

Offene Projektaufgaben mit Smartphone-Experimenten für die Studieneingangsphase Physik

Simon Z. Lahme^{1,a}, Matthias Fipp¹, Pascal Klein¹, Andreas Müller²

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Physik und ihre Didaktik, Friedrich Hund-Platz 1,
37077 Göttingen, Deutschland

² University of Geneva, Department of Physics and Institute of Teacher Education, Boulevard du Pont d'Arve 40,
1211 Genève, Switzerland

^a simon.lahme@uni-goettingen.de

Kurzfassung

Zur Förderung von Neugier, Interesse und sozialer Eingebundenheit sowie zur Unterstützung des selbstgesteuerten, vernetzenden, forschungsbasierten Lernens wurden an der Universität Göttingen in die Erstsemesterveranstaltung Experimentalphysik I für Physikhauptfach- und -zweifächerbachelorstudierende „undergraduate research projects“ implementiert. In Kleingruppen arbeiteten die Studierenden über zwei Monate lang an jeweils einer von sechs Experimentierprojektaufgaben. Diese erforderten die Smartphone-gestützte Erfassung eigener Messdaten und deren Auswertung sowie eine Präsentation der Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster. Die Arbeit in den Projektgruppen und insbesondere die Ausgestaltung der Aufgabenstellungen wiesen einen hohen Offenheitsgrad auf. In diesem Beitrag werden die Entwicklung und Konzeption dieser Projektaufgaben anhand eines Theorierahmens zur Entwicklung von Experimentieraufgaben beschrieben, welches die Zielgruppe, die Lernziele, die eigentliche Aufgabenkonzeption, das Design der Lernmaterialien und die Implementation in die Lehre sowie dabei zu beachtende organisatorische Faktoren umfasst.

1. „Undergraduate research“ mit Smartphones in der Studieneingangsphase Physik

Der erfolgreiche Start ins Physikstudium ist mit einem akademischen Identitätsbildungsprozess auf drei Anforderungsebenen verbunden (Bauer et al., 2019): Auf der fachlichen Ebene müssen die Studierenden die kognitiven, physikalischen und mathematischen Anforderungen des Physikstudiums bewältigen. Auf der Metakognitionsebene sind u. a. Strategien des selbstregulierten Lernens, die Entwicklung eines förderlichen Fähigkeitsselbstkonzepts und reflektierende Prozesse verortet. Auf der Sozialisierungsebene ist eine Enkulturation ins Fach und in die Community mit ihren spezifischen Einstellungen, Werten und Normen erforderlich. In der Studieneingangsphase Physik sollen die Studierenden also nicht nur neues Fachwissen erwerben, sondern dieses beispielsweise auch vernetzen können, neue Lernstrategien zum selbstregulierten Lernen entwickeln, Neugier und Interesse bezüglich der Studieninhalte wecken und einen Prozess sozialer Einbindung in die Physik-Community und ihre Peer-Group erfahren.

Der Erreichung dieser Ziele können u. a. offene Experimentiersituationen dienen, in denen Studierende gemeinsame Experimente designen, Messdaten aufnehmen und auswerten. Dadurch können Sie nicht nur experimentelle Fähigkeiten erwerben, sondern auch Wissens Elemente aus Grundlagenvorlesungen und Theorie mit Praxis vernetzen und vertiefen, Methoden wissenschaftlichen Denkens kennenlernen, Motivation wecken und ihre eigenen persönlichen

und sozialen Kompetenzen weiterentwickeln (Welzel et al., 1998). Entscheidend ist der Offenheitsgrad der Experimentiersituation, da kochbuchartige Anleitungen und ein stärkerer Fokus auf der Wiederholung von Vorlesungsinhalten anstelle des Kompetenzerwerbs sich als nicht wirksam gezeigt haben, z. B. im Erwerb von Fachwissen (Holmes et al., 2017) und adäquaten Vorstellungen zur Experimentalphysik (Teichmann et al., 2022), und nicht das Interesse der Studierenden fördern (Rehfeldt, 2017). Dagegen haben sich offene Experimentiersituationen als lernwirksam erwiesen, etwa in Form von „design labs“, in denen Studierenden bei engem „scaffolding“ eigene Experimente designen sollen (Karelina & Etkina, 2007) oder „undergraduate research projects“ (URPs), in denen Kleingruppen von Studierende über einen längeren Zeitraum an einem Experimentierprojekt arbeiten (Ahmad & Al-Thani, 2022; Oliver et al., 2023; Ruiz-Primo et al., 2011; Russell et al., 2007). Letztere eignen sich insbesondere zur Förderung von „higher order thinking skills“ (HOTs) wie Autonomie, Neugier, Kreativität und Fähigkeiten im Problemlösen und kritischen Denken (Mieg et al., 2022; Murtonen & Balloo, 2019; Walsh et al., 2019).

Immanent zu URPs gehört die Erhebung eigener Messdaten. Die Bereitstellung von Laborequipment und -räumen stellt jedoch hohe Anforderungen an verfügbare Ressourcen und ist mitunter mit einer Einschränkung der Autonomie und Flexibilität der Studierenden verbunden, z. B., wenn es nur feste Laborzeiten gibt. Gerade in der Studieneingangsphase, in der die Studierenden den Experimentierprozess erst

