

Lehren und Lernen mit dem Smarten Physiklabor**Andreas Kaps*, Peter Rieger* und Frank Stallmach****Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Bereich Didaktik der Physik
andreas.kaps@uni-leipzig.de**Kurzfassung**

In diesem Beitrag wird ein neues Aufgabendesign vorgestellt, welches die klassischen Übungsaufgaben in der Einführungsvorlesung 'Experimentalphysik 1 - Mechanik' ergänzt. Zusätzlich zu den wöchentlich ausgegebenen Übungsaufgaben müssen die Studierenden experimentelle Problemstellungen lösen. Durch dieses neue Aufgabenformat erhoffen wir uns eine deutliche Verbesserung des konzeptuellen Verständnisses und der physikalischen Problemlösekompetenz der Lernenden. In den Experimentieraufgaben dient das Smartphone zeitgleich als Experimentiermedium und Messgerät. Wir präsentieren die Integration solcher smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben in den regulären Vorlesungsbetrieb. Des Weiteren wird ein exemplarisches Beispiel einer solchen Aufgabe vorgestellt. Den Abschluss bildet das Feedback unserer Studierenden sowie erste empirische Ergebnisse dieses Lehr-Lern-Projekts.

1. Einleitung

In Universitäten stellen Vorlesungen das zentrale Element in der Physikausbildung der Studierenden dar [1,2]. Das Lehr-Lern-Szenario einer traditionellen Vorlesung macht es den Lehrenden nicht möglich auf die individuellen Probleme und Schwierigkeiten der Studierenden einzugehen. Die Studierenden sind in der Rolle des passiven Rezipienten und haben in der Vorlesung keine Zeit über die neu vermittelten Konzepte und Theorien nachzudenken und diese zu reflektieren. Gerade in den Physik-Erstsemesterveranstaltungen ist das eine große Hürde. Der Übergang von der Sekundarstufe II an die Universität ist ein komplizierter und anspruchsvoller Schritt für die Lernenden, da der Anteil von theoretischen Konzepten und Modellen den größten Teil des Curriculums an der Universität darstellt [3]. Das hat zur Folge, dass ein aktiver Lernprozess nicht aktiviert werden kann, die Motivation sowie das Interesse der Studierenden leidet und somit erhoffte Lernerfolge oftmals ausbleiben und die Studienabbruchquote insbesondere in den ersten Semestern, sehr hoch ist [3,4].

Aus diesen Gründen ist der klassische Vorlesungsstil in den Physikeinführungsveranstaltungen in den letzten Jahren deutlich in die Kritik geraten und es wurden neue studierendenfokussierende Lehr-Lernmethoden entwickelt. Die Lernenden werden aktiv in den Fokus des Lernprozesses gestellt. Ihnen wird die Möglichkeit eröffnet, selbst aktiv an der eigenen Wissenskonstruktion mitzuwirken. In internationalen Studien haben die neuen Lehr-Lern-Konzepte, wie beispielsweise Flipped Classroom, Peer Instruction oder Interactive Engagement, gegenüber den klassischen Vorlesungen positive Effekte bezüglich der Lernwirksamkeit gezeigt. Problematisch bei diesen Konzepten ist zum einen der hohe personelle Aufwand und die oftmals fehlenden didaktischen

Umsetzungsmöglichkeiten in der physikalischen Hochschullehre in Deutschland [4-7].

In fast allen Universitäten im deutschsprachigen Raum sind die Lehrveranstaltungen im Fach Physik zweigeteilt. Zum einen existiert die Vorlesung, in der die Konzepte und Modelle präsentiert werden. Den zweiten Teil der Lehrveranstaltungen bilden die Übungen. In den Übungsveranstaltungen werden die Übungsaufgaben besprochen, die den Studierenden jede Woche gestellt werden, um das Wissen aus der Vorlesung anzuwenden. Die Übungsaufgaben thematisieren physikalische Problemstellungen, die mit den besprochenen Inhalten aus der Vorlesung gelöst werden sollen. Die Übungen stellen somit einen integralen Bestandteil für den aktiven Wissenserwerb und die Ausbildung des physikalischen Verständnisses dar. Mit unserem Ansatz im Lehrprojekt ‚Smartes Physiklabor‘ binden wir die Studierenden aktiv in der eigenen Wissenskonstruktion auf eine neue Art und Weise ein. Kern ist dabei das experimentbasierte eigene Handeln im Rahmen von Hausaufgaben, welches durch ein Tutorium von uns begleitet wird [7, 8].

Mit der Umsetzung der Projektidee 'Smartes Physiklabor' werden im Mechanik-Modul die bisher üblichen physikalisch/mathematischen Rechenaufgaben durch entsprechende komplexere, experimentelle Problemstellungen teilweise ersetzt. Dafür wurden traditionelle Aufgaben aus dem Bereich der Mechanik in neue smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben umgewandelt. Diese Aufgaben werden in Kleingruppen von zwei Studierenden mit ihrem eigenen Smartphone als Messgerät und als Experimentiermedium bearbeitet. Ziel dieser Veränderung ist, dass in den Übungsveranstaltungen und den Übungsaufgaben die Inhalte der Experimentalphysikvorlesung nicht nur theoretisch und mathematisch angewendet, sondern von den Studierenden selbst

experimentell überprüft werden. Damit sollen eine intensivere Ausbildung und Weiterentwicklung der experimentellen und analytischen Kompetenzen, sowie eine Verbesserung des Verständnisses der grundlegenden physikalischen Inhalte erreicht werden. Die Studierenden erlangen eine erhöhte Flexibilität im Problemlöseprozess und sind somit in der Lage neuartige Problemstellungen besser und effizienter zu bearbeiten. Mit der Umsetzung des Lehrprojekts und dem Einsatz neuer, digitaler Medien erhoffen wir uns einen positiven Effekt auf die Lernleistung der Studierenden [7, 9-11].

