

Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben

Andreas Kaps* und Frank Stallmach*

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

Kurzfassung

In diesem Beitrag werden das Design und die Ergebnisse einer Pilotstudie vorgestellt, welche die Lernwirksamkeit von Experimentierhausaufgaben mit Smartphones als Messinstrument in der Studieneingangsphase für das Fach Physik untersucht. Die experimentellen Aufgabenstellungen ermöglichen es den Studierenden schon in den ersten Vorlesungswochen selbstständig zu experimentieren, eigens generierte Daten zu analysieren und somit die theoretischen Konzepte aus der Vorlesung kontextorientiert anzuwenden. Die Lernwirksamkeit der Experimentierhausaufgaben wird exemplarisch für einen Themenbereich aus der Rotationsdynamik starrer Körper in der Mechanik mit einer Pre-Post-Test Studie im Interventions- und Kontrollgruppedesign untersucht. Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigen, dass das neue Aufgabenformat für den untersuchten Themenkomplex einen größeren Lernzuwachs bewirkt, als es die klassischen physikalischen Übungsaufgaben ermöglichen.

1. Einleitung

In den letzten Jahren haben sich Smartphones und Tablets mit ihren internen Sensoren als wertvolles didaktisches Medium für physikalische Experimente an Schulen und Universitäten etabliert [1,2]. Der Einsatz von Smartphones als digitales Messinstrument bietet einen kontextorientierten Zugang zu komplexen physikalischen Problemstellungen aus dem realen und täglichen Leben. Durch den gezielten Einsatz von Smartphones und Tablets bietet sich den Lernenden die Möglichkeit ihren Lernprozess adaptiver und multimodaler zu gestalten [1,3]. Anhand dieser sogenannten materiellen Situierung soll im Zusammenspiel mit der erhöhten Authentizität der Problemstellung der kognitive Lernerfolg optimiert werden. Mit der Integration von Smartphones und Tablets in Lehr-Lernszenarien wird den Lernenden zusätzlich die Möglichkeit geboten, selbstständig ihre eigenen Experimente durchzuführen und wenn nötig zu wiederholen bzw. anzupassen [4,5].

Smartphonebasierte Aufgabenstellungen bieten den Lernenden die Chance zeitsynchron zum Experiment die digitale Aufnahme von Messdaten erfahrbar zu machen. Die Daten und Graphen der physikalischen Größen sowie deren Zusammenhänge in Form von Gleichungen sind teilweise sofort verfügbar und müssen nicht im Nachhinein, d.h. asynchron zum Experiment, entwickelt werden. Durch das zeitsynchrone Ablaufen von Experiment und der graphischen Darstellung der gemessenen physikalischen Größen werden die Lernenden kognitiv entlastet, sodass sie ihren Fokus auf die wesentlichen physikalischen Denkprozesse ausrichten können. Durch dieses Zusammenspiel von Theorie und Experiment kann der Lernprozess gewinnbringend unterstützt werden [6-8]. Aufbauend auf diesen lehr-lerntheoretischen

Erkenntnissen werden smartphonebasierte Experimentierhausaufgaben seit dem Jahr 2018 im Lehr-Lern-Projekt *Smartes Physiklabor* an der Universität Leipzig im Bereich Didaktik der Physik entwickelt und im Experimentalphysik-Kurs Mechanik (1. Studiensemester) erprobt. In diesem Projekt werden experimentelle Problemstellungen erarbeitet, welche von den Studierenden mithilfe von digitalen Verfahren mit unterschiedlicher Sensorik gemessen und anschließend ausgewertet werden. Somit werden die Studierenden vorlesungsbegleitend schon während der Experimentalphysik Grundausbildung und nicht erst in den Laborpraktika experimentell tätig. Sie erlernen mit diesen Experimentierhausaufgaben Experimente fachgerecht zu planen, durchzuführen und die erhaltenen Messwerte zu präsentieren sowie zu diskutieren [9,10].