einmal kennenlernen und Erfahrungen sammeln sollen, bieten daher Smartphones mit den darin verbauten Sensoren eine einfache Möglichkeit, den Studierenden eine eigene, zeitlich und räumlich flexible, ressourcenarme Datenerhebung auch jenseits universitärer Laborräume. Entsprechend werden seit über zehn Jahren eine Vielzahl an Smartphone-basierten Physik-Experimenten in unterschiedlichsten Themengebieten entwickelt, wie das Review von Monteiro und Martí (2022) und auch die Sammlung an Beispielerperimenten von Kuhn und Vogt (2019) zeigen. Die Nutzung von Smartphones als Messinstrument findet dabei auch Einzug in universitäre Lehre, in Form von Vorlesungsexperimenten (Staacks et al., 2022) und experimentellen Übungsaufgaben (Hütz et al., 2019; Kaps et al., 2022; Klein, 2016), in Laborpraktika insbesondere während der Covid19-Pandemie (Lahme et al., 2023a) sowie für URPs (Barro et al., 2023). Dabei wird auch das Potential von Smartphone-Experimenten untersucht, etwa mit Blick auf motivationale Effekte (Hochberg, 2018), die Wirkung auf Repräsentationskompetenz (Klein et al., 2018) und Konzeptwissen (Kaps & Stallmach, 2022) oder zur Reduktion von „extraneous cognitive load“ (Becker et al., 2020; Kaps & Stallmach, 2022).

An der Universität Göttingen wurden daher im Wintersemester 22/23 URPs mit Smartphone-Experimenten in die Studieneingangsphase Physik implementiert, um vernetzendes, selbstreguliertes Lernen, aber auch die Entwicklung etwa von Neugier und Interesse bezüglich der Studieninhalte und eine Enkulturation in die Physik-Community und Peer-Group zu fördern. Zielgruppe des Programms „Digitalgestütztes vernetztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik“ (s. Lahme et al. (2023c) zur Übersicht) waren Physikmono- und -zweifächerbachelorstudierende der Erstsemestervorlesung Experimentalphysik I. In Kleingruppen sollten die Studierenden selbstständig ein Smartphone-Experiment planen, durchführen und auswerten sowie die Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster präsentieren. Die Projektarbeiten wurden durch sechs offene Experimentieraufgaben vorstrukturiert, von denen jede Gruppe jeweils eine bearbeitete. In diesem Beitrag werden die Entwicklung und Konzeption dieser Aufgaben beschrieben.

2. Entwicklung von sechs Experimentierprojektaufgaben für die Studieneingangsphase Physik

In Vorarbeiten (Lahme et al., 2023d) haben wir bereits argumentiert, dass die Entwicklung von Experimentieraufgaben sechs Designprinzipien folgen kann. Zunächst werden die Zielgruppe der Experimentieraufgaben charakterisiert (“Think of who your learners are.”) und Lernziele definiert (“Think of what your learners should learn.”). Unter Berücksichtigung von organisatorischen Faktoren (“Think of the circumstances in your lab.”) kann dann eine generelle Aufgabekonzeption vorgenommen werden (“Think of an experimental task for your target group to reach your learning objectives.”). Daran schließt sich die

Entwicklung der eigentlichen Lernmaterialien an (“Think of the materials you need for the conduction of your experimental task.”), die in die eigene Lehre implementiert werden können (“Think of the actual use of your task with your target group and your designed materials.”). Die Experimentieraufgaben können dann evaluiert und iterativ weiterentwickelt werden. Anhand dieser Designprinzipien und der bei Lahme et al. (2023d) beschrieben, jeweils zu berücksichtigenden Aspekte wird die Entwicklung der Experimentierprojektaufgaben im Folgenden erläutert.

2.1. Zielgruppe

Die Aufgaben richteten sich originär an die ca. 160 Studierenden in der Erstsemester-Lehrveranstaltung Experimentalphysik I an der Universität Göttingen im Wintersemester 2022/23. Für 125 von Ihnen liegen demographische Angaben vor. 81 von ihnen sind Physikmono-, 18 Physikzweifächerbachelorstudierende (i. W. gymnasiales Lehramt mit Unterrichtsfach Physik); 104 von ihnen sind im ersten, 21 in einem höheren Semester. Die Erstsemesterstudierenden haben (in Ergänzung zu ihrem Schulwissen) im Vorfeld an der Universität höchstens den Mathematik- und/oder mathematisch-orientierten Physik-Vorkurs besucht. Im ersten Semester belegen sie parallel die Lehrveranstaltung Rechenmethoden der Physik, die Monobachelorstudierende noch eine zusätzliche Mathematik-Lehrveranstaltung sowie den ersten Teil des physikalischen Grundpraktikums, Zweifächerbachelorstudierenden weitere Lehrveranstaltungen in ihrem Zweifach. Die Vorerfahrungen insbesondere im freien Experimentieren sind sehr heterogen, von keinerlei Schüler:innenexperimenten in der Schule (z. B. nur Demoexperimente, teils durch die Covid19-Pandemie bedingt) bis hin zu Teilnahmen bei Wettbewerben wie Jugend forscht. Smartphones wurden von 66 Studierenden bislang überhaupt nicht für Experimente genutzt, die anderen Studierenden haben zumindest vereinzelt mal z. B. im Physikunterricht Smartphones etwa zur Zeitmessung, Videoanalyse oder besonders im Bereich Akustik und Pendelschwingungen genutzt. Ein Großteil der Studierenden (109) hat bereits Vorerfahrungen mit Projektarbeit, z. B. in Gruppenarbeiten in der Schule oder der Facharbeit in der Oberstufe, jedoch nicht zwingend im naturwissenschaftlichen Bereich. Die Interessen und Einstellungen der Studierenden zum Fach Physik und zum Experimentieren können aufgrund der Studienwahl insgesamt als hoch angenommen werden.