2. Das Smarte Physiklabor

2.1. Vorstellung des Lehr-Projekts

Die physikalisch-technische Grundlage für das Durchführen von eigenständigen Experimentierhausaufgaben durch die Studierenden mit dem Smarten Physiklabor sind die in den Smartphones verbauten internen Sensoren, wie beispielsweise der Beschleunigungssensor, das Gyroskop und der Magnetfeldsensor. Die interne Sensortechnik nimmt die Messdaten auf und kann über verschiedene Wege ausgelesen werden. Somit ist es möglich, sowohl quantitative, halb-quantitative und qualitative Versuchsdurchführungen für den Physikunterricht an den Schulen als auch in der Hochschullehre zu entwickeln [12,13].

In den Mechanik-Kursen an Hochschulen werden die traditionellen Inhalte wie die Kinematik und Dynamik des Massenpunktes, die Dynamik des starren Körpers, die mechanischen Schwingungen und Wellen und die Mechanik der deformierbaren Körper behandelt. Mit Hilfe der oben genannten Sensortechnik können damit Bewegungsvorgänge aus den Themenbereichen erfasst und ausgewertet werden. Dabei dient das Smartphone den Studierenden als Messinstrument zum eigenständigen Experimentieren. Durch die Auswertung der Experimente und die Messwerterfassung mit dem eigenen Smartphone werden kognitive Belastungen, die nicht effektiv zum Lernerfolg beitragen, reduziert. Das hat zur Folge, dass die Studierenden mehr kognitive Ressourcen für die Bearbeitung der aufgabenrelevanten Merkmale zur Verfügung stehen sollten [10-14].

Während der Bearbeitung der Experimentierhausaufgaben mit dem smarten Physiklabor entwickeln die Studierenden ihre eigenen experimentellen Setups und analysieren die selbst gemessenen Daten. In diesem Prozess ist es notwendig, dass die Lernenden über ihre experimentellen Annahmen und ihr weiteres Vorgehen permanent reflektieren. Dies fördert die Ausbildung der experimentellen Fähigkeiten und des Problemlöseprozesses in der Mechanik schon während des ersten Semesters und nicht erst in den oftmals am Semesterende oder später im Studium stattfindenden Laborpraktika. Somit ermöglichen die entwickelten Experimentierhausaufgaben eine zeitnahe Verknüpfung und eine Anwendung der Modelle und Theorien aus der Vorlesung. Der kollaborative Lernprozess wird insbesondere im begleitenden Tutorium

und in der vorgesehenen Arbeit in Experimentiergruppen gefördert. Zusätzlich wird die Ausbildung essenzieller praktischer Fähigkeiten der fachlichen Kommunikation und der Teamfähigkeit für weitere Module in der Experimentalphysik gestärkt [15].

2.2. Integration in das Modul

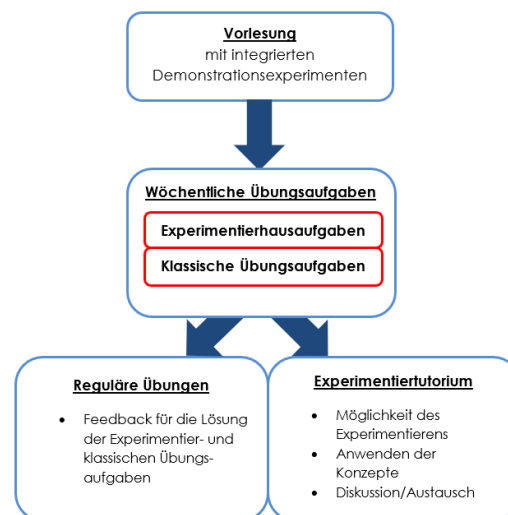


Abb. 1: Integration des smarten Physiklabors in das Mechanik-Modul der Fachausbildung des ersten Semesters zukünftiger Physik-Lehrer.

Der Mechanik Kurs 'Experimentalphysik 1 - Mechanik und ihre mathematischen Methoden' für das Lehramt an Oberschulen und Gymnasien an unserer Universität beinhaltet zwei Vorlesungen (2 x 90 Minuten) und eine Übung (1 x 90 Minuten) in der Woche. 14-tägig findet eine Vorlesung mit seminaristischem Anteil für die mathematischen Methoden statt. Den Abschluss des Moduls bildet ein einwöchiges Laborpraktikum am Ende des Semesters. Die Studierenden müssen jede Woche Übungsaufgaben bearbeiten und zur Korrektur abgeben. Von diesen Aufgaben müssen insgesamt 50% richtig gelöst werden, damit die Studierenden die Zulassung zur Modulabschlussklausur erhalten. Die traditionellen Übungsaufgaben wurden im Zweiwochenrhythmus mit den Experimentierhausaufgaben ergänzt (siehe Abb. 1). Die Studierenden protokollieren ihre Ergebnisse und reichen ihr elektronisches Protokoll (PDF) über die Lernplattform 'MOODLE' der Universität Leipzig zum vorgegebenen Termin für die Bewertung ein. Die Lernenden bekamen für die Protokolle, aus Gründen der Vergleichbarkeit, eine einheitliche Gliederung vorgegeben. Die elektronischen Protokolle beinhalteten den experimentellen Aufbau, die theoretischen Hintergründe mit den wichtigsten Gleichungen, die Durchführung des Experiments, die Datenanalyse, die Auswertung des Experiments und eine kritische Reflexion, samt Messunsicherheitsanalyse der experimentell generierten Daten.