In diesem Beitrag werden die ersten Ergebnisse zur Untersuchung der Lernwirksamkeit von smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben vorgestellt. Am Beispiel einer Aufgabe aus dem Lernbereich Rotation starrer Körper wird in der präsentierten Pilotstudie eine Experimentierhausaufgabe mit einer klassischen physikalischen Übungsaufgabe verglichen. Mit einer Test- und einer Kontrollgruppe wird im Pre-Post-Test-Design die Lernwirksamkeit dieses neuen Aufgabenformates untersucht. Aus den Ergebnissen werden Rückschlüsse für den weiteren Einsatz von smartphonebasierten Experimentieraufgaben in der Lehre und für die Durchführung der Hauptstudie im Wintersemester 2021/2022 gezogen.

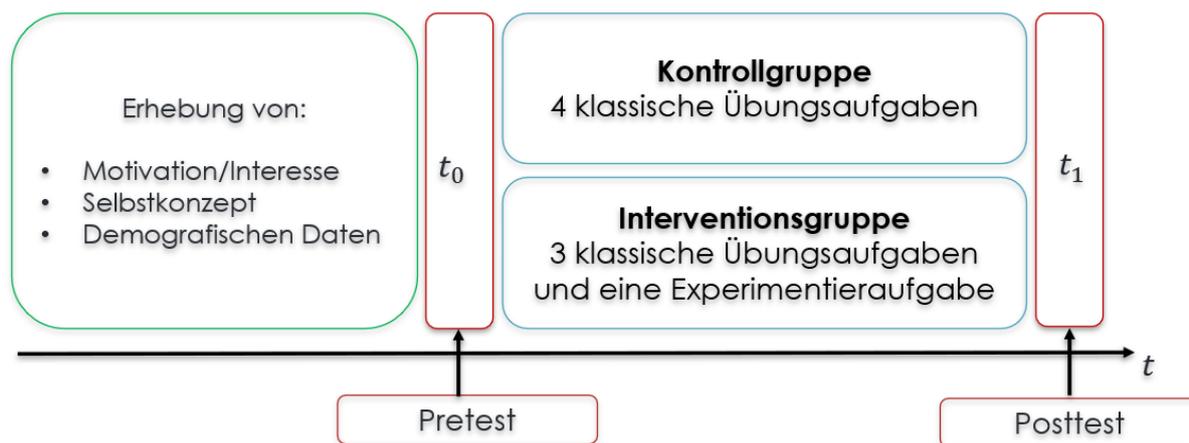


Abb. 1: Design der Pilotstudie aus dem Wintersemester 2020/2021

2. Design und Methoden der Pilotstudie

2.1. Stichprobe

Die Pilotstudie fand an der Universität Leipzig im Wintersemester 2020/2021 mit Studienanfängern in den Studiengängen Lehramt Physik, Physik und Meteorologie im Kurs Experimentalphysik 1 (Mechanik) statt. Aufgrund pandemiebedingter Schutzmaßnahmen wurden die Daten über die Lehr-Lern-Managementplattform MOODLE erhoben. Insgesamt nahmen 153 Studierende (112 männlich/41 weiblich) an allen Tests der Pilotstudie teil. Die Testgruppe setzte sich aus Studierenden des 1. Fachsemesters Lehramt Physik für Gymnasium, Oberschule und Sonderpädagogik zusammen. Die Kontrollgruppe besteht aus den Studierenden des 1. Fachsemesters Physik und Meteorologie.

2.2. Design der Pilotstudie

Das Design der Pilotstudie entspricht einer quasi-experimentellen Feldstudie mit zwei Kohorten und ist in Abb.1 dargestellt. Da die Pilotstudie in der Mitte des Semesters stattfand, war die Testgruppe im Umgang mit dem Smartphone als Messinstrument und der entsprechenden Auswertung der Messdaten schon vertraut. Zusätzlich wurde ein Tutorium angeboten, in dem Studierende Unterstützung bei der Lösung technischer Probleme für die Durchführung des Experiments angeboten wurde.