2.2. Lernziele

Mit den Experimentierprojektaufgaben sind sowohl allgemeine als auch spezifische, an den Inhalt der jeweiligen Aufgaben geknüpfte Lernziele verbunden. Auf übergeordneter Ebene sollen die Studierenden im ersten Studiensemester exemplarisch selbst ein Experiment inklusive Datenerhebung, Auswertung und Ergebnispräsentation auf Postern durchführen, um einen Einblick in experimentalphysikalische Forschung (jenseits des Laborpraktikums, welches im ersten

Semester nur Physikmonobachelorstudierende besuchen) zu erhalten. Auf diese Weise sollen das akademische Selbstkonzept, Interesse und HOTS wie Neugier, Autonomie, Kreativität und Problemlösen sowie insgesamt das selbstregulierte Lernen gefördert werden. Zusätzlich sollen der Erwerb digitaler Kompetenzen und kommunikativer Kompetenzen etwa im Bereich Präsentieren von Ergebnissen angeregt werden. Außerdem wird durch die Experimentieraufgaben eine Vernetzung und Vertiefung der Vorlesungsinhalte aus der Experimentalphysik I (inhaltlicher Bezugsrahmen) und der Rechenmethoden der Physik (z. B. bei der Datenauswertung) sowie ggf. dem begleitenden physikalischen Grundpraktikum angestrebt, um eine Theorie-Praxis-Verzahnung zu ermöglichen und die Relevanz der Lerninhalte aufzuzeigen. Ferner soll die Zusammenarbeit in Kleingruppen das Zugehörigkeitsgefühl zur Physikcommunity, zu Peers und der Universität stärken. Die übergeordneten Lernziele sind also primär affektiver und selbstregulativer Natur und adressieren z. B. weniger die explizite Entwicklung von Experimentierkompetenz. Darüber hinaus sind mit jeder Aufgabe spezifische physik- und mathematikbezogene sowie methodische Lernziele verbunden. Diese hängen von der inhaltlichen Ausrichtung der jeweiligen Experimentierprojektaufgabe ab und werden in den Aufgabendokumenten (s. Kapitel 2.5) explizit aufgeführt. Sie dienen vor allem der Orientierung für die Studierenden und adressieren etwa zentrale physikalische Konzepte der Aufgaben, die Modellierung der Messdaten mit Modellen oder die selbstständige Planung, Durchführung und Auswertung von Messdaten mit Smartphones und unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten.

2.3. Organisatorische Faktoren

Die Studierenden sollten an den Experimentierprojektaufgaben über einen längeren Zeitraum semesterbegleitend arbeiten können. Durch die Integration in die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I sollte die Projektarbeit allerdings bereits vor dem Vorlesungsende und der Prüfungsphase abgeschlossen sein und gleichzeitig nicht in der allerersten Vorlesungswoche beginnen, in der die Studierenden bereits mit vielen anderen Dingen ausgelastet sind. Somit ergab sich ein Zeitraum für die Projektarbeit von etwa zwei Monaten, wobei die Studierenden durch die parallelen Lehrveranstaltungen nicht durchgehend an den Projektaufgaben arbeiteten. Die Projektarbeit sollte autark, selbstgesteuert, außerhalb klassischer Laborpraktika und außerhalb der Vorlesungs- und Übungszeit erfolgen. Zur begleitenden Unterstützung stand jedoch eine zweiwöchentlich stattfindende, freiwillige, 90-minütige Saalübung zur Verfügung. Da die Studieneingangsphase per se eine für die Studierenden herausfordernde, mitunter Belastungserzeugende Zeit ist (Lahme et al., 2022a), wurde der Workload wie folgt kalkuliert: Die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I wird mit insgesamt 6 ECTS (150 Echtstunden) vergütet, wovon jeweils etwa die

Hälfte auf die Präsenzzeit (in Vorlesung und Übung) und auf die wöchentlichen Übungsblätter inklusive weiteren Selbststudiums entfallen. Da die Projektarbeit wie implementiert (s. Kapitel 2.6) ein Drittel der Prüfungsvorleistung (in den Vorjahren ausschließlich Übungsblätter) ausmachte, sollte die Projektarbeit also mit einem Aufwand von etwa 1 ECTS, d. h. 25 Echtstunden je Studierenden verbunden sein.

2.4. Aufgabenkonzeption

Im Rahmen der Projektarbeit sollen die Studierenden über einen längeren Zeitraum interessensgeleitet eigene Experimente designen, durchführen und auswerten. Dabei sollen Inhalte verschiedener Lehrveranstaltungen (Experimentalphysik I, Rechenmethoden der Physik und ggf. physikalisches Grundpraktikum) vernetzt bzw. selbstständig erweitert werden. Entsprechend ist ein angemessen hoher Offenheits- und Schwierigkeitsgrad gewählt worden, der eine intensive Auseinandersetzung mit den Experimenten über zwei Monate hinweg ermöglicht und sämtliche experimentelle Aktivitäten von Design über Datenerhebung und Auswertung bis hin zur Interpretation und Präsentation der Ergebnisse umfasst. Da Gegenstand der Experimentalphysik I bis zur Semestermitte ausschließlich klassische Mechanik ist, adressieren die Aufgaben entsprechend Translations-, Rotations- und Rollbewegungen sowie mechanische Schwingungen. Für eine hohe Authentizität gehen die Aufgaben auch explizit auf, in Modellierungen sonst oft vernachlässigte Effekte (z. B. Reibung) ein und orientieren sich an mindestens einem fachwissenschaftlichen Artikel/Buchbeitrag. Alle Aufgaben nutzen Smartphones (die eingebauten Sensoren und die App phyphox oder die Kamera zur späteren Videoanalyse mit der Open Source Software Tracker) für die Datenerhebung und die Open Source Software SciDAVis (oder wahlweise Python bzw. Origin) für die Datenanalyse, um die Projektarbeit außerhalb universitärer Labore zu ermöglichen. Als weitere Experimentiermaterialien sind nur kostenfrei oder kostengünstig erhältliche Haushaltsgegenstände erforderlich. Die Aufgaben gehen aus Open Educational Resources aus dem Erasmus+ Projekt DigiPhysLab (Lahme et al., 2022b; www.jyu.fi/digiphyslab) hervor, in dem die dort entwickelten, eher für einzelne Praktikumstage konzipierten Aufgaben für URPs modifiziert wurden (i. W. bezüglich des Offenheitsgrads).