Die Aufgabenstellungen für die Hausaufgaben mit dem Smarten Physiklabors wurden mit den Inhalten der Vorlesung abgestimmt. Zusätzlich wurde großer

Wert daraufgelegt, in der Vorlesung ähnliche Demonstrationsexperimente vorzuzeigen, um den Studierenden einen Einblick in die Problemstellung zu bieten.

Nachdem die Experimentierhausaufgabe gestellt wurde, konnten die Studierenden ein freiwilliges Experimentiertutorium besuchen. In diesem Tutorium wurden in der ersten Woche nach der Aufgabenstellung wesentliche Inhalte der Hausaufgaben erarbeitet und diskutiert. In der zweiten Woche, wenige Tage bevor das Protokoll abgegeben werden musste, hatten die Studierenden die Gelegenheit die Ergebnisse ihrer Experimente mit dem Smarten Physiklabor ihren Kommilitonen und den Tutoren zu präsentieren und mit ihnen im Stil einer kollegialen Fehler- und Kooperationskultur zu diskutieren. Durch diese Kommunikation bekamen die Studierenden zusätzlichen Input und hatten die Möglichkeit ihre Experimente und Protokolle, wenn nötig zu verbessern.

In den wöchentlich stattfindenden Übungen wurden die Problemstellungen der Experimentierhausaufgaben ebenfalls thematisch kurz aufgegriffen und die Lösungen, nach erfolgter Bewertung, verglichen und ausgewertet [9,16].

Um sicher zu stellen, dass alle Studierenden die notwendigen Materialien besitzen, wurden ihnen Experimentiertüten zur Verfügung gestellt. In diesen Experimentiertüten befanden sich Klettverschlüsse, Gummiringe und Büroklammern in verschiedenen Größen, verschließbare Gefrierbeutel, ein dünner Draht, eine Spiralfeder und eine weiche Unterlage. Sollte ein geeignetes Smartphone bei den Studierenden nicht verfügbar sein, so bestand jederzeit die Möglichkeit Leihgeräte bei den Lehrenden zu erhalten.

2.3. Technische Umsetzung

Als technische Grundlage für die Entwicklung der Experimentierhausaufgaben wurde die kostenlose und werbefreie App *phyphox* gewählt, welche von der RWTH Aachen entwickelt und bereitgestellt wird. Diese App ermöglicht es, die im Smartphone verbauten Sensoren anzusteuern und die Daten schnell und unkompliziert auszulesen. Die App ist sowohl auf Android als auch auf iOS Smartphones gleichermaßen verfügbar. Mit der Funktion Fernzugriff der *phyphox*-App, welche ein Starten und Stoppen der Messung von einem anderen Gerät ermöglicht, ist eine Steuerung der Messwertaufnahme, ohne das Experiment zu stören, realisierbar. Zusätzlich ist das Auslesen der Daten und der Export in weiterführende Software zur wissenschaftlichen Datenanalyse unkompliziert und schnell durchführbar [16-18].

2.4. Vorstellung der Aufgaben

Für das ‚Smarte Physiklabor‘ wurden schon bestehende experimentelle Aufgabenstellungen mit dem Smartphone für die Nutzung in unserer Lehrveranstaltung angepasst. Zusätzlich wurden traditionelle

Problemstellungen aus der Mechanik aufgegriffen und in neue Experimentierhausaufgaben mit dem Smartphone umgewandelt. Thematisch wurde sich an der Studien- und Prüfungsordnung und der Modulbeschreibung für den Staatsexamens Lehramtsstudiengang Physik an Oberschulen und Gymnasien orientiert. Eine Zusammenfassung der Lernziele der Experimentierhausaufgaben und der wesentlichen Inhalte sind in Tabelle 1 im Anhang 1 zu finden.

Die Vorlesung startet, wie in den meisten Einführungskursen der Mechanik üblich, mit der Mechanik des Massenpunktes. Um die Konzepte und Theorien dieser grundlegenden Stoffeinheit den Studierenden auch experimentell näher zu bringen, wurden für diesen Abschnitt zwei Experimentierhausaufgaben entwickelt. In der ersten Aufgabe analysieren die Studierenden die beschleunigte Bewegung während einer Fahrstuhlfahrt. Mithilfe der *phyphox*-App sowie dem Barometer und dem Beschleunigungssensors des Smartphones können die Studierenden das Weg-Zeit sowie das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm der Fahrstuhlfahrt ermitteln. Ausgehend von dem Weg-Zeit-Diagramm sind zwei Abschnitte der Bewegung zu analysieren und auszuwerten [16,17,19].

In der zweiten Aufgabe untersuchen die Studierenden eine selbstgewählte Bewegung im Freien anhand der GPS-Daten. Sie erstellen daraus eine zweidimensionale Bahnkurve ihrer Bewegung und ermitteln über den Satz des Pythagoras und einer rekursiven Summation ihr eigenes Weg-Zeit-Diagramm während der Bewegung. Über die grafische Ableitung des Graphen entsteht daraus das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm. Diese beiden Diagramme müssen von den Studierenden erstellt, interpretiert und ausgewertet werden [20].

