

Analyse von Experimentierhausaufgaben in der klassischen Mechanik

Andreas Kaps*, Theresa Schmid*, Helena Franke* und Frank Stallmach*

Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Bereich Didaktik der Physik
andreas.kaps@uni-leipzig.de

Kurzfassung

Im einführenden Mechanik-Kurs haben Studierende des 1. Fachsemesters Lehramt Physik eigenständig Experimentierhausaufgaben mit ihren Smartphones als digitales Messinstrument bearbeitet. Die von den Studierenden als Lösungen eingereichten Protokolle zu zwei Aufgaben aus der Lehrthematik Dynamik des Massenpunktes wurden einer systematischen Analyse bezüglich wiederkehrender Fehlermuster unterzogen. Es zeigte sich einerseits, dass die Studierenden den zielgerichteten Einsatz digitaler Messwerterfassung und Auswertung sehr schnell und sicher beherrschen. Andererseits fallen der Transfer und die Anwendung neuer physikalischer und mathematischer Lehrinhalte auf reale Problemstellungen ca. 2/3 der Studierenden schwer.

1. Einleitung

Smartphones stehen uns alltäglich als vielfach nutzbares Kommunikationswerkzeug zur Verfügung. Die enthaltene Sensorik ermöglicht darüber hinaus die Einbindung in die schulische und universitäre Physikausbildung. Mit der frei verfügbaren *phyphox*-App (RWTH Aachen, Deutschland) können beispielsweise Versuche zu verschiedenen Themengebieten der Physik sehr schnell und einfach durchgeführt werden. Die digitale Messtechnik ermöglicht es mit dem Smartphone, die Messwerte in Echtzeit, d.h. zeitsynchron zum Ablauf des Experiments aufzunehmen, zu protokollieren und in übersichtlichen Diagrammen darzustellen und zu protokollieren [1-4].

Diese leichte Bedienbarkeit, die damit einhergehende Vertrautheit des Experimentiermittels und die hohe Zahl an messbaren Größen macht sich das Projekt *Smartes Physiklabor* der Universität Leipzig zu nutze. Ebenso wie bereits an anderen Universitäten werden hier sogenannte Experimentierhausaufgaben ausgegeben, in denen die Studierenden im Fachbereich Physik selbstständig Experimente mit ihrem Smartphone durchführen. Dieses neue Aufgabenformat stellt eine Ergänzung zu den klassischen Übungsaufgaben in der universitären Physikausbildung dar [2,3].

In diesem Beitrag werden die im Rahmen des Lehr-Lern-Projekts zum *Smarten Physiklabor* von Studierenden des 1. Fachsemesters Lehramt Physik bearbeiteten Experimentierhausaufgaben zur Thematik „Bewegung des Massepunktes“ in der Mechanik untersucht. Dazu werden zuerst zwei smartphonebasierte Experimentieraufgaben aus diesem Lehrbereich ausführlich vorgestellt. Anschließend werden die Lösungen, welche die Studierenden in Form von Protokollen eingereicht haben, systematisch nach wiederkehrenden Fehlermustern und deren Ursachen analysiert. Aus den Ergebnissen dieser Analyse werden dann Anregungen zur Verbesserung der

Wissensvermittlung in der Mechanik mit Hauptaugenmerk auf die Vermeidung von Fehlerentstehung zu neu erlernten oder erweiterten Inhalten des Mechanikkurses abgeleitet.

2. Smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben

2.1. Einbindung in den Mechanikkurs

Smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben stellen ein neues Aufgabenformat dar, welches die klassischen physikalischen Übungsaufgaben erweitert und ergänzt. Seit dem Wintersemester 2018/2019 wurden diese neuen Aufgabenstellungen in den Mechanik-Kurs des 1. Fachsemesters der Studiengänge Lehramt Physik integriert. Ziel ist es eine Verbesserung und Unterstützung des Lernprozesses der Studierenden in der Studieneingangsphase zu erreichen. Dabei stellen wir die Ausbildung wichtiger experimenteller und fachlicher Kompetenzen der zukünftigen Physiklehrer ins Zentrum unserer Lehrtätigkeit. Die Studierenden werden durch dieses neue Aufgabenformat bereits zu Beginn ihres Studiums experimentell tätig. Sie üben sich im selbstständigen, praktischen Arbeiten anhand realer physikalischer Experimente, die sie in ihrem Studienalltag und in ihrer gewohnten Umgebung mit Smartphones bearbeiten können [3].