Die Thematik, um die es sich in dieser Pilotstudie handelt, ist die Rotationsbewegung und die Dynamik starrer Körper. Die Intervention fand in der 7.- 9. Vorlesungswoche statt. Bevor die entsprechenden Übungsblätter an die Studierenden ausgeteilt wurden, wurde ein Pretest zur Erhebung des Vorwissenstandes beider Gruppen durchgeführt (siehe Abb. 1). In der darauffolgenden Woche erhielten die Studierenden beider Gruppen ein Übungsblatt mit drei identischen klassischen physikalischen Übungsaufgaben. Die vierte Aufgabe war die entsprechende Interventionsaufgabe zum kippenden Smartphone. In der Testgruppe handelte es sich dabei um die experimentelle

Aufgabenstellung zum *Kippenden Smartphone* die im Detail in [12] beschrieben ist (siehe Abb. 2). Die Kontrollgruppe bekam einen ausgewerteten Datensatz mit den entsprechenden Aufgaben gestellt. Die Übungsblätter wurden in der Test- und Kontrollgruppe in Einzelarbeit erledigt. Lediglich das smartphonebasierte Experiment in der Testgruppe durfte auch in Partnerarbeit bearbeitet werden.

Die Lösungen wurden von den Studierenden in MOODLE hochgeladen, von den Lehrkräften kontrolliert und bewertet und anschließend in den entsprechenden Übungsgruppen besprochen. Um in der von uns konzipierten Untersuchung den Einfluss der Lehrenden möglichst gut zu kontrollieren, wurden vor der Durchführung konkrete inhaltliche Absprachen bezüglich des Manuskripts und der Experimente in der Vorlesung getroffen. Zugleich wurde der Inhalt der zu bearbeitenden klassischen Übungsaufgaben abgesprochen.

2.3. Instruktionsmaterial

Bei der Konstruktion des Aufgabenpaares (siehe Abb. 2) wurde darauf geachtet, dass an beide Gruppen vergleichbare Anforderungen gestellt werden und sich beide Aufgaben jeweils auf dasselbe physikalische Konzept beziehen und ähnliche mathematische Anforderungen stellen [1-3,10]. Der größte Unterschied zwischen der smartphonebasierten Experimentieraufgabe und der klassischen Übungsaufgaben besteht darin, dass die Studierenden der Testgruppe selbstgenerierte experimentelle Daten nutzen und entsprechend auswerten, während für die Studierenden der Kontrollgruppe das eigenständige Experimentieren entfällt. Sie erhalten einen vorgegebenen Messdatensatz zum Experiment und werten diesen wie eine klassische physikalische Übungsaufgabe aus.

Experimentierhausaufgabe für die Testgruppe:

Zeichnen Sie mit Hilfe des Drehratensensors Ihres Smartphones (z.B. mit der *phyphox*-App-Rohdaten des Gyroskops) die Kippbewegung Ihres Smartphones auf und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Leiten Sie eine Gleichung her, mit der Sie aus den Messdaten das Trägheitsmoment des Smartphones ermitteln können.
2. Beschreiben Sie Ihr experimentelles Vorgehen. Ermitteln und interpretieren Sie das $\omega_y(t)$ -Diagramm der Kippbewegung Ihres Smartphones um die von Ihnen gewählte Kippkante.
3. Berechnen Sie aus den Messdaten das Massenträgheitsmoment J_y Ihres Smartphones.
4. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Berechnung von J_y aus der Geometrie und der Masse Smartphones. Diskutieren Sie kurz mögliche Messunsicherheiten und führen Sie eine Größtfehlerabschätzung durch.

Übungsaufgabe für die Kontrollgruppe:

Mit Hilfe eines Drehratensensors wurde die Kippbewegung eines homogenen Quaders (Abmessungen siehe Tabelle) um eine Achse untersucht. Die Abbildungen zeigen den schematischen Aufbau, sowie das $\omega_y(t)$ -Diagramm der Kippbewegung. Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Leiten Sie eine Gleichung her, mit der Sie aus den Messdaten des $\omega_y(t)$ -Diagramms das Trägheitsmoment des Quaders experimentell ermitteln können.
2. Interpretieren Sie das Diagramm der Kippbewegung des Quaders um die gewählte Kippkante. Geben Sie die maximale Winkelgeschwindigkeit an.
3. Wie in Testgruppe.
4. Wie in Testgruppe.