2.5. Design der Aufgabenmaterialien

Zu den Aufgaben gehören entsprechende Experimentieranleitungen (jeweils ca. vier Seiten lang), in denen die Grundideen der Aufgaben erläutert werden, um den Studierenden Orientierung für ihre Projektarbeit zu geben. Die Dokumente folgen dabei stets der gleichen Struktur aus elf Schritten (s. Tab.1).

Die Dokumente beginnen mit einer kurzen fachlichen Motivation und Vorstellung des Themas der Projektaufgabe inklusive klarer Zielformulierung. Es folgt ausformuliert in ca. drei Sätzen die Aufgabenstellung, die an das Ziel des Experiments anknüpft, in der

Regel eine vorformulierte Forschungsfrage enthält und die experimentelle Beantwortung mithilfe eines Smartphone-Experiments unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten erfordert. Während das Ziel vorgegeben wird, bleibt die konkrete Umsetzung offen („Entwickeln Sie ein Experiment...“ oder „Untersuchen Sie mit Ihrem Smartphone/experimentell...“) und ist Aufgabe der Studierenden.

Damit diese Anhaltspunkte haben, wie sie diese offenen Aufgabenstellungen sinnvoll angehen können, werden im Anschluss drei bis sieben Leitfragen präsentiert, die Design, Durchführung und Auswertung des Experiments adressieren. Sie geben dabei keine konkreten Anweisungen, sondern regen dazu an, sich über bestimmte Aspekte und notwendige Schritte des Experiments Gedanken zu machen. Es folgt eine Aufschlüsselung der aufgabenspezifischen Lernziele, getrennt nach physik- und mathematikbezogenen sowie methodischen Lernzielen. Diese schaffen nicht nur Transparenz bezüglich der Erwartungen, sondern enthalten auch Indizien für die Aufgabebearbeitung, z. B. die Nennung zentraler Fachbegriffe, die Ausgangspunkt für Recherche und Einarbeitung in die Theorie darstellen können. Um die Anforderungen auch an das finale Produkt, ein wissenschaftliches Poster (s. Kapitel 2.6) transparent zu gestalten, folgen außerdem zwei bis drei Aspekte, die auf diesem Poster dargestellt werden sollen und greifen so auf die zuvor aufgeführte Aufgabenstellung zurück.

Zusätzlich beinhalten die Dokumente Hinweise für die Durchführung, etwa aufgabenspezifische organisatorische Tipps und Sicherheitshinweise sowie Vorschläge für geeignete Software (i. W. phyphox und SciDAVis). Insbesondere wird auf das der Aufgabe zugrundeliegende Paper als Ausgangspunkt für die eigene Projektarbeit verwiesen.

Daran schließen sich drei bis vier Anregungen an, wie die jeweilige Experimentieraufgabe individuell vertieft werden kann. So wird die Offenheit der Experimentieraufgabe unterstützt, den Studierenden eine interessensgeleitete Schwerpunktsetzung ermöglicht und verhindert, dass alle Studierenden am Ende exakt gleiche Experimente durchführen. Außerdem erfolgt durch diese Trennung zwischen Mindestanforderung und Vertiefungsmöglichkeiten eine Differenzierung, je nach Fortschritt der Studierenden.

Darüber hinaus finden sich in den Dokumenten noch aufgabenspezifische Literaturhinweise, Standardlehrwerke zum physikalischen Hintergrund, Paper und Buchbeiträge zum Experiment selbst sowie Literatur und Anleitungen zur Datenauswertung, dem Umgang mit Messunsicherheiten und dem mathematischen Hintergrund. Es wird auf weitere Hilfsmaterialien in separaten Dateien (Anleitungen für die Software, d. h. phyphox, SciDAVis und Tracker) verwiesen und für alle Aufgaben ein einheitlicher Zeitplan empfohlen, der die Schritte des Experimentierprozesses auf die zweimonatige Projektzeit aufschlüsselt und so zeitliche Orientierung und Unterstützung in der

Projektorganisation bietet. Die Aufgabendokumente schließen mit Hinweisen, wie die Studierenden in einer zweiwöchentlichen Saalübung, über ein anonymes Fragetool, per E-Mail und in Sprechstundenterminen individuelle Unterstützung erhalten.

Die Materialien sind übersichtlich und bestehen aus strukturierenden Elementen und oft nur durch Aufzählungszeichen gegliederten Stichwortsätzen. Dadurch soll die Struktur klar ersichtlich sein, eine Konzentration auf das Wesentliche erfolgen und erkennbar sein, dass es sich bei den Aufgabendokumenten nicht um kochrezeptartige Anleitungen, sondern Hinweise für offene Experimentierprojekte handelt.

Tab.1: Übersicht über die Struktur und Merkmale der Dokumente für die offenen Experimentierprojektaufgaben.