Ziel der Experimentierhausaufgaben ist es die Vertrautheit des Smartphones unter den Studierenden zu nutzen, um den Lernerfolg nach dem Modell des kontextbasierten Lernens zu verbessern. Dieses Modell beinhaltet zwei Aspekte: 1. inhaltliche Motivation und Zielerfassung durch alltagsnahe, greifbare, relevante Themen; sowie 2. dessen Einbindung in eine lernförderliche Umgebung [5].

Weitere Ziele ergeben sich aus dem Umgang mit den zu erfassenden Daten, die mit physikalischer und digitaler Kompetenz ausgewertet werden müssen [6-8]. Beim Einsatz digitaler Messgeräte wie z.B. auch beim

physikalischen Messen mit Smartphones, entstehen oft umfangreiche Datensätze, die von den Studierenden sortiert, aufbereitet und weiterverarbeitet werden müssen. Dabei treffen die Studierenden Entscheidungen bezüglich geeigneter Datenformate und deren Darstellung treffen. Dazu ist das Erlernen der Arbeit mit wissenschaftlicher Datenverarbeitungssoftware wie z.B. Microsoft Excel oder Origin notwendig. Die Studierenden müssen geeignete, fachgerechte Repräsentationsformen finden, um aus den umfangreichen Messreihen Ergebnisse abzulesen, fehlerhafte Messungen erkennen und Messunsicherheiten diskutieren zu können [9-11].

Die hier untersuchten Experimentierhausaufgaben befassen sich ausschließlich mit der Kinematik und der Dynamik des Massenpunktes. Für beide Aufgaben wurden zehn Bewertungseinheiten (Punkte) vergeben, die sich folgendermaßen auf die Abschnitte der von den Studierenden einzureichenden Protokolle aufteilen: zwei Punkte auf die Planung des Experiments sowie einen auf die dabei formulierte Experimentierhypothese, für Messergebnisse und Datenanalyse drei Punkte, ebenso auf die Auswertung, einen Punkt auf die Diskussion samt kritischer Reflexion.

2.2. Aufgabe Fahrstuhlfahrt

Die erste Experimentierhausaufgabe dient zum vertraut machen der Studierenden mit dem Smartphone als Messinstrument und der Arbeit mit der *phyphox*-App. Sie wurde vom *phyphox*-Entwicklerteam konzipiert und kann unter dem Menüpunkt *Alltag* mit dem Experiment "Aufzug" von allen *phyphox*-Nutzern sofort beim Fahren mit einem Aufzug nachvollzogen werden [1]. Wir haben für unsere Experimentierhausaufgabe dieses Experiment "Aufzug" mit einer angepassten schriftlich formulierten Aufgabenstellung versehen und mit Hinweisen zur Durchführung ergänzt.

In der Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ (A1) überprüfen die Studierenden den differentiellen Zusammenhang zwischen den kinematischen Größen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Die Studierenden messen mit dem Smartphone den Luftdruck und die Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit t während einer Fahrstuhlfahrt. Die App berechnet aus den Daten die Abhängigkeit der Höhe und der Geschwindigkeit von der Zeit und stellt diese bereits in Diagrammform auf dem Smartphone gemeinsam mit der Beschleunigung dar. Basierend auf diesen Daten analysieren die Studierenden zwei Abschnitte und markante Punkte der Fahrstuhlfahrt (bspw. maximale Höhe und Geschwindigkeit). Dazu wird in unserer Aufgabenstellung verlangt, dass die Studierenden die Messdaten in ein ihnen zugängliches Programm zur wissenschaftlichen Datenanalyse importieren, dort in geeigneter Weise selbst darstellen und dann entsprechend analysieren.