In der dritten Aufgabe (Reibung zwischen festen Körpern) ermitteln die Studierenden den Haftreibungskoeffizient zweier beliebiger Materialien. Die Studierenden messen dafür mit dem Beschleunigungssensor die Beschleunigung, die auf das Smartphone während der Bewegung entlang der geneigten Ebene wirkt und berechnen aus den Daten den Haftreibungskoeffizienten zwischen der Ebene und dem gewählten Material [21,22].

Für den Vorlesungsabschnitt Dynamik des starren Körpers wurde die Experimentierhausaufgabe ‚Kippendes Smartphone‘ entwickelt. Die Studierenden ermitteln hier über die Winkelgeschwindigkeit $\omega(t)$, des Kippens ihres Smartphones um eine seiner Kanten, das relevante Trägheitsmoment. Diese Aufgabe ist im folgenden Abschnitt ausführlich beschrieben und die Lösung ist beispielhaft skizziert [23-25].

Das letzte Themenfeld in der Mechanik bilden die mechanischen Schwingungen und Wellen. Dafür wurden ebenfalls zwei Experimentierhausaufgaben konzipiert. Die erste der beiden Aufgaben bildet inhaltlich eine Verbindung zur Dynamik des starren Körpers und Mechanik der Kontinua. Die Studierenden konstruieren mit ihrem Smartphone ein

Drehpendel und ermitteln mit Hilfe des bekannten Trägheitsmomentes des Smartphones das Torsionsmodul des Drahtes. In dieser Aufgabe arbeiten die Studierenden mit grundlegenden Konzepten aus der Dynamik des starren Körpers, der Mechanik der deformierbaren Körper und der Schwingungsgleichung. Als letzte Aufgabe in diesem Kurs bestimmen die Studierenden mit einem Federpendel eine unbekannte Masse. Um diese Aufgabe erfolgreich zu absolvieren müssen sich die Lernenden mit dem Hookeschen Gesetz und der Lösung der zugehörigen Schwingungsgleichung auseinandersetzen [26].

2.5. Beispielaufgabe zum Trägheitsmoment des Smartphones

Im folgenden Abschnitt wird die Aufgabe ‚Kippendes Smartphone‘ aus unserem Lehrprojekt zum Smarten Physiklabor beispielhaft vorgestellt. In dieser Aufgabe werden die Konzepte des starren Körpers, der Rotationsbewegungen und der Energieerhaltung von den Studierenden in komplexer Weise verknüpft und angewendet [24].

2.5.1. Aufgabenstellung

Die exakte Aufgabenstellung lautet folgendermaßen: Zeichnen Sie mit Hilfe des Drehratensensors Ihres Smartphones (z.B. mit der *phyphox*-App - Rohdaten des Gyroskops) die Kippbewegung Ihres Smartphones auf. Berechnen Sie aus Ihren Messdaten das Massenträgheitsmoment J_i um die von Ihnen gewählte Kippkante. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit Berechnungen von J_i aus der Geometrie und der Masse Ihres Smartphones.

2.5.2. Beschreibung der Aufgabe und Lösungsskizze

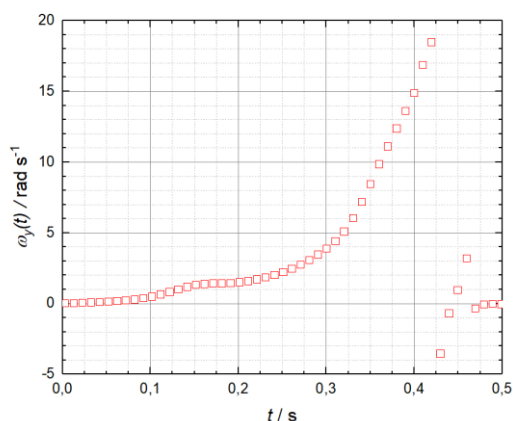


Abb. 2: Winkelgeschwindigkeit $\omega_y(t)$ des Smartphones während des Kippvorgangs.

Das Smartphone steht zu Beginn aufrecht auf einer rutschfesten, weichen Auflage und beginnt zu kippen. In Abb. 2 ist die Winkelgeschwindigkeit $\omega_y(t)$ während des Kippvorgangs abgebildet. Das Smartphone beginnt zum Zeitpunkt $t \approx 0,1$ s um die Kante, die

auf der Auflage steht, frei zu kippen. Wenn der Kippvorgang beendet ist, trifft das Smartphone auf die Unterlage auf. Die Winkelgeschwindigkeit nimmt kurz zuvor ihren maximalen Wert $\omega_{y,max}(t)$ an. Während des Kippvorgangs wird die potenzielle Energie des Smartphones, bezogen auf dessen Schwerpunkt, in Rotationsenergie umgewandelt. Da die Drehachse des Kippvorgangs nicht durch den Schwerpunkt verläuft, sondern eine Kante des Smartphones ist, wird der Satz von Steiner benötigt. Der Abstand der Drehachse zum Schwerpunkt wird mit d bezeichnet und aus den Abmessungen des Smartphones und dem Satz des Pythagoras berechnet. Mit dem Energieerhaltungssatz und dem Steiner'schen Satz erhalten wir folgende Gleichung, um das Trägheitsmoment des Smartphones aus den experimentell gewonnenen Daten zu erhalten.

$$J_y = \frac{m \cdot g \cdot (2 \cdot d - c)}{\omega_{y,max}(t)^2} - m \cdot d^2 \quad (1)$$

In dieser Gleichung steht m für die Masse und c für die Tiefe des Smartphones. Einen Referenzwert für das Trägheitsmoment des Smartphones erhalten die Studierenden aus den Abmessungen und der Annahme einer homogenen Massenverteilung, sodass das Smartphone mit einem Quader approximiert werden kann. Der vorgestellte Versuch liefert quantitativ gute Ergebnisse und bietet den Studierenden die Möglichkeit mit ihrem eigenen Smartphone selbst Winkelgeschwindigkeiten zu messen und somit Trägheitsmomente zu bestimmen.