Abb. 2: Aufgaben für die Kontroll- und die Testgruppe im Vergleich.

2.4. Testinstrumente

Die Instrumente für die in der Pilotstudie erhobenen Daten sind in der Tab. 1 aufgeführt. Zur Messung der kognitiven Variablen des physikalischen Konzeptverständnisses wurde zum Teil auf die Fragen ‚Student understanding of rotational and rolling motion concepts‘ zurückgegriffen [13]. Zusätzlich wurden eigene Fragen aufbauend auf Lehrbüchern konzipiert [14,15]. Die in der Pilotstudie untersuchte Thematik wurde von uns in zwei inhaltliche Schwerpunkte untergliedert, die in den Aufgaben der Test- und Kontrollgruppe (siehe Abb. 2) als inhaltlich neue physikalische Konzepte verstanden und angewendet werden müssen. Den ersten Schwerpunkt stellten die energetischen Betrachtungen bei der Rotation starrer Körper dar. Den zweiten Schwerpunkt bildete die Anwendung des Satz von Steiner zur Bestimmung der relevanten Trägheitsmomente bei Rotationsbewegungen. Sowohl im Pre- als auch im Posttest wurden jeweils 4 Items pro Schwerpunkt eingesetzt.

Die drei nicht-kognitiven Variablen Motivation [16], Interesse [17] und Selbstkonzept [18] wurden über einen online Fragebogen mit einer sechsstufigen Likert Skala gemessen. Zusätzlich wurden die schulischen Vorleistungen, wie die Gesamtnote im Abitur, Teilnahme an Grund- oder Leistungskursen in Mathematik und Physik, sowie die Mathematik- und Physikvornote in der Schule und weitere Daten wie das Geschlecht und das Herkunftsbundesland abgefragt.

| Variable | Anzahl | Einsatz |
|-----------------------------------|--------|-------------------|
| Motivation | 5 | Pretest |
| Interesse | 4 | Pretest |
| Selbstkonzept | 5 | Pretest |
| Physikalisches Konzeptverständnis | 16 | Pre- und Posttest |

Tab. 1: Erhobene Variablen der Pilotstudie

2.5. Analysemethoden

Um die erhobenen Daten auszuwerten, wurden Kovarianzanalysen und t -Tests eingesetzt. Zusätzlich wurde der Lernzuwachs g zwischen Pre- und Posttest berechnet. Dieser als Hake-Index bezeichnete Lernzuwachs setzt den Wert der richtig beantworteten Antworten zu den Zeitpunkten des Pre- und Posttests ins Verhältnis zum maximal möglichen Lernzuwachs zum Zeitpunkt des Pretests (für weitere Informationen dazu siehe Quelle [7] und [9]). Um zu überprüfen, ob die in Kontroll- und Testgruppe unterschiedlichen Aufgabentypen einen nachweisbaren Einfluss auf den Lernzuwachs haben, wurden der Lernzuwachs g mit einer Kovarianzanalyse unter Einbeziehung des Faktors Gruppenzugehörigkeit untersucht [7,19].

| Variable | Testgruppe (Teilnehmer: 58) | | Kontrollgruppe (Teilnehmer: 95) | | t | p |
|----------------|--------------------------------|------|------------------------------------|------|-------|------|
| | MW | SD | MW | SD | | |
| Abiturschnitt | 1,99 | 0,58 | 1,92 | 0,58 | 0,67 | 0,51 |
| Vornote Physik | 11,71 | 2,74 | 11,68 | 3,19 | 0,109 | 0,91 |
| Vornote Mathe | 10,32 | 2,89 | 11,10 | 2,88 | 1,57 | 0,11 |

Tab. 2: Analyse und Vergleich der schulischen Vorleistungen beider Gruppen über einen zweiseitigen t -Test ($df=151$).