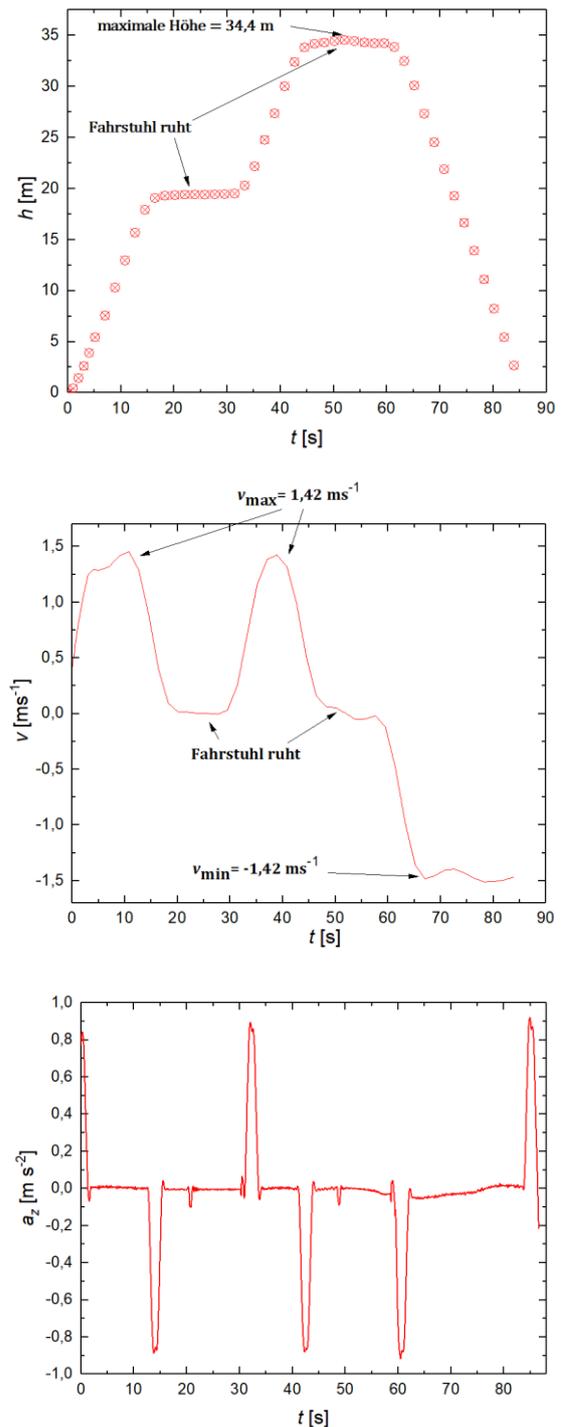


Abb. 1: Erwartungsbild der Aufgabe ‚Fahrstuhlfahrt‘. $h(t)$ -Diagramm aus den Daten des Barometers (oben), $v(t)$ -Diagramm (Mitte) und $a(t)$ -Diagramm der Fahrstuhlfahrt aus dem MEMS-Beschleunigungssensor (unten).

In Abbildung 1 ist unser Erwartungsbild für diese Aufgabe dargestellt. Es zeigt das Höhe-Zeit, das Geschwindigkeits-Zeit und das Beschleunigungs-Zeit Diagramm einer Fahrstuhlfahrt in einem auch den Studierenden zugänglichen Fahrstuhl am

Augustusplatz in Leipzig über 34 m Höhe mit einer Ruhephase bei der Aufwärtsfahrt und der Abwärtsfahrt ohne Zwischenstopp. Offensichtlich lässt sich eine solch komplexe Bewegung mit der *phyphox*-App in guter Qualität aufzeichnen. Damit können die entsprechenden realen Bewegungsvorgänge durch die Studierenden physikalisch ausgewertet werden.

2.3. Aufgabe Bewegung im Freien

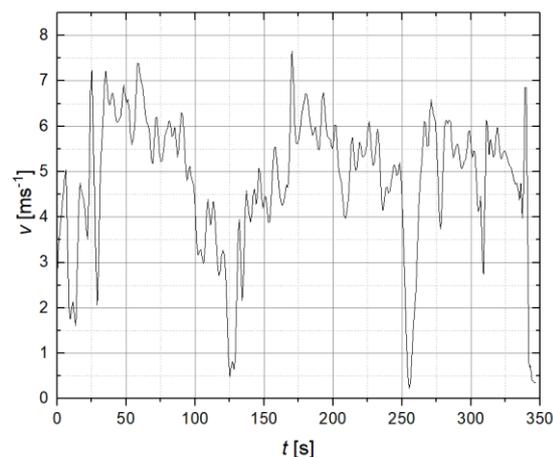
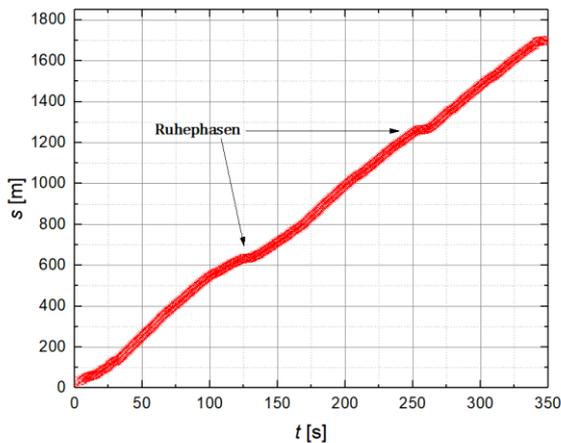
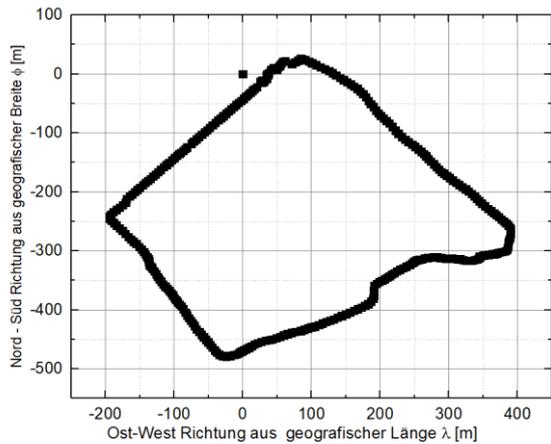