3. Evaluation des Lehrprojekts

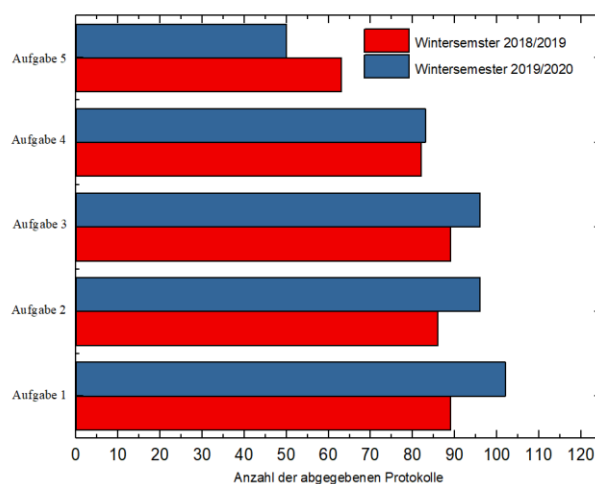


Abb. 3: Statistik der abgegebenen Protokolle zum Smarten Physiklabors in den ersten beiden Projektdurchläufen.

Die Experimentierhausaufgaben des Smarten Physiklabors waren Bestandteil der beiden Mechanik-Kurse in den Wintersemestern 2018/2019 und 2019/2020. In Abb. 3 sind die Anzahlen der abgegebenen Protokolle der beiden Projektdurchläufe dargestellt. Es

zeigt sich, dass das Smarte Physiklabor von den Studierenden sehr gut angenommen worden ist. Bei den ersten vier gestellten Aufgaben beteiligten sich im Durchschnitt mehr als 90% der Studierenden. Die fünfte und letzte Experimentierhausaufgabe hatte eine deutlich geringere Beteiligung. Eine mögliche Erklärung für diesen Einbruch könnte sein, dass die Studierenden zu diesem Zeitpunkt des Semesters schon ihre nötigen Mindestpunktzahlen für die Prüfungszulassung erreicht hatten. Zusätzlich mussten die Studierenden sich zu diesem Zeitpunkt schon für die anstehenden Prüfungen in diesem Modul und den anderen Fächern vorbereiten.

Am Ende des Semesters wurde eine Umfrage unter den Studierenden durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die überwiegende Anzahl der Studierenden, das neue Aufgabenformat, als eine sehr gute Bereicherung für das Lernen empfunden haben. Fast alle Studierenden aus den beiden Projektdurchläufen waren der Meinung, dass die Experimentierhausaufgaben eine gute Ergänzung zu den traditionellen Übungsaufgaben bieten. Durch die praktische Arbeit wurden das Interesse und die Motivation der Studierenden für die Experimentalphysik gestärkt und gefördert. Erfreulich war auch, dass 81% der Studierenden der Meinung sind, dass die Zeit für die Bearbeitung der Aufgaben ausreichend gewesen ist. Obgleich bei den Studierenden ein Interesseszuwachs und eine Motivationsförderung resultierte, waren Sie der Meinung, dass durch die Bearbeitung der experimentellen Problemstellungen kein höherer Erkenntnisgewinn, verglichen mit den traditionellen Übungsaufgaben, resultiert. Diese Aussage kann durch den Leistungsvergleich der Studierenden in beiden Aufgaben in den Abb. 4 und Abb. 5 bestätigt werden. Ebenso viele Studierende waren der Meinung, dass der Schwierigkeitsgrad der Experimentierhausaufgaben angemessen war und die Anforderungen zur Bearbeitung einem guten Niveau entsprechen.

Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass alle Studierenden äußerten, dass die nötigen Experimentiermaterialien zur Verfügung standen. Auch das eigens für das Smarte Physiklabor ins Leben gerufene Tutorium wurde von den Studierenden gut angenommen. 75% waren der Meinung, dass das Tutorium ihnen für die Bearbeitung der Aufgaben geholfen hat. Ein Kritikpunkt war allerdings, dass das Tutorium nur an einem Termin angeboten wurde. Somit hatten nicht alle Studierenden daran teilzunehmen.

Um Rückschluss auf eine mögliche Lernwirksamkeit zu bekommen, wird im Folgenden die Leistung der Studierenden aus dem Wintersemester 2019/2020, in den Experimentierhausaufgaben mit der Leistung in den traditionellen Übungsaufgaben verglichen und ausgewertet (siehe Abb. 4 und Abb. 5). Es zeigte sich dabei, dass die Leistung der Studierenden in den Experimentierhausaufgaben um durchschnittlich 10%

geringer ist als die Leistung in den traditionellen Übungsaufgaben.