Strukturelement	Inhalte/Merkmale
1 Motivation und Überblick	Kurze fachliche Motivation & Vorstellung des Themas, Ziel der Aufgabe
2 Ihre Aufgabenstellung	Kurze, offene Formulierung der Aufgabenstellung
3 Diese Leitfragen können Sie bei der Bearbeitung unterstützen	Leitfragen zur Unterstützung bei Planung, Durchführung & Auswertung
4 Das sollen Sie in dieser Aufgabe lernen	Physikbezogene, mathematikbezogene & methodische Lernziele
5 Das soll Ihr Poster nachher unter anderem enthalten	Vorgaben zum Poster (z. B. Beantwortung der Fragestellung)
6 Noch ein paar Tipps und Hinweise zur Durchführung	Organisatorische Tipps, Sicherheitshinweise, Vorschläge für Software & ein Paper zum Start
7 Möglichkeiten zur Vertiefung der Aufgabe	Optionale Vertiefungsmöglichkeiten für individuelle Schwerpunktsetzung
8 Literaturhinweise	Zum physikalischen Hintergrund, dem Experiment & zur Datenauswertung
9 Weitere Hilfsmaterialien	i. W. Anleitung für Software
10 Empfohlener Zeitplan	Zeitliche Grobplanung der Aktivitäten
11 Wo Sie während der Projektarbeit Unterstützung bekommen	Hinweise auf Unterstützungsangebote (Saalübung, Sprechstunden, E-Mail)

2.6. Implementation

Der zeitliche Ablauf der Implementation der Aufgaben in die Lehrveranstaltung Experimentalphysik I von November 2022 bis Januar 2023 ist in Abb.1 dargestellt. In der zweiten Vorlesungswoche wurden die Studierenden in der zweiwöchentlichen Saalübung über die Projektarbeit, deren Ablauf und die Rahmenbedingungen informiert. In der dritten Semesterwoche erfolgte die Einteilung der Studierenden in Kleingruppen von drei bis fünf Studierenden sowie eine Zuordnung zu einer der insgesamt sechs Projektaufgaben. Aus organisatorischen Gründen und zur besseren Vernetzung der Studierenden wurden die Projektgruppen innerhalb des Personenkreises der wöchentlichen Übungsgruppen gebildet und den Studierenden



Abb.1: Übersicht über die Implementation der Projektaufgaben an der Universität Göttingen im Wintersemester 22/23 in den ersten 12 der insgesamt 14 Semesterwochen (SW) mit zwei Wochen vorlesungsfreier Weihnachtszeit (W) dazwischen. Oberhalb des Zeitstrahls ist der Ablauf der Projektarbeit dargestellt, unterhalb sind die Unterstützungsangebote zeitlich eingeordnet.

die Wahl zwischen jeweils zwei der sechs Projektaufgaben gegeben. Am Ende der dritten Semesterwoche erhielten die Studierenden sämtliche Aufgabenmaterialien über die an der Universität Göttingen genutzte Lernplattform Stud.IP. Ab dann hatten die Studierenden gut sechs Vorlesungswochen (zuzüglich zwei Wochen vorlesungsfreier Zeit um Weihnachten) Zeit, an ihren Projekten zu arbeiten und die Ergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster aufzubereiten und anschließend ihren Kommiliton:innen zu präsentieren. In dieser Zeit erhielten die Studierenden in drei dazwischenliegenden Saalübungen Unterstützung: In der ersten Saalübung wurden Fragen zur Projektarbeit und den Aufgabendokumenten geklärt, in der zweiten gab es einen Workshop zum physikalischen Erkenntnisgewinnungsprozess und Strategien des kollaborativen Arbeitens und in der dritten einen Workshop zur Gestaltung wissenschaftlicher Poster. Bereits im Vorfeld, in den ersten zwei Semesterwochen, wurden an zwei Vorlesungsterminen die Messung physikalischer Größen und der Umgang mit Messunsicherheiten behandelt. Ferner bestand während der Projektarbeit jederzeit die Gelegenheit, anonym über ein Fragetool, direkt per E-Mail oder in regelmäßig angebotenen Sprechstundenterminen Fragen zu stellen und Unterstützung zu erhalten.

Der Leistungsnachweis in der Projektarbeit erfolgte durch die Präsentation der Projektergebnisse auf einem wissenschaftlichen Poster als authentisches Kommunikationsmedium und durch die individuelle schriftliche Beantwortung von acht Fragen, die eine Kurzbeschreibung und Diskussion der Ergebnisse des Experiments sowie die Reflexion der Projektarbeit selbst umfasste (z. B. bezüglich der Relevanz, des Lernzuwachs, und der Zusammenarbeit in der Gruppe). Beide Lernprodukte wurden anhand eines im Vorfeld auch den Studierenden bereitgestellten Bewertungsbogens (Gruppenbewertung für das Poster, Einzelbewertung der Reflexionen) eingeschätzt. In beiden Fällen erhielten die Studierenden jeweils bis zu 60 Punkte, die auf die Punkte für die wöchentlichen Übungsblätter (12-mal 20 Punkte) aufaddiert wurden. Durch die Projektarbeit konnten die

Studierenden also bis zu einem Drittel der insgesamt 360 Punkte erreichen, wovon mindestens die Hälfte als Prüfungsvorleistung für die Teilnahme an der Modulabschlussklausur erzielt werden musste. Dadurch wurde die Projektarbeit in die Prüfungsmodalitäten der Lehrveranstaltung integriert und Verbindlichkeit geschaffen. Der Workload für die Projektarbeit wurde durch einen reduzierten Umfang der Übungsblätter im Vergleich zu den Vorjahren kompensiert.

Feedback erhielten die Studierenden in Form der Beantwortung, durch Diskussion mit ihren Kommiliton:innen in der Postersession und auf Anfrage etwa in den Sprechstunden. Gleichmaßen hatten die Studierenden in regelmäßigen Fragebögen, den abschließenden Reflexionsfragen und informellen Gesprächsgelegenheit, Rückmeldung zu den Experimentieraufgaben und der Organisation der Projektarbeit insgesamt zu geben.