Abb. 2: Erwartungsbild der Aufgabe ‚Bewegung im Freien‘. Ermittelte Bahnkurve der Fahrradfahrt aus den geografischen Koordinaten (oben), $s(t)$ -Diagramm der Bewegung (Mitte) und $v(t)$ -Diagramm (unten).

In der zweiten Experimentierhausaufgabe (A2) zeichnen die Studierenden eine frei gewählte, selbst durchgeführte Bewegung im Freien mit dem GPS-Sensor ihres Smartphones auf und werten diese dann bezüglich der kinematischen Gesetzmäßigkeiten in eigenen Diagrammen aus. Die Messung selbst kann wieder mit der *phyphox*-App (Menü Sensoren, Standort (GPS)) oder mit einer anderen Geotracking-App, die den GPS-Sensor ausliest und als Rohdaten in Abhängigkeit von der Zeit zur Verfügung stellt, erfolgen.

Die Bearbeitung der Aufgabe ‚Bewegung im Freien‘ erfordert in der Planung des Experiments eine Herleitung zur Berechnung der zweidimensionalen Bahnkurve aus den Geokoordinaten und den daraus abzuleitenden Wegen und Geschwindigkeiten als Funktion von der Zeit. Dabei wird der Fokus auf das Erstellen der Bahnkurve und der Transformation dieser zweidimensionalen Darstellung auf das eindimensionale Weg-Zeit Diagramm gelegt. In diesem $s(t)$ -Diagramm diskutieren und analysieren die Studierenden wiederum zwei Bewegungsabschnitte im Detail. Dazu muss durch numerisches Differenzieren des $s(t)$ -Graphen das $v(t)$ -Diagramm erzeugt werden.

In Abbildung 2 ist das Erwartungsbild dieser Aufgabe dargestellt. Es zeigt das zweidimensionale Weg-Zeit-Gesetz einer 5-minütigen Fahrradfahrt durch einen öffentlichen Park in Leipzig über insgesamt ca. 1,8 km Länge und das daraus berechnete Weg-Zeit-Gesetz mit zwei kurzen Ruhephasen. Das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz, das durch die numerische Differenzierung des Weg-Zeit-Gesetzes sehr starken Schwankungen unterlegen ist, lässt die Ruhephasen gerade noch erkennen. Es ergibt jedoch mit einer Maximalgeschwindigkeiten von etwa $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (ca. $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) realistische Geschwindigkeiten für eine Fahrradfahrt.

3. Methodisches Vorgehen

Zur Analyse der Lern- und Transferleistungen der Studierenden für diese ersten beiden Experimentierhausaufgaben wurden alle eingereichten Protokolle aus dem Wintersemester 2018/2019 untersucht. Jeder Experimentiergruppe wurde zur Anonymisierung und eindeutigen Identifikation eine Identifikationsnummer zugeordnet, um die Lösungen beider Aufgaben eindeutig einer Gruppe zuweisen und eine mögliche Entwicklung der Fehler erkennen zu können.

Die Protokolle wurden nach typischen und häufig auftretenden Fehlermustern durchsucht. Dazu wurden die Abschnitte bzw. geforderten Inhalte des Protokolls (siehe Tab. 1, linke Spalte) separat betrachtet. Die in ihnen typischerweise auftretenden Fehlermuster sind in der rechten Spalte kategorisiert bzw. stichpunktartig beschrieben. Die Häufigkeit der Fehlermuster wurde für jede Experimentierhausaufgabe gezählt und dann statistisch ausgewertet.