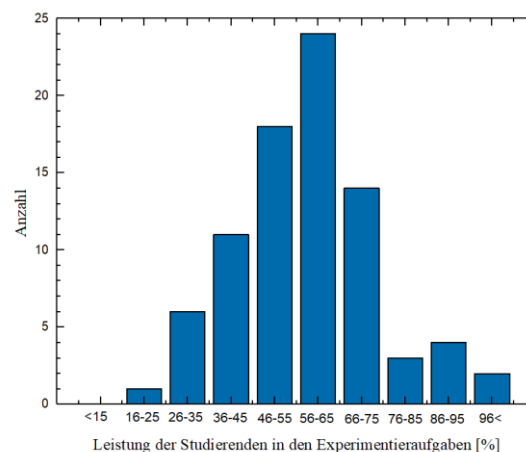


Abb. 4: Die Leistung der Studierenden in den Experimentierhausaufgaben im Wintersemester 2019/2020.

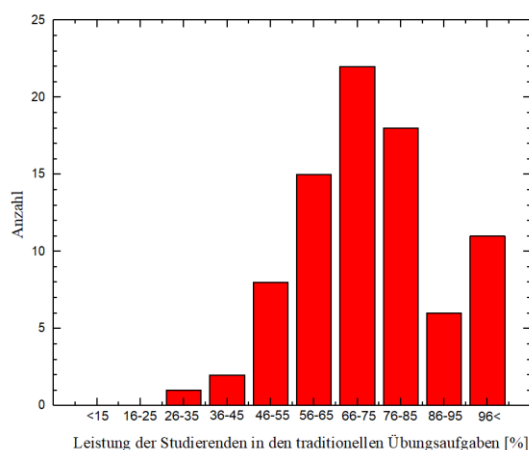


Abb. 5: Die Leistung der Studierenden in den klassischen Übungsaufgaben im Wintersemester 2019/2020.

Tendenziell ist ersichtlich, dass die Leistung der Studierenden in den traditionellen Übungsaufgaben besser ausfällt als in den Experimentierhausaufgaben. Mögliche Gründe dafür könnten darin liegen, dass die Experimentierhausaufgaben deutlich mehr konzeptionelles Wissen für die Bearbeitung benötigen. Betrachten wir im Detail die Aufgabe ‚Das kippende Smartphone‘ (Abschnitt so 2.5.1) so ist ersichtlich, dass die Studierenden für die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgaben zum einen das prozedurale Wissen, also die Kenntnis über Sätze und Konzepte benötigen. Andererseits erfordert die Aufgabe zusätzlich das deklarative Wissen. Die Konzepte aus der Dynamik des starren Körpers, der Energieerhaltung und der Kinematik werden vernetzt und zusammen angewendet. Des Weiteren spielt experimentelle Handlungsfähigkeit zur erfolgreichen Problemlösung eine große Rolle.

Auch nach den beiden ersten Projektdurchläufen gehen wir weiter davon aus, dass unser Ansatz zusätzlicher experimenteller Hausaufgaben zu den traditionellen Übungsaufgaben und die kollaborative Bearbeitung durch die Studierenden eine lernförderliche Wirkung besitzt. Es ist allerdings auch möglich, dass durch die permanente Einbindung der Experimentierhausaufgaben die Interventionsdauer zu lange ist und diese sich somit negativ auf die Lernwirksamkeit auswirkt [11].

4. Zusammenfassung und Ausblick

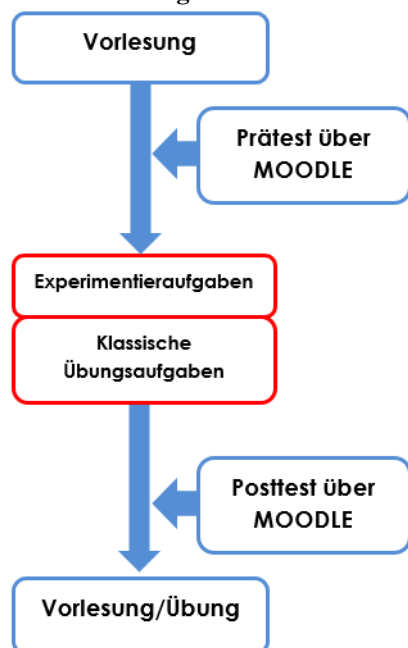


Abb. 6: Modifiziertes Forschungsdesign für das Smarte Physiklabors im Wintersemester 2020/2021.

In einer Weiterführung des Lehrprojekts soll überprüft werden, ob die vorgestellten Experimentierhausaufgaben einen Lernzuwachs bei den Studierenden erzeugen. Zur Untersuchung der tatsächlichen Wirksamkeit des Lehrkonzeptes ist es einerseits nötig die Kenntnisse der Studierenden vor der Intervention und danach zu messen. Andererseits ist es nötig die Studierenden in zwei Kohorten einzuordnen und diese Kohorten dann miteinander zu vergleichen. Diese Einteilung ist in unserem Modul weder thematisch/inhaltlich durchführbar noch sind die personellen und rechtlichen Rahmenbedingungen dafür gegeben. Um die Lernwirksamkeit quantitativ abzubilden, wurde in den letzten beiden Projektdurchführungen die Leistungen der Studierenden in den experimentierhausaufgaben mit der Leistung in der Modulabschlussklausur korreliert. Dabei konnten allerdings keine statistisch signifikanten Aussagen generiert werden, da zu viele systematische Ungenauigkeiten in diesem Prozess die Interpretation der Ergebnisse unmöglich macht. Um statistisch belastbare Aussagen zu gewinnen, wird das Vorgehen im nächsten Wintersemester wie folgt modifiziert (siehe Abb. 6).

