintensitätsmessung relevant werden können. Eher am Rande erwähnt sei hier auch die Bluetooth-Unterstützung unserer *phyphox* App, die es erlaubt, auch externe Datenquellen zu nutzen. Da dies aber offensichtlich für jeden Nutzer je nach Experiment einen erheblich höheren Aufwand und höhere Kosten in Form elektronischer Bausätze erfordert, ist dies eher für kleinere Vorlesungsveranstaltungen mit einem überschaubaren Nutzerkreis relevant.

Da vorgesehen ist, dass jedes Modul über einen recht einfachen Editor von auch weniger erfahrenen Nutzern angelegt werden kann und es bereits jetzt möglich ist, individuelle Experimente in *phyphox* zu erstellen, ergibt sich eine hohe Übertragbarkeit des Projekts auf andere technische oder naturwissenschaftliche Fächer. Dies betrifft nicht nur die sogenannte Nebenfachausbildung, die allein an der RWTH Aachen jedes Jahr mehrere tausend Bachelorstudierende ingenieurwissenschaftlicher, naturwissenschaftlicher und medizinischer Studiengänge in Form von Vorlesungen von Physik-Dozenten für Studierende dieser Studiengänge erfasst. Zusätzlich behandeln die meisten dieser Fächer auch Themen der Physik und dort insbesondere die Aspekte der Mechanik als wichtige Inhalte

eigenständiger Vorlesungen, sodass dank der modularen Natur des Projekts auch einzelne Experimente, die in eine jeweilige Vorlesung passen, verwendet werden können.

Darüber hinaus können viele weitere Ideen umgesetzt werden, die von den Funktionen des Projekts profitiert. Dies sind nicht nur komplexe Experimente, die verschiedenste Sensoren verwenden, sondern es können auch einfache Versuche ohne besondere Hilfsmittel sein, die lediglich davon profitieren, dass die Ergebnisse aller Studierenden zusammengetragen werden können. Im Bereich der Stochastik kann eine hohe Datenbasis einer Zufallsgröße gesammelt werden oder in der Klimatologie der *Urban Heat Island* Effekt gemeinschaftlich gemessen werden, indem zu einem bestimmten Zeitpunkt jeder Studierende die Außentemperatur misst und diese zusammen mit seiner Position in das System eingibt.

Diese Flexibilität des Systems und das Ziel, dass auch Nutzer ohne tiefere Kenntnisse diese Module bearbeiten können, sind dabei auch der Schlüssel zur Verstärkung des Projekts. Die entstandenen Module werden nicht einmalig für die Verwendung in einer spezialisierten Vorlesung generiert, sondern sind anpassbar, können über die Zeit weiterentwickelt werden und auch problemlos einzeln eingesetzt werden.

4. Implementierung

a. Technische Umsetzung

Die Grundlage des Projekts bildet das Modulsystem, welches ich in PHP mit einer MySQL-Datenbank als Backend implementieren werde. Dabei erlaubt jedes Modul, dass mehrere optionale Komponenten eingebunden werden, angefangen bei einfachen Texten, Formeln, Bildern und Überschriften bis hin zu aufwändigen und sehr spezialisierten Komponenten wie *phyphox*-Experimente, Videos oder der Funktion, von den Studierenden Ergebnisse zu sammeln.

Zudem wird ein Benutzersystem eingerichtet, das je nach eingesetztem Funktionsumfang optional ist. Einfache Module, die nur Informationen und ein Experiment bieten, können von jedem anonym genutzt werden. Wünscht ein Dozent jedoch die Ergebnisse der Studierenden zu sammeln, ist es offensichtlich notwendig, dass zumindest der Dozent einen persönlichen Zugang braucht, sodass eine individuelle Sitzung erstellt werden kann und die Beiträge der Studierenden des richtigen Kurses der richtigen Sitzung zugeordnet werden können. Die Studierenden brauchen hierzu jedoch nicht unbedingt einen persönlichen Zugang, sondern lediglich einen vom Dozenten mitzuteilenden Sitzungscode. Ist dieser vorhanden, wird den Studierenden eine Eingabemaske angeboten, in der ein oder mehrere Wertepaare eingegeben werden können, welche der Dozent wiederum als Grafik in der Vorlesung diskutieren kann.

Sowohl die Darstellung der Module als auch das Benutzersystem werden dabei so flexibel wie möglich gehalten, sodass diese nach Möglichkeit in existierende Webseiten (z.B. digitale Lernräume) eingebunden und auch das Benutzersystem leicht durch vorhandene Benutzersysteme der Universität ersetzt werden können, um vorhandene Strukturen nutzen zu können.