Protokollabschnitt	Typische Fehlermuster
Theorie	<ul style="list-style-type: none"> • unvollständige Darstellung der notwendigen theoretischen Grundlagen • Gleichungen nicht auf das Experiment bezogen
Hypothese	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentierhypothese falsch oder nicht im geplanten Experiment überprüfbar
Diagramme	<ul style="list-style-type: none"> • Beschriftung der Achsen bzw. der Achsen mit Einheiten fehlt • ungeeignete bzw. fehlerhafte Darstellung der physikalischen Größen • ungeeignete, fehlerhafte bzw. fehlende Diagramme
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> • mangelnder Rückbezug zu Experimentierhypothese • keine bzw. fehlerhafte graphische Auswertung
Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • fehlerhafte Diskussion • kein oder unzureichender Bezug zur Experimentierhypothese
Messunsicherheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Betrachtung von Messunsicherheiten fehlt • Betrachtung nicht auf das eigene Experiment bezogen
Form	<ul style="list-style-type: none"> • Abgabetermin verpasst

Tab. 1: Fehlermuster in den abgegebenen Protokollen.

4. Auswertung

4.1. Leistungsbewertung im Überblick

In den Abbildungen 3 und 4 sind als erstes die Häufigkeiten der Gesamtpunktzahlen für die Experimentierhausaufgaben "Fahrstuhlfahrt" (A1) und "Bewegung im Freien" (A2) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass in beiden Aufgaben jeweils mehr als zwei Drittel der Kursteilnehmer eine ausreichende Leistung oder besser, d.h. 5 Punkte oder mehr, erzielen konnten.

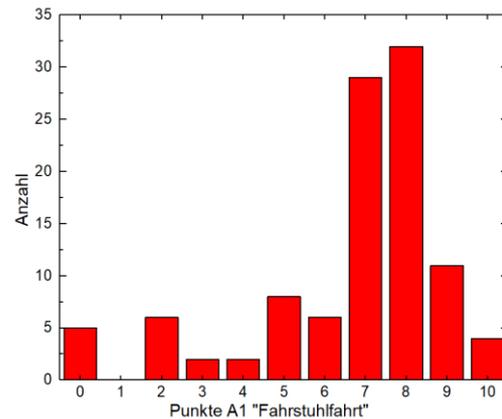


Abb. 3: Histogramm der Leistungsbewertung für Aufgabe 1 „Fahrstuhlfahrt“.

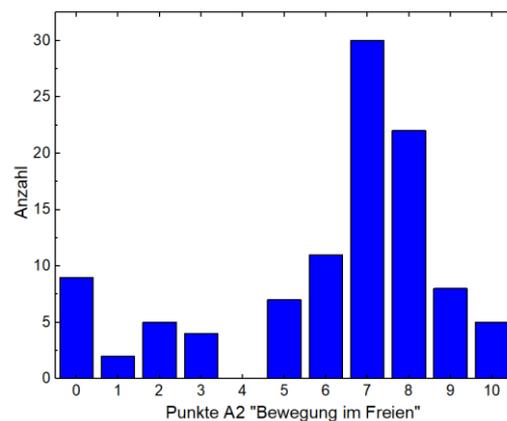


Abb. 4: Histogramm der Leistungsbewertung für Aufgabe 2 „Bewegung im Freien“.

Im Vergleich beider Aufgaben ist ebenfalls ersichtlich, dass die Aufgabe A2 im Durchschnitt etwas schlechter ausfällt als die Aufgabe A1. Dies ist mit dem gestiegenen Anforderungsniveau zu erklären, weil in der Aufgabe A2 die GPS-Messdaten in die geforderten Bewegungsdaten mit Hilfe einer Datenanalyse-Software umgerechnet werden müssen, während für die Aufgabe A1 der Datenexport aus der *phyphox*-App bereits alle Bewegungsdaten in digitalen Tabellen zur Verfügung stellt. Die Aufgabe „Bewegung im Freien“ erfordert deshalb schon in der Vorbetrachtung einen höheren Aufwand, da Geokoordinaten in die kartesischen Koordinaten der 2-dimensionalen Bewegung auf der Erdoberfläche umgerechnet werden müssen. Zusätzlich stellt der Transformationsprozess der zweidimensionalen Bahnkurve $\vec{r}(t)$ in das eindimensionale $s(t)$ -Diagramm die Studierende sehr häufig vor eine große Hürde. Diese Anforderungen, die Modulinhalt der Kinematik und Mechanik sind, gehen deutlich über das durchschnittliche Wissen der Studienanfänger aus der Sekundarstufe II hinaus und werden deshalb mit weniger Erfolg von den Studierenden bearbeitet.

Tabelle 2 zeigt zusätzlich die Entwicklung der Gesamtfehler von der ersten Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ hin zur zweiten Aufgabe „Bewegung im Freien“. Die Gesamtzahl an Fehlern sinkt in der zweiten Experimentierhausaufgabe trotz des gestiegenen Anforderungsniveaus um circa 15% im Vergleich zur ersten Aufgabe. Wie wir im folgenden Abschnitt zur detaillierten Analyse der typischen Fehlermuster zeigen werden, verschiebt sich der Schwerpunkt der Fehler von eher formalen Fehlern bzw. Unzulänglichkeiten in den Protokollen hin zu Fehlern, die offenbaren, dass mathematisch-physikalische Sachverhalte noch nicht verstanden wurden bzw. nicht auf die Auswertung realer, eigener Daten transferiert werden können.