Bevor die Vorlesung zu einem Themenbereich startet, werden über die Lernplattform MOODLE Fragen in Form eines Prätests gestellt. Diese Fragen werden aus den bekannten Tests für das konzeptuelle Wissen in Physik entnommen (Force Concept Inventory und Rotationale and Rolling Motion Concept Survey [27,28]) und selbst entwickelte Aufgaben verwendet. Allerdings liefern die beiden Tests nicht zu allen Themenbereichen der Aufgaben Fragen, was uns zum Nutzen selbst entwickelter, ungetesteter Konzeptfragen zwingt. Die traditionellen Übungsaufgaben und die Experimentierhausaufgaben werden in entsprechende Wissensbereiche eingeordnet. Zusätzlich werden die Experimentierhausaufgaben mit kurzen inhaltlichen Fragen ergänzt. Nach Beendigung eines Themenkomplexes in der Vorlesung werden wieder über die Lernplattform MOODLE abschließende Fragen im Rahmen eines Posttests gestellt. Die Aufgaben der Modulabschlussklausur werden ebenfalls aus den entsprechenden Themengebieten gewählt und stellen eine Mischung der Experimentierhausaufgaben und den klassischen Übungsaufgaben dar. Mit dieser Herangehensweise erhoffen wir vergleichbare und valide Aussagen über den Lernzuwachs bei den Studierenden gewinnen zu können.

Der vorgestellte Beitrag liefert einen neuen Ansatz, wie smartphonebasierte Experimente in der Hochschullehre sinnvoll implementiert werden können. In den ersten beiden Kohorten der Projektdurchführung zeigte sich, dass die Studierenden diese aktivierende und neue Lernmethode gut angenommen haben und ihr Interesse und die Motivation dadurch gesteigert wurden. Um den Lernzuwachs messen zu können wird das Forschungsdesign wie beschreiben modifiziert und auf erprobte und bekannte Testverfahren zurückgegriffen. Mit diesem Schritt erhoffen wir systematische Unsicherheiten minimieren und valide Ergebnisse liefern zu können.

5. Literatur

- [1] S. Freeman SL, Eddy M, McDonough MK, Smith N, Okoroafor Jordt H, Jordt, MP, Wenderoth (2014): Active learning increases student performance in science engineering and mathematics, in: Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America S. 8410-8415
- [2] A.L. Rudolph, B. Lamine, M. Joyce, H. Vignolles, H and D. Consiglio (2014): Introduction of interactive learning into French university physics classrooms, Physical Review special Topics-Physics ;Education
- [3] S. Gröber, P. Klein and J. Kuhn (2014): Video-based problems in introductory mechanics physics courses, in: European Journal of Physics, 35(5)
- [4] C. Crouch and E. Mazur (2001): Peer Instruction: Ten years of experience and results, in: American Journal of Physics, 69(9), S. 970-977
- [5] E. Redish (1994): Implications of cognitive

studies for teaching physics, in: American Journal of Physics, 62,

[6] D. Meltzer and R. Thronton (2012): Active-Learning Instruction in Physics, In: American Journal of Physics, 80(6), S. 478-496

[7] P. Klein, S. Gröber, J. Kuhn, H. Fouckhardt, G. von Freymann, E. Oesterschulze, A. Widera, A. Fleischhauer und A. Müller (2015): Teaching Experimental Physics by Using Mobile Technologies as experimental tools, In: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, S. 1-11

[8] N. D. Finkelstein und S. J. Pollock (2005): Replicating and understanding successful innovations: Implementing tutorials in introductory physics, In: Phys. Rev. ST Phys. Educ. Research, 1(1)

[9] P. Klein, J. Kuhn und A. Müller (2018): Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik, In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 24, S. 17-34

[10] J. Kuhn und P. Vogt (2015) : Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics, in: W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Eds.), Multidisciplinary Research on Teaching and Learning, Palgrave Macmillan, Basingstoke UK, S. 253-269

[11] S. Becker, P. Klein, A. Gößling und J. Kuhn (2019): Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-gestützte Videoanalyse, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25, S. 1-24

[12] S. Hütz, S. Kuhlen, C. Stampfer und H. Heinke (2017): Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz, in: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, S. 1, Verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/795> (Stand 04.2020)

[13] J. Briggles (2013): Analysis of pendulum period with an iPod touch/iPhone, In: Physics Education, 48, S. 285-288

[14] K. Hochberg, J. Kuhn und A. Müller (2015): Using Smartphones as Experimental Tools - Effects on Interest, Curiosity and Learning in Physics Education, In: Journal of Science an Education and Technology, 27, S. 385-403

[15] N. Holmes und E. Smith (2019): Operationalizing the AAPT Learning Goals for the Lab, In: The Physics teacher, 57(5), S. 296-299

[16] S. Staacks, S. Hütz, H. Heinke und C. Stampfer (2018): Advanced tools for smartphonebased experiments: *phyphox*, In: Physics Education, 53(4)

[17] Die *Phyphox* Homepage der RWTH Aachen, verfügbar unter: <https://phyphox.org/de/home-de/> (Stand: 04.2020)

[18] S. Hütz, S. Kuhlen, C. Stampfer und H. Heinke

(2019) : Kleiner Aufwand, großer Nutzen? - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones, in: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, verfügbar unter: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/947> (Stand: 04.2020)