Nutzer, welche für diese Funktion freigeschaltet wurden, sollen dazu in der Lage sein, einfach neue Module anzulegen oder vorhandene zu ändern. Dazu wird ein Editor implementiert, in welchem die Komponenten eines Moduls visuell bearbeitet werden können.

b. Entwicklung der Inhalte

Um die Inhalte und Themen der einzelnen Module zu entwickeln, wird die Evaluation des Einsatzes von *phyphox* im Wintersemester 2016/2017 als Grundlage genutzt. Die App wird sowohl in der Vorlesung Experimentalphysik I für Studierende der Physik als auch in verschiedenen Physikveranstaltungen für Nebenfächer (Maschinenbau, Elektrotechnik) eingesetzt werden.

Insbesondere bei der von unserem Institut durchgeführten Vorlesung für den Studiengang Physik wird großer Wert auf eine fortlaufende Evaluation der neu eingesetzten Medien gelegt, wobei wir zudem von Professor Josef Riese aus dem Forschungsgebiet Didaktik der Physik und Technik durch eine umfassende Evaluation zur Lernwirkung der *phyphox* App unterstützt werden. So haben wir zum Ende des Semesters verlässliche Daten darüber, welche der eingesetzten Experimente von den Studierenden als interessant und lehrreich empfunden wurden und wie gut diese umgesetzt werden können.

Aufgrund dieser Daten werden Themenbereiche ausgewählt und diese zu einem Flipped Classroom Modul aufgearbeitet. Dabei werden auch Instruktionen, welche im Wintersemester 2016/2017 zunächst noch schriftlich oder durch Tutoren gegeben werden, in Form von Anleitung und Videomaterial vorbereitet, sodass die Versuche tatsächlich in Eigenarbeit möglich werden. Sowohl für das Einpflegen der Materialien in das System als auch zur Unterstützung und Entlastung beim Videodreh und der Bearbeitung des Videomaterials soll eine studentische Hilfskraft eingestellt werden.

c. Experimentiermaterialien und Gruppenexperimente

Während viele Experimente durch die Kombination des Smartphones mit alltäglichen Gegenständen möglich werden, gibt es dennoch Bedarf für zusätzliche Experimentiermaterialien, welche sich in zwei Kategorien gliedern lassen:

Auf der einen Seite werden Materialien benötigt, die an die Studierenden ausgegeben werden. Dies fördert die Motivation, die Experimente tatsächlich durchzuführen und reduziert Barrieren. Aufgrund der hohen notwendigen Stückzahlen beschränkt sich dies auf einfache Mittel, wie Fadenstücke, Papprollen oder per Lasercutter vorbereitete faltbare Halterungen aus Karton (vgl. Abb. 3). Dies führt zudem zu einer Vereinheitlichung, von welcher



Abbildung 3: Messung eines Federpendels mit *phyphox* (ferngesteuert von einem Notebook). Die hier gezeigte Plastikhalterung soll in einer faltbaren Ausführung aus Pappe ausgegeben werden.

beispielsweise ein Experiment zur schiefen Ebene sehr profitiert. Dadurch, dass alle Studierenden Papprollen mit gleichem Durchmesser erhalten, können sie mithilfe des Gyroskops ihrer Smartphones die Beschleunigung beim Herabrollen der schiefen Ebene ermitteln. Die Ergebnisse werden durch die Vereinheitlichung vergleichbar genug, dass anschließend der Einfluss der Parameter Steigung und Masse des Smartphones anhand der gesammelten Daten diskutiert werden kann.

Auf der anderen Seite können aufwändigere Experimente genutzt werden, um die zu Hause bereits durchgeführten Versuche nahtlos in die Demonstrationsversuche der Vorlesung übergehen zu lassen. Nachdem alle Studierende bereits selbständig das einfache Fadenpendel getestet haben, können beispielsweise in der Vorlesung einige Freiwillige ihr Pendel in eine Vorrichtung einsetzen, in welcher die zuvor unabhängigen Pendel gekoppelt werden können. So kann direkt der Übergang zur gekoppelten Schwingung erfolgen, während noch immer auf Daten gesetzt wird, die von den Studierenden generiert werden.