	Aufgabe A1	Aufgabe A2
Gesamtfehler	321	272
Abgegebene Lösungen	99	97
Durchschnittliche Fehlerzahl pro Studierenden	3,24	2,80

Tab. 2: Entwicklung der Gesamtfehleranzahl in beiden Protokollen.

4.2. Analyse der Häufigkeiten der Fehlermuster

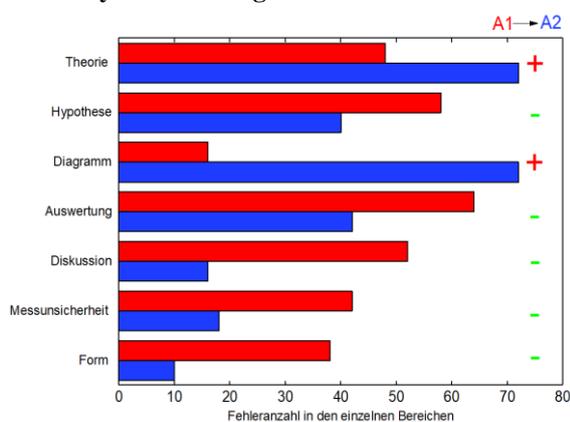


Abb. 5: Entwicklung der Fehlerhäufigkeiten von der Aufgabe A1 zur Aufgabe A. Mit "-" und "+" sind die Protokollbereiche markiert, in denen die Fehlerhäufigkeit absank bzw. anstieg.

In Abbildung 5 sind die Häufigkeiten der Fehlermuster über die verschiedenen Protokollbereiche (vgl. Tab. 1) der ersten und der zweiten Experimentierhausaufgabe dargestellt. Für fünf der sieben Protokollbereiche sank, wie bereits in der Tab. 2 abgebildet, die Fehlerzahl für beide Experimentierhausaufgabe deutlich. Lediglich die theoretischen Betrachtungen sowie das Aufstellen und Auswerten der Diagramme zeigen einen deutlichen Anstieg der

Fehlerhäufigkeiten für die zweite Aufgabe (A2) im Vergleich zur ersten Aufgabe (A1). Diese stiegen für die Darstellung der notwendigen physikalisch-mathematischen Grundlagen des Experiments (Theorie) auf das Eineinhalbfache und bei der Erstellung und Auswertung der geforderten Diagramme sogar auf das Fünffache an.

In den theoretischen Betrachtungen traten bei fast der Hälfte aller Protokolle zur Aufgabe „Fahrstuhlfahrt“ und bei dreiviertel aller Protokolle zur Aufgabe „Bewegung im Freien“ Fehler auf. Die zweite Experimentierhausaufgabe zeichnet sich durch eine umfangreichere Erarbeitung von theoretischen Grundlagen aus. Es müssen nicht nur mehr Formeln als zuvor erarbeitet werden, sondern das Umstellen und ineinander Einsetzen erhöht den Eigenanteil der Studierenden am Theorieteil des Protokolls deutlich. Dies erklärt auch den Zuwachs von 48 hin zu 72 Fehlern in diesem Protokollbereich. Die theoretischen Betrachtungen der Aufgabe 2 werden von Fehlern zur Umrechnung der Geokoordinaten und dem Erstellen einer zweidimensionalen Bahnkurve dominiert. Dabei gehen viele Studierende fälschlicherweise davon aus, dass Geo- mit Kugelkoordinaten gleichgesetzt werden können, obwohl dies während der Lehrveranstaltungen (Vorlesung und Übung) zuvor behandelt wurde.

Häufig sind in beiden Aufgaben die Gleichungen zu den Umrechnungen der Messergebnisse in die Bewegungsdaten (Weg-Zeit- bzw. Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz) unvollständig. Vor allem in der Aufgabe A2 fällt es vielen Studierenden schwer, in ihren Vorbetrachtungen einen eindeutigen Bezug zur Aufgabenstellung und zum durchzuführenden Experiment herzustellen. Etwa 10% der Studierenden nennen lediglich allgemein gültige Formeln und passen diese nicht an den Sachverhalt und die Messdaten bzw. Messprinzipien des speziellen Experiments mit ihren Smartphones als Messinstrument an.