[19] J. Kuhn, P. Vogt und A. Müller (2014): Analyzing elevator oscillation with the smartphone acceleration sensors, In: The Physics Teacher, 52, S. 55-56

[20] Bolliger, D.U, McCoy, D, Kilty, T and Shepherd, C.E (2020): Smartphone use in outdoor education: a question of activity progression and place, In: JOURNAL OF ADVENTURE EDUCATION AND OUTDOOR LEARNING

[21] P.Vogt and J. Kuhn (2012): Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor, In: The Physics Teacher, 50, S. 439-440

[22] J. Kuhn und P. Vogt (2012): Analyzing spring pendulum with a smartphone acceleration sensor, In: The Physics Teacher, 50, S. 504-505

[23] M. Monteiro, C. Cabeza und A. Marti (2014): Rotational energy in a physical pendulum, In: The Physics Teacher, 52, S. 312-313

[24] A. Kaps und F. Stallmach (2020): Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone, In: The Physics Teacher, 58, S. 214-215

[25] A. Shakur und T. Sinatra (2013): Angular moment, In: The Physics Teacher, 51, S. 564-656

[26] J. C. Palacio, L. Velazquez-Abad and Gimenez J.A. Monsorio (2013): Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations, In: American journal of Physics, 81(76), S. 472-475

[27] Kautz C., Kurz G. und Girdwurz R (2002).: The Force Concept Inventory: A survey at the AUS Esslingen. In: Proc. Europ. Conf. Phys. Teaching in Engineering

[28] Rimoldi G., Singh C. (2005): Student understanding of rotational and rolling motion concept. In: Phys. Rev. ST. Educ. Res.

Danksagung

Die Autoren dieses Artikels bedanken sich für die finanzielle Unterstützung bei Labor Universität der Universität Leipzig, welche vom Bundesministerium für Forschung und Bildung finanziert wird (Projekt-nummer: 01PL16088). Des Weiteren bedanken wir uns bei dem *phyphox*-Entwicklungsteams der RWTH Aachen für die Anregungen und Diskussionen.

Anhang I**Experimentierhausaufgabe Lernziele**

Die Studierenden...

<p>Aufgabe 1:</p> <p>Beschleunigte Bewegung im Fahrstuhl</p>	<ul style="list-style-type: none"> • analysieren die mit dem Barometer und Beschleunigungssensors gemessenen Daten • ermitteln unter Anwendung der barometrischen Höhenformel das Weg-Zeit Gesetz der beschleunigten Bewegung • klassifizieren die Merkmale einer beschleunigten Bewegung anhand der von ihnen gemessenen Graphen.
<p>Aufgabe 2:</p> <p>Geschwindigkeits-Zeit und Weg-Zeit Abhängigkeiten gemessen mit dem GPS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • berechnen die Bahnkurve der aufgenommenen Bewegung aus den gemessenen GPS-Daten • rechnen die geografischen Koordinaten in kartesische Koordinaten um. • leiten aus der zweidimensionalen Bahnkurve das Weg-Zeit und Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm ab.
<p>Aufgabe 3:</p> <p>Bestimmung des Haftreibungskoeffizienten an der geneigten Ebene</p>	<ul style="list-style-type: none"> • wenden die vektorielle Definition der Beschleunigung an und ermitteln die wirkende Beschleunigung, die auf das Smartphone wirkt • stellen die wirkende Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dar und interpretieren das Diagramm • ermitteln aus den Messdaten den Haftreibungskoeffizient zwischen den beiden von Ihnen gewählten Materialien.
<p>Aufgabe 4:</p> <p>Beschleunigte Kippbewegung und das Trägheitsmoment des Smartphones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • können den Energieerhaltungssatz für die beschleunigte Kippbewegung des Smartphones angeben. • wenden den Satz von Steiner an. • berechnen Trägheitsmomente mithilfe des Energieerhaltungssatzes • beurteilen die Güte des experimentellen ermittelten Wertes für das Trägheitsmoment indem sie diesen mit dem theoretischen Wert vergleichen und führen eine Fehlerrechnung durch.
<p>Aufgabe 5:</p> <p>Drehpendel und Torsionsmodul eines Fadens</p>	<ul style="list-style-type: none"> • planen und konzipieren ein Drehpendel und ermitteln damit die Periodendauer der Torsionsschwingung ihres Smartphones • stellen die Schwingungsgleichung für die Torsionsschwingung auf und diskutieren den Einfluss der Dämpfung • berechnen aus der Periodendauer und dem Trägheitsmoment des Smartphones den Torsionsmodul des Fadens • schätzen den experimentell ermittelten Wert des Torsionsmoduls mit Hilfe einer Größtfehlerabschätzung ein.
<p>Aufgabe 6:</p> <p>Bau und Test einer Schwingungswaage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • planen, konstruieren und kalibrieren eine funktionsfähige Schwingungswaage • ermitteln den Gültigkeitsbereich des hookeschen Gesetzes für die von Ihnen verwendete Feder • bestimmen die Masse eines unbekanntes Gegenstandes mit Hilfe der Periodendauer der Schwingungswaage. • bewerten die Messergebnisse und führen eine Fehlerrechnung durch

Tab. 1: Lernziele und Inhalte der entwickelten Experimentierhausaufgaben des Smarten Physiklabors gemäß der Modulbeschreibung und der Prüfungsordnung der Universität Leipzig und der LAPO I.