3. Ergebnisse

3.1. Vergleichbarkeit der beiden Gruppen

| | Testgruppe | Kontrollgruppe |
|-----------|------------|----------------|
| Männlich | 81 % | 68 % |
| Weiblich | 19 % | 31 % |
| LK Mathe | 71 % | 72 % |
| LK Physik | 48 % | 54 % |

Tab. 3: Vergleich der demografischen Daten der beiden Gruppen

Die Ergebnisse der Erhebung der demographischen Daten beider Gruppen aus einer Umfrage (gemäß Selbstauskunft) sind in Tab. 3 dargestellt. Die Daten zeigen, dass die große Mehrheit der Studierenden beider Gruppen einen Matheleistungskurs besuchte (> 70%). Etwa jeder Zweite hat an einem Leistungskurs im Fach Physik teilgenommen. Damit sind die durchschnittlichen Vorkenntnisse aus der Sekundarstufe II für beide Kohorten als vergleichbar einzuschätzen. Lediglich in der Zusammensetzung unterscheiden sich beide Gruppen stärker. So sind in der Testgruppe 81 % der Studierenden männlich. In der Kontrollgruppe im Gegensatz dazu nur 68%.

| | Motivation/ Interesse | | Selbstkonzept | |
|----------------|--------------------------|------|---------------|------|
| | MW | SD | MW | SD |
| Testgruppe | 4,52 | 1,15 | 4,29 | 1,09 |
| Kontrollgruppe | 4,38 | 1,16 | 4,43 | 1,08 |
| t | 0,72 | | 1,46 | |
| p | 0,57 | | 0,29 | |

Tab. 4: Vergleich beider Gruppen hinsichtlich Motivation, Interesse und Selbstkonzept. Gemessen mit 6-stufiger Likert Skala.

In Tab.2 wurden die Daten der Studierenden zu ihren Gesamtqualifikationen aus dem Abitur verglichen. Die Studierenden beider Gruppen weisen in der Gesamtqualifikation und in den Mathematik- sowie Physiknoten ähnlich gute bis sehr gute Vorleistungen auf. Es zeigte sich, dass entsprechend unseren Annahmen beide Gruppen bezüglich ihrer schulischen

Vorleistungen als homogen anzusehen sind und kein signifikanter Gruppenunterschied besteht. Auch aus der Analyse zu den Variablen Motivation, Interesse und Selbstkonzept ergibt sich kein systematischer Gruppenunterschied, wie die Daten in Tab. 4 zeigen.

3.2. Lernwirksamkeit

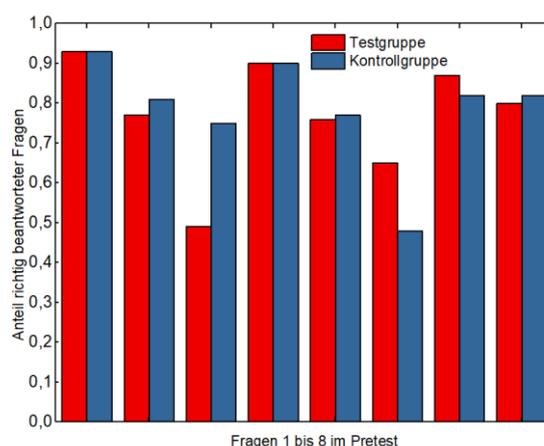


Abb. 3: Anteil richtig beantworteter Fragen der Studierenden beider Gruppen im Pretest.

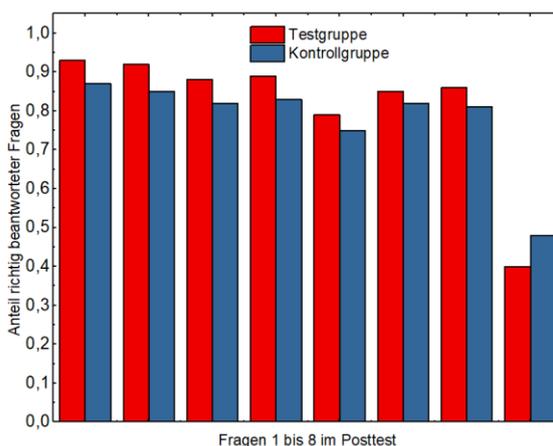


Abb. 4: Anteil richtig beantworteter Fragen der Studierenden beider Gruppen im Posttest.