Hierzu sollen speziell für diesen Zweck optimierte Aufbauten entwickelt werden, welche jedoch von anderen Einrichtungen leicht reproduzierbar sein sollen. Dazu wird vor allem auf 3D-Druck gesetzt, dessen Kosten zwar zu hoch sind um alle Studierende mit entsprechenden Materialien auszustatten, mit dem jedoch Einzelstücke für solche Gruppenexperimente sehr günstig hergestellt werden können. Die Vorlagen für den Druck werden dann ebenso im Modul bereitgestellt, sodass die Dozenten den Aufbau günstig und effizient für ihre eigene Vorlesung rekonstruieren können, da ein gemeinschaftlich verfügbarer 3D-Drucker inzwischen an den meisten Universitäten zugänglich ist.

Um sowohl die Materialien für die Studierenden als auch die Aufbauten für die Gruppenexperimente zu entwickeln, soll eine weitere studentische Hilfskraft eingestellt werden, welche den Lasercutter und den 3D-Drucker des Fablabs der RWTH Aachen nutzen kann.

d. Einbindung anderer Einrichtungen der RWTH Aachen

Viele Aspekte dieses Projekts werden durch andere Einrichtungen der RWTH Aachen unterstützt. Die wichtigste Verknüpfung stellt hierbei die enge Zusammenarbeit mit der Fachdidaktik der Physik mit Professor Heidrun Heinke (1. Physikalisches Institut) dar. Bereits zur Entwicklung von *phyphox* wurden hier mehrere Bachelorarbeiten betreut, deren Ziel die Entwicklung weiterer Smartphone-basierter Experimente war, von denen mehrere Einzug in die fertige App erhalten haben. Darüber hinaus wurde gerade eine zeitnah zu besetzende Promotionsstelle eingerichtet, welche sich ebenso mit der Integration von *phyphox* in der Lehre beschäftigen soll. Hinzu kommt noch die bereits erwähnte Lernerfolgeevaluation durch die Arbeitsgruppe von Professor Josef Riese (1. Physikalisches Institut).

Aus technischer Sicht arbeite ich ebenso aufgrund der Entwicklung von *phyphox* bereits mit mehreren Einrichtungen der RWTH Aachen zusammen. Während die Webseiten von *phyphox* und *hive mind* vom IT Center der RWTH Aachen gehostet werden, wurde mir zur Entwicklung der iPhone-Version von *phyphox* durch Professor Bernhard Rumpe, Lehrstuhl Software Engineering in der Informatik, eine studentische Hilfskraft vermittelt, die große Teile der Programmierung übernommen hat. Ebenso ist für die Entwicklung und Herstellung der Experimentiermaterialien die Nutzung des Fablabs der RWTH Aachen vorgesehen, mit denen die grundsätzliche Machbarkeit bereits besprochen wurde.

Zur Unterstützung bei der Erstellung von Videos habe ich zudem bereits engen Kontakt zur RWTH Serviceeinheit „Medien für die Lehre“, die auch schon einen Teaser-Clip für *phyphox* erstellt hat.

5. Evaluierung

Da das Rückgrat der Flipped Classroom Module durch die außerhalb des Hörsaals durchführbaren Experimente mit *phyphox* gebildet wird, profitiert dieses Projekt bereits vor dessen Start von der fortlaufenden Verwendung und Evaluation von *phyphox* in den Vorlesungen Experimentalphysik I und II sowohl im Wintersemester 2016/2017 als auch parallel zu diesem Projekt im Sommersemester 2017. Dabei ist einerseits eine Gesamtevaluation durch Professor Josef Riese in Form einer großen Studierendenbefragung vor und nach der Vorlesungsreihe Experimentalphysik I vorgesehen, bei welcher die Wirksamkeit und der Lernerfolg beurteilt werden sollen. Andererseits sollen regelmäßige webbasierte Kurzbefragungen im zur Vorlesung zugehörigen e-Learning-Bereich stattfinden, in denen konkrete Einsatzfälle von *phyphox* sowie deren Rezeption evaluiert werden sollen.

Hierdurch fließen fortlaufend die Erkenntnisse und Erfolge der erprobten *phyphox* Experimente in die Auswahl und Entwicklung der Flipped Classroom Module ein, während viele Probleme und Fehler von Anfang an vermieden werden können. Insbesondere Stolpersteine für die Studierenden, bei welchen *phyphox* alleine keine Hilfestellung bieten kann, können in der Evaluierung von *phyphox* erkannt und damit in den Modulen aufgegriffen und vermieden werden.

Wenn im Wintersemester 2017/2018 schließlich die Module selbst zum Einsatz kommen, in welche die *phyphox*-Experimente eingebunden sind, sollen vergleichbare Evaluationen stattfinden, sodass der Nutzen der Flipped Classroom Module gegenüber einem moderierten oder durch Kurzanleitungen vermittelten Einsatz von *phyphox* alleine verglichen werden kann.