Das Erstellen der Diagramme stellt vor allem bei der Bearbeitung der Aufgabe „Bewegung im Freien“ eine der größten Fehlerquellen dar. So wurden bei 16% der Protokolle zur Aufgabe A1, aber bei rund 75% der Aufgabe A2 während der Erarbeitung der Diagramme Fehler begangen. Eine Aufstellung der Häufigkeiten der drei Fehlermuster in diesem Protokollbereich findet sich in Tab. 3.

	Aufgabe A1	Aufgabe A2
Die dargestellten Diagramme sind ungenau.	84%	12%
Beschriftung der Achsen und/oder Einheiten fehlt.	16 %	35%
Nicht alle geforderten Diagramme sind vorhanden.	-	50%

Tab. 3: Fehlerquellen beim Erstellen der Diagramme

Mit Hilfe der Daten in Tab. 3 lässt sich der Zuwachs von Fehlern vom ersten zum zweiten Protokoll erklären. Während zur Bearbeitung der Aufgabe „Fahrradfahrt“ lediglich einfache Weg-Zeit-Diagramme erstellt werden müssen, erfordert die Aufgabe „Bewegung im Freien“ das Erarbeiten einer zweidimensionalen Bahnkurve in Parameterdarstellung, welche oft nur unvollständig oder gar nicht in die Protokolle übernommen wurde. Auffällig in der Analyse war, dass die Bahnkurven einzeln als $x(t)$ – und $y(t)$ – Diagramm gezeichnet wurden. Die Berechnung der Positionen in Nord-Süd- und Ost-West Richtung auf der Erdoberfläche konnte von den Studierenden zwar nachvollzogen werden, jedoch fehlt der Schritt hin zur Eliminierung der Zeit in der 2-dimensionalen parameterfreien Darstellung der Bahnkurve. Als Folge kann dann auch die rekursive Herleitung des Weg-Zeit-Diagramms aus der Bahnkurve nicht geleistet werden.

Der Transfer des Lehrinhalts Parameterdarstellung von Bahnkurven, der in den Physik-Vorlesungen Mathematikseminaren des Kurses anhand des schiefen Wurfs zuvor ausführlich erklärt und behandelt wurde, konnte folglich von sehr vielen Studienanfängern an dieser Aufgabe mit realen Messdaten noch nicht angewendet werden. Andererseits sind ca. 25 bis 30 % der Studienanfänger nach Besuch der Lehrveranstaltungen zu dieser eigenständigen Transferleistung durchaus in der Lage.

Des Weiteren stellte die passende Unterteilung der untersuchten Bewegung in entsprechende Intervalle und deren physikalische Interpretation die Studierenden vor erhebliche Probleme. In den meisten Fällen wurde nicht versucht Rückschlüsse auf die Experimentierhypothese zu ziehen. Oft verharren die Studierenden in der Auswertung in der Terminologie der geradlinig, gleichförmigen Bewegung. Sie waren somit nicht in der Lage andere Bewegungsarten in den einzelnen Abschnitten zu finden, zu charakterisieren bzw. mit der physikalisch korrekten Terminologie zu bezeichnen.

5. Diskussion

Die Analyse der circa 200 abgegebenen Experimentierhausaufgaben zeigte, dass die Studierenden Grundfähigkeiten, wie die Handhabung digitaler Werkzeuge zur Messwertaufnahme und deren Analyse schnell entwickeln. Dabei ist die hohe Vertrautheit im Umgang mit den digitalen Endgeräten mit Sicherheit von großer Bedeutung. In der Auswertung der beiden Aufgaben wird zudem ersichtlich, dass die Studierenden einfache physikalische Zusammenhänge, welche nicht deutlich über die Lehrinhalte der Sekundarstufe II hinausgehen, sicher auswerten können. Im Gegensatz dazu fällt der Mehrzahl der Studienanfänger im Lehramt Physik der Transfer neuer physikalischer und mathematischer Konzepte und Begriffe auf reale experimentelle Problemstellungen

sehr schwer. In unserer Auswertung zeigte sich zudem, dass die Planung, die Durchführung und die detaillierte Auswertung von Experimenten vielen Studierenden in beiden Aufgaben sehr schwergefallen ist. Aufgrund der offen gestellten Experimentierhausaufgaben ist diese Tatsache jedoch durchaus zu erwarten gewesen.

Die konzipierten Experimentierhausaufgaben erfordern von den Studierenden eine hohe fachliche Expertise, Kreativität und erste grundlegende Kompetenzen in der Datenauswertung. In diesem Anforderungsprofil unterscheiden sich die Experimentierhausaufgaben sehr von den klassischen Rechenaufgaben, in denen die Studierenden in den meisten Fällen kochbuchartig Probleme bearbeiten und lösen. Besonders auffällig in den untersuchten Protokollen war, dass die Studierenden ihr eigenes experimentelles Handeln, im Sinne einer Reflexionskompetenz, nur schwer hinterfragen und einschätzen können.