Abb. 3 und Abb. 4 vergleichen die Anteile der jeweils richtigen Antworten beider Gruppen im Pre- und Posttest für die acht Testitems. Während im Pretest der Testgruppe 78 % richtige Antworten gegeben wurden, sind es in der Kontrollgruppe mit 79 % im Mittel etwa genauso viele. Im Posttest erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Antwort auf 83%

für die Testgruppe und auf 81% für die Kontrollgruppe. Aus den Daten wird ersichtlich, dass beide Gruppen ihre Leistung steigern konnten. Die Kontrollgruppe erreichte jedoch einen etwas größeren Lernzuwachs als die Testgruppe.

Um die Lernwirksamkeit der smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben zu untersuchen, wurde aus den Daten des Pre- und Posttests der Hake-Index g_i für jeden Teilnehmer der Studie gebildet. Tab. 5 stellt den gemittelten Lernzuwachs g beider Gruppen dar. Für die Testgruppe ergibt sich ein doppelt so großer Lernzuwachs wie für die Kontrollgruppe. Der errechnete Lernzuwachs wurde zusätzlich mittels einer Kovarianzanalyse untersucht ($p < 0,05$). Als einziger Faktor wurde dabei die Gruppenzugehörigkeit mit in Betracht gezogen. Es zeigte sich, dass sich der Lernzuwachs beider Gruppen signifikant unterscheidet (siehe Tab. 5).

| | Testgruppe | Kontrollgruppe |
|-----------------|------------|----------------|
| Hake Index g | 0,19 | 0,09 |
| Signifikanz p | 0,027 | |

Tab. 5: Vergleich des Lernzuwachses beider Gruppen mittels Kovarianzanalyse und dem Faktor der Gruppenzugehörigkeit

4. Diskussion

Die Pilotstudie zu den smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben zeigte, dass das neue Aufgabenformat eine gute Alternative zu den klassischen physikalischen Übungsaufgaben darstellt. Der erzielte Lernzuwachs g der Testgruppe steht in einem guten Verhältnis zu dem für traditionelle Lehrformate ($g \approx 0,2$). Es hat sich gezeigt, dass der große Vorteil der vorgestellten Experimentierhausaufgabe darin besteht, dass sie es ermöglicht erste praktische experimentelle Tätigkeiten schon während des Semesters zu integrieren. Die Studierenden werden somit schon frühzeitig mit den integralen experimentellen Fähigkeiten und Fertigkeiten konfrontiert, welche sie in den späteren Modulen und Veranstaltungen immer wieder benötigen werden [7,20].

Der größte Unterschied zwischen der smartphonebasierten Experimentierhausaufgabe der Testgruppe und der klassischen Übungsaufgabe für die Kontrollgruppe besteht darin, dass die Studierenden der Testgruppe selbstgenerierte experimentelle Daten nutzen und entsprechend auswerten, während für die Studierenden der Kontrollgruppe das eigenständige Experimentieren entfällt. Sie erhalten einen vorgegebenen Messdatensatz zum Experiment und werten diesen wie eine Übungsaufgabe aus (siehe Abb. 2). Als großen Vorteil zeigt sich hier, dass das Zusammenspiel von Theorie und Experiment für die Testgruppe zeit-synchron einhergeht und so die Studierenden sofort erkennen können, ob mögliche Modelle und Gleichungen an ihre Daten passen oder nicht. Dieser

praxisgeleitete Erkenntnisprozess findet für die Kontrollgruppe in der klassischen Übungsaufgabe so nicht statt.

Die smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben können aufgrund einer weiten Verbreitung von Smartphone und Tablets eine gute methodische Alternative für den Einsatz in der Lehre an Hochschulen und auch Schulen sein. Sie haben den Vorteil, dass sie nahezu problemlos in die regulären Übungsblätter und den regulären Übungsbetrieb an den Universitäten eingebunden werden können.