3. Detailblick in eine Aufgabe

Gemäß den zuvor beschriebenen Designprinzipien sind sechs Experimentierprojektaufgaben entstanden. Die Aufgabendokumente sind als Open Educational Resources veröffentlicht (<https://doi.org/10.57961/49zr-w490>). Im Folgenden soll exemplarisch die Aufgabe C (Analyse von Smartphone-Sensoren) detaillierter vorgestellt werden. Hierbei handelt es sich um eine Aufgabe mit besonders hohem Offenheitsgrad, da die Studierenden anders als in anderen Aufgaben auch eine eigene Fragestellung formulieren sollen. Ziel der Aufgabe ist die vergleichende Analyse der Präzision/Akkuratheit der Beschleunigungssensoren in verschiedenen Smartphones. Dazu setzt sich die Aufgabenstellung aus zwei Teilen zusammen: „Untersuchen Sie in einem ersten Schritt die Präzision des Beschleunigungssensors der Smartphones aller Gruppenmitglieder und schätzen Sie dabei die Präzision (statistische Messunsicherheit) und Akkuratheit (etwaige Offsets in der Kalibrierung, d. h. systematische Messunsicherheiten) Ihrer Geräte ab. Entwickeln Sie in einem zweiten Schritt eine einfache Forschungsfrage, die durch eine Beschleunigungsmessung beantwortet werden kann. Designen Sie ein entsprechendes Experiment, um diese Frage zu

beantworten. Führen Sie das Experiment mit allen Smartphones Ihrer Gruppe durch und werten Sie Ihre Daten erneut unter Berücksichtigung der spezifischen Messunsicherheiten Ihrer Smartphones aus“ (Wortlaut im Aufgabendokument).

Die Studierenden sollen also zunächst die Beschleunigungssensoren verschiedener Geräte bezüglich der Präzision/Akkuratheit charakterisieren. Dazu können sie z. B. eine Vergleichsmessung vornehmen, bei der alle Smartphones in Ruhe auf einer Unterlage liegen, um so auf die statistische Messunsicherheit und durch Vergleich mit dem bekannten Wert für die Erdbeschleunigung auch systematische Messunsicherheiten zu quantifizieren. Im Anschluss sollen dann in einem selbst designten, kleinen Experiment die Geräte verglichen werden. Somit sollen die Studierenden „zu Themen aus dem Gebiet der Mechanik eigene kleine Experimente entwickeln und mit dem theoretischen Hintergrund physikalisch beschreiben“ (physikbezogenes Lernziel im Wortlaut), „verschiedene Lage-

und Streumaße für statistische Messwerte berechnen“ und „aus statistischen Schwankungen und Offsets von Messdaten Messunsicherheiten bestimmen und miteinander vergleichen“ (mathematikbezogene Lernziele im Wortlaut) können. Zudem sollen sie „die Messunsicherheiten bei der Verwendung eines Smartphones als Messgerät analysieren und charakterisieren“ sowie „eigenständig kleine Experimente planen, durchführen und auswerten“ (methodische Lernziele im Wortlaut) können. Abb.2 enthält einige Beispielergebnisse der Studierenden, die durch die Offenheit der Aufgabe sehr unterschiedlich sind.

Die Projektarbeit wird durch drei Leitfragen strukturiert, die die Studierenden dazu anregen, über die Funktionsweise und Gütekriterien von Sensoren, die Abhängigkeit der Präzision/Akkuratheit von der räumlichen Ausrichtung, dem Nutzungszweck des Smartphones sowie die Quantifizierbarkeit und systematische Vergleichbarkeit von Messunsicherheiten der Smartphones nachzudenken. Zudem werden die