6. Rückschlüsse für die Lehre

Die Ergebnisse unserer Untersuchung von zwei Aufgaben aus dem Lehrbereich Kinematik des Massenpunktes verdeutlichen, dass Experimentierhausaufgaben frühzeitig den Transfer von physikalischen Konzepten auf reale Problemstellungen fördern können. Sie zeigen klar auf, dass viele Studienanfänger in der Mechanik erhebliche Probleme beim Anwenden der mathematischen physikalischen Lerninhalte auf reale Experimente haben. Andererseits ist ca. 1/3 der Studierenden schon zu Beginn des Studiums in der Lage, diesen Transferprozess erfolgreich zu meistern. Der zielgerichtete Einsatz von Smartphones und Tablets als Messgeräte in diesen Aufgabenstellungen steigert insbesondere für diese Gruppe der Studierenden die Motivation, das Interesse und den kognitiven Lernerfolg beträchtlich. Als neues, lernerzentriertes Aufgabenformat unterstützen die Experimentieraufgaben somit die Ausbildung von experimenteller Handlungskompetenz schon während des ersten Semesters.

Es zeigte sich, dass zusätzlich extracurriculare Angebote, wie ein Experimentiertutorium, von den Studierenden gut angenommen wurde. Dieses neue Lehrformat ermöglicht den Studierenden gewinnbringend an den Experimentierhausaufgaben zu arbeiten und dabei in den kollaborativen Diskurs zu treten. Somit schaffen die Experimentierhausaufgaben ein lernförderliches Klima und ermöglichen frühzeitig im Studium die Ausbildung von physikalischer Kommunikationskompetenz.

7. Literatur

- [1] Die *phyphox*-Homepage der RWTH Aachen University. Verfügbar unter: <https://phyphox.org/de/home-de> (Stand: 15.05.2021)
- [2] Kaps, A., Rieger, P. und Stallmach F. (2020): Lehren und Lernen mit dem smarten Physiklabor. In: PhyDid B, Didaktik der Physik,

- Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 11 (2020), S. 69-76, Url: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1015/1115> (Stand 4/2021)
- [3] Kaps, A., Splith, T. und Stallmach F. (2021): Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities, *Physics Education*, 56(3), 035004 <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abdee2>
- [4] Stampfer, C., Heinke, H. und Staaks, S. (2020). A lab in the pocket. *Nature Review Materials*, 5(3), S. 169-170. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0184-2>
- [5] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. und Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht - Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen.
- [6] Bitzenbauer, P. und Meyn J.P. (2021): Fostering experimental competences of prospective physics teachers. *Physics Education*. 56 045020. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abfd3f>
- [7] Baumert, J., Kunter, J. und Stichwort M. (2006): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *ZfE* 9, 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- [8] Kalthoff, B., Theysen, H. und Schreiber N. (2018): Explicit promotion of experimental skills. And what about the content-related skills? *International Journal of Science Education*, 40(11), p. 1305-1326 <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1477262>
- [9] Klein, P., Kuhn, J. und Müller, A. (2018): Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik, In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, S. 17-34 <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0070-2>
- [10] Klein, P., Gröber, S., Kuhn, J., Fouckhardt, H., von Freymann, G., Oesterschulze, E., Widera, A., Fleischhauer, A. und Müller, A. (2015): Teaching Experimental Physics by Using Mobile Technologies as Experimental Tools, In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, S. 1-11, <http://www.phydid.de/index.php/phydid/article/view/571>
- [11] Walkowiak, M., Schneeweiß, N., Nehring, A. und Schanze, S. (2018): Potenziale von Mehrmesswerterfassungssystemen im Chemieunterricht. In: *Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht im Zeitalter der Digitalisierung*. S. 55-62.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der ‚STiL-Laboruniversität‘ (10.2018-09.2020) und dem Doktorandenförderprogramm der Universität Leipzig (10.2020 - 09.2022)

für die finanzielle Unterstützung des smarten Physiklabors und des Promotionsvorhabens von Herrn Andreas Kaps.

Wir bedanken uns für die Unterstützung und Beratung bei Prof. Dr. Schöneburg-Lehnert (Didaktik der Mathematik, Universität Leipzig), sowie bei den Studierenden Lehramt Physik für das positive Feedback zu den Experimentierhausaufgaben mit dem smarten Physiklabor.