5. Ausblick

Im kommenden Wintersemester 2021/2022 wird die Hauptstudie zu der hier vorgestellten Pilotstudie stattfinden. Sie wird auf zwei weitere Themenkomplexe mit smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben ausgeweitet. Zudem werden wir die eingesetzten Items inhaltlich überarbeiten, um die Reliabilität und die Güte der von uns erhobenen Daten zu stärken.

6. Literatur

- [1] Kuhn, J. und Vogt, P. (2019): Physik ganz Smart, Springer-Verlag GmbH Deutschland
- [2] Bastian, J. und Aufenanger, S. (2017): Tablets in Schule und Unterricht, Springer Fachmedien Wiesbaden
- [3] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W. und Vogt, P. (2010): Kontextorientierter Physikunterricht: Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 5(59), 13–25.
- [4] Klein, P., Kuhn, J. und Müller, A. (2017): Experimente mit Smartphone und Tablet-PC: Analyse leistungsbezogener Antwortsicherheiten im Physikstudium. In: Bastian, J., Aufenanger, S. (2017): *Tablets in Schule und Unterricht*, Springer Fachmedien Wiesbaden
- [5] Ryan, R. M. und Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(2000), 68–78
- [6] Klein, P., Kuhn, J., Müller, A. und Gröber, S. (2015). Video analysis exercises in regular introductory mechanics physics courses: Effects of conventional methods and possibilities of mobile devices. In Schnotz, W., Kauertz, A., Ludwig, H., Müller, A. und Pretsch, J.: *Multidisciplinary research on teaching and learning* (S. 270–288). Basingstoke: Palgrave Macmillan
- [7] Klein, P., Kuhn, J. und 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.
- [8] Becker, S., Klein, P., Göbbling, A. und Kuhn, J. (2019). Förderung von Konzeptverständnis und Repräsentationskompetenz durch Tablet-PC-

- gestützte Videoanalyse: Empirische Untersuchung der Lernwirksamkeit eines digitalen Lernwerkzeugs im Mechanikunterricht der Sekundarstufe 2. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25(1), 1–24
- [9] Kaps, A., Splith, T. und Stallmach F. (2021): Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities, *Physics Education*, 56(3), 035004
- [10] 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)
- [11] Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. und Stampfer, C. (2018): Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*. 53(2) 045009
- [12] Kaps, A. und Stallmach, F. (2020) Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone. *The Physics Teacher*, 58(3), 214 – 215
- [13] Rimoldini, L., und Singh, C. (2005). Student understanding of rotational and rolling motion concepts. *Physical Review Special Topics: Physics Education Research*. 1. 10.1103/PhysRevSTPER.1.010102.
- [14] Tipler, P.A. und Mosca, G. (2018): *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [15] Demtröder W. (2018): *Experimentalphysik I - Mechanik und Wärme*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [16] Kuhn, J. und Müller, A. (2014): Context-based science education by newspaper story problems: a study on motivation and learning effects. *Perspectives in Science*, 2(1–4), 5–21.
- [17] Litman, J. A., und Spielberger, C. D. (2003): Measuring epistemic curiosity and its diversive and specific components. *Journal of Personality Assessment*, 80(1), 75–86
- [18] Helmke, A. (1992). Determinanten der Schulleistung: Forschungsstand und Forschungsdefizit. In Nold G. (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien* (S. 23–34). Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- [19] Döring, N. und Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [20] Coletta, V.P., Phillips, J. A. und Steinert, J. J. (2007): Interpreting force concept inventory scores: normalized gain and SAT scores. *Physical Review Physics Education Research*.

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 dieser Studie bei Prof. Dr. Schöneburg - Lehnert (Didaktik der Mathematik, Universität Leipzig), Frau Prof. Dr. Schnohr, Herrn PD Dr. von Wenckstern (beide Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik, Universität Leipzig), sowie bei den Studierenden des 1. FS Lehramt Physik und Bachelor Physik für die aktive Teilnahme an der Studie und das positive Feedback zu den Experimentierhausaufgaben mit dem smarten Physiklabor.

Danksagung