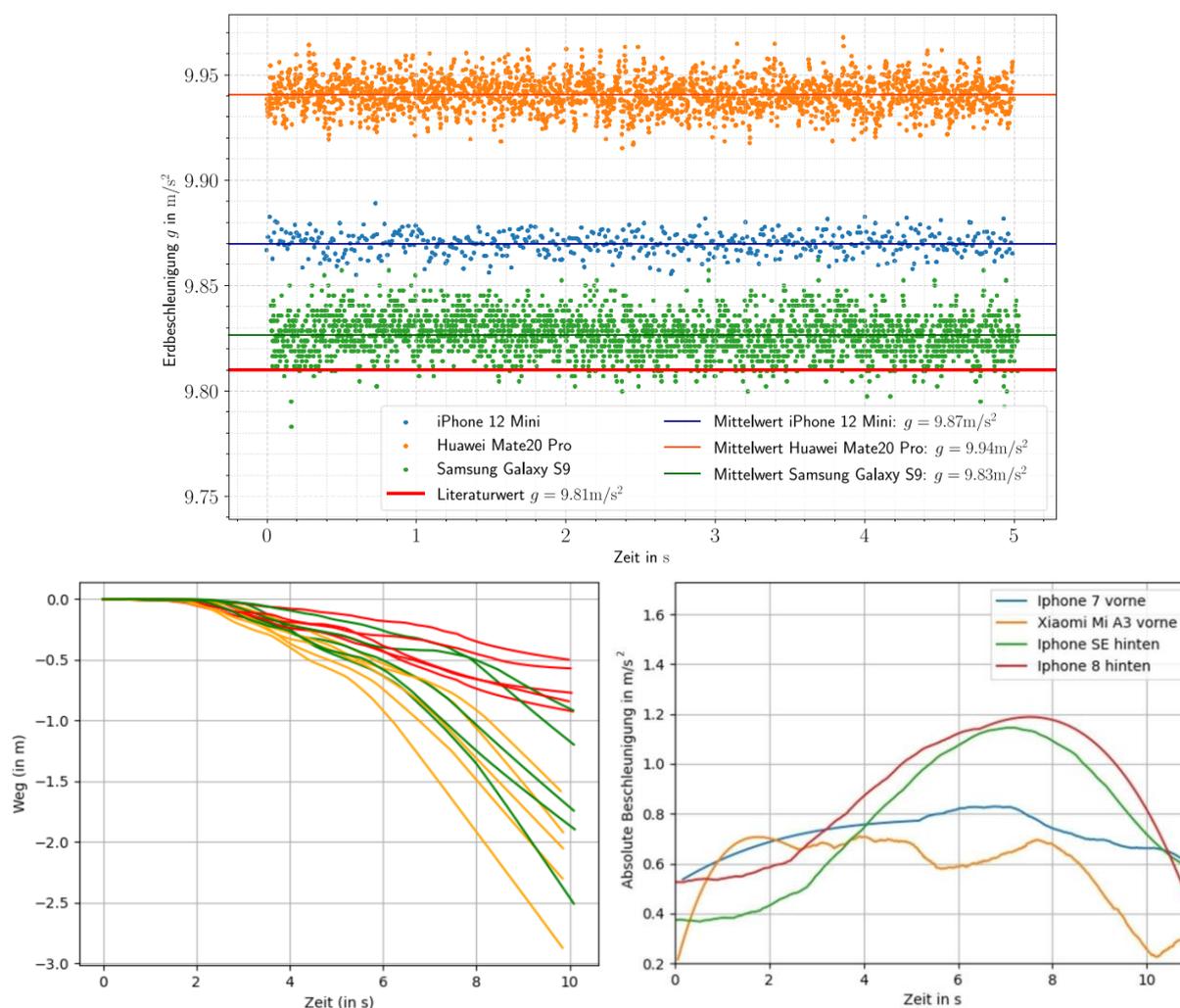


Abb.2: Auszüge aus den auf den Postern präsentierten Ergebnissen dreier Projektgruppen, die Aufgabe C (Analyse von Smartphone-Sensoren) bearbeiteten. Gruppe 1 (oben) hat die Messgenauigkeit, sowohl statistisch als auch systematisch, sowie die Auflösung von drei verschiedenen Smartphones gegenübergestellt. Gruppe 2 (unten links) hat in fünf Messwiederholungen untersucht, inwieweit aus den Beschleunigungsdaten der Smartphones dreier Hersteller (rot, grün, gelb) die zurückgelegte Wegstrecke rekonstruiert werden kann, wenn die Unterlage unter dem Smartphone mithilfe eines Seils 1 m weit gezogen wird. Gruppe 3 (unten rechts) hat gemessen, inwieweit bei einer Kurvenfahrt in einem Gelenkbus die Beschleunigung in den hinteren Sitzreihen höher als in den vorderen ist und inwieweit die Messwerte bei unterschiedlichen Smartphones variieren.

Studierenden auf das Paper von Monteiro et al. (2020) verwiesen, das als Ausgangspunkt für die Analyse der Messunsicherheiten der Smartphone-Sensoren dient. Weitere Literaturhinweise beziehen sich z. B. auf das Buch von Kuhn und Vogt (2019) als Inspirationsquelle für die Entwicklung der eigenen kleinen Smartphone-Experimente. Vertiefungsmöglichkeiten beziehen sich auf den Vergleich der Messunsicherheiten der Beschleunigungssensoren in verschiedenen Messbereichen, der Präzision/Akkuratheit weiterer Smartphone-Sensoren oder verschiedener Methoden der statistischen Datenauswertung.

4. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde anhand eines Theorierahmens zu Designprinzipien von Experimentieraufgaben die Entwicklung von sechs Aufgaben für URPs beschrieben. Diese richteten sich an Physikstudierende der Studieneingangsphase und sollten neben der Vertiefung und Vernetzung von Fachinhalten und dem ersten Durchlaufen des physikalischen Erkenntnisprozesses vor allem selbstreguliertes Lernen, Neugier, Interesse, und soziale Eingebundenheit fördern. Die Aufgaben erfordern die eigenständige Datenaufnahme, Auswertung und Ergebnispräsentation auf Postern. Smartphones dienen der flexiblen Messdatenerfassung außerhalb universitärer Labore. Alle Aufgabendokumente haben die gleiche Struktur mit Motivation, Arbeitsauftrag, Lernzielen, Leitfragen und Literaturhinweisen, weisen einen hohen Offenheitsgrad auf und sind als Open Educational Resources verfügbar (<https://doi.org/10.57961/49zrw490>). Die Implementation am Standort Göttingen im Wintersemester 2022/23 erfolgte in einem Zeitraum von gut zwei Monaten flankiert durch diverse Unterstützungsangebote. Die Evaluation der Aufgaben und deren Implementation erfolgt perspektivisch anhand der Lernprodukte (39 wissenschaftliche Poster und 110 Beantwortungen der Reflexionsfragen), und der Antworten aus sechs Online-Fragebögen (ein Teil der verwendeten Items und Beispieldaten finden sich bei Lahme et al. (2023b)) zu verschiedenen Zeitpunkten während der Projektarbeit mit jeweils 19 bis 125 Teilnehmenden. So können „lessons learned“ für die Entwicklung und Implementation vergleichbarer Innovationen in die Hochschullehre formuliert werden. Eine Schnellauswertung von Freitextantworten zeigt, dass den Studierenden das freie, kreative Arbeiten, die Smartphone-Nutzung zur Erkundung physikalischer Alltagsphänomene sowie die Kleingruppenarbeit gefiel. Sie empfanden die Aufgabendokumente als verständlich. Die Projektarbeit ging jedoch auch mit einem hohen Anspruch und Aufwand einher.

5. Literatur

Ahmad, Z. & Al-Thani, N. J. (2022). Undergraduate Research Experience Models: A systematic review of the literature from 2011 to 2021. *International Journal of Educational Research*, 114, Artikel 101996. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101996>

- Barro, S., Beguin, C., Brouzet, D., Charosky, L., Darmendrail, L. & Müller, A. (2023). *Smartphone experiments in Undergraduate Research*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.07483>
- Bauer, A., Lahme, S., Woitkowski, D. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung Aachen 2019*, 53–60. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/download/934/1061>
- Becker, S., Klein, P., Göbbling, A. & Kuhn, J. (2020). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, Artikel 101350. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101350>
- Hochberg, K. (2016). *iMechanics: Smartphones als Experimentiermittel im Physikunterricht der Sekundarstufe II. Wirkung auf Lernerfolg, Motivation und Neugier in der Mechanik*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern. https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/4445/file/160331_Diss_genehmigt.pdf
- Holmes, N. G., Olsen, J., Thomas, J. L. & Wieman, C. E. (2017). Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), Artikel 010129. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Hütz, S., Kühlen, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2017). Entwicklung und Evaluation modularer Vorlesungseinheiten mit Smartphone-Einsatz. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung Dresden 2017*, 241–245. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/795/940>
- Karelina, A. & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(2), Artikel 020106. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020106>
- Kaps, A. & Stallmach, F. (2022). Development and didactic analysis of smartphone-based experimental exercises for the smart physics lab. *Physics Education*, 57(4), Artikel 45038. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac68c0>
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/8f76f0f86ffc48a34292baaaddbaead8.pdf/Dissertation%20KLEIN%20Pascal.pdf>
- Klein, P., Kuhn, J. & Müller, A. (2018). Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik: Empirische Untersuchung eines videobasierten Aufgabenformates. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 17–34. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0070-2>

- Kuhn, J. & Vogt, P. (2019). *Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59266-3>
- Lahme, S. Z., Cirkel, J. O., Hahn, L., Klein, P., Langendorf, R. & Schneider, S. (2022a). Belastungstrajektorie in der Studieneingangsphase Physik. *PhyDid B - Beiträge zur Frühjahrstagung - virtuell 2022*, 57–64. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1249/1504>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Sušac, A. & Tomrlin, B. (2022b). *DiGiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning*. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung virtuell 2022*, 383–390. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1250/1503>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L., & Sušac, A. (2023a). *Physics lab courses under digital transformation: A trilateral survey among university lab instructors about the role of new digital technologies and learning objectives*. Preprint auf arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.08515>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Rončević, L., & Sušac, A. (2023b). Evaluating digital experimental tasks for physics laboratory courses. *PhyDidB - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Hannover 2023* [in diesem Tagungsband].
- Lahme, S. Z., Müller, A., Klein, P. (2023c). Lehrveranstaltungsverbindende Experimentieraufgaben im Physikstudium. In v. Vorst, H. (Hrsg.), *Lernen, lehren und forschen in einer digital geprägten Welt, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022*, Band 43, 663–666. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/05/P020_Lahme.pdf
- Lahme, S. Z., Pirinen, P., Rončević, L., Lehtinen, A., Sušac, A., Müller, A. & Klein, P. (2023d). *A framework for designing experimental tasks in contemporary physics lab courses*. Preprint auf arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.14464>
- Mieg, H. A., Ambos, E., Brew, A., Galli, D. & Lehmann, J. (Hrsg.). (2022). *The Cambridge Handbook of Undergraduate Research*. University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108869508>
- Monteiro, M. & Martí, A. C. (2022). Resource Letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, 90(5), 328–343. <https://doi.org/10.1119/5.0073317>
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C. & Marti, A. C. (2021): Using mobile-device sensors to teach students error analysis. *American Journal of Physics*, 89(5), 477–481. <https://doi.org/10.1119/10.0002906>
- Murtonen, M. & Balloo, K. (Hrsg.). (2019). *Redefining Scientific Thinking for Higher Education: Higher-Order Thinking, Evidence-Based Reasoning and Research Skills*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24215-2>
- Oliver, K. A., Werth, A. & Lewandowski, H. J. (2023). Student experiences with authentic research in a remote, introductory course-based undergraduate research experience in physics. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), Artikel 10124. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010124>
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos.
- Ruiz-Primo, M. A., Briggs, D., Iverson, H., Talbot, R. & Shepard, L. A. (2011). Impact of undergraduate science course innovations on learning. *Science*, 331(6022), 1269–1270. <https://doi.org/10.1126/science.1198976>
- Russell, S. H., Hancock, M. P. & McCullough, J. (2007). Benefits of undergraduate research experiences. *Science*, 316(5824), 548–549. <https://doi.org/10.1126/science.1140384>
- Staacks, S., Dorsel, D., Hütz, S., Stallmach, F., Splith, T., Heinke, H. & Stampfer, C. (2022). Collaborative smartphone experiments for large audiences with phyphox. *European Journal of Physics*, 43(5), Artikel 055702. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ac7830>
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemanni, M. (2022). Investigating students' views of experimental physics in German laboratory classes. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Artikel 010135. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010135>
- Walsh, C., Quinn, K. N., Wieman, C. & Holmes, N. G. (2019). Quantifying critical thinking: Development and validation of the physics lab inventory of critical thinking. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), Artikel 010135. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.15.010135>
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaiter, S. von (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden: Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29–44.

Funding

Das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur förderte dieses Projekt in der Linie „Innovative Lehr- und Lernkonzepte: InnovationPlus“.

Author contributions¹

Matthias Fipp: Conceptualization (supporting), Resources (supporting). Pascal Klein: Conceptualization (supporting), Funding acquisition, Supervision (equal), Writing – Review & Editing (equal). Simon Z. Lahme: Conceptualization (lead), Resources (lead), Visualization, Writing – Original Draft Preparation; Writing – Review & Editing (equal). Andreas Müller: Supervision (equal), Writing – Review & Editing (equal).

¹ According to CREDIT (CRediT Contributor Roles Taxonomy), <https://credit.niso.org/>