

Hochschuldidaktischer Vergleich von smartphonebasierten Experimentierhausaufgaben und klassischen Übungsaufgaben

Andreas Kaps* und Frank Stallmach*

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

Kurzfassung

Smartphonebasierte Experimentieraufgaben wurden als Teil der wöchentlichen Hausaufgaben in einem einführenden Mechanikkurs an der Universität eingesetzt und im Rahmen einer quasi-experimentellen Feldstudie im zwei Kohorten Design mit klassischen algorithmischen Übungsaufgaben verglichen. Die Auswirkungen des jeweiligen Aufgabentyps auf Motivation, Interesse und konzeptionelles Verständnis der Studierenden wurden gemessen. Die empirischen Ergebnisse zum Lernerfolg zeigen einen signifikant positiven Einfluss der smartphonebasierten Aufgabe zur Thema Dynamik starrer Körper mit einer mittleren Effektgröße von $d = 0,42$. Für das Thema Analyse von Drehbewegungen konnte ein positiver Lernerfolg für beide Gruppen nachgewiesen, wobei die Effektgröße der smartphonebasierten Experimentieraufgabe mit $d = 0,20$ nur geringfügig besser als die der klassische Übungsaufgabe ist. Die extrinsische kognitive Belastung in der Interventionsgruppe mit den smartphonebasierten Aufgabenstellung zeigte sich als signifikant geringer, was als Grund dafür angenommen wird, dass die komplexere experimentelle Aufgabenstellung das konzeptionelle Verständnis der Studierenden fördern können.

1. Einleitung

Smartphones sind aus dem Leben der Lernenden und der Lehrenden an Schulen und Universitäten nicht mehr wegzudenken. Durch die Vielzahl an integrierten Sensoren wird es insbesondere in der Physik immer häufiger als digitales Messinstrument zur Erfassung physikalischer Phänomene genutzt. Deshalb sind in den letzten Jahren eine Reihe von Softwareanwendungen (im Folgenden nur noch als "App" bezeichnet) für die Nutzung von Smartphones oder Tablets als Lehr-Lern-Medien entwickelt worden. Für den Bereich Lernen und Lehren in der Physik lassen sich hier die Apps Andro Sensor, Sensor Kinetics Pro, Physics Toolbox oder phyphox nennen [1-3].

Auslöser für diese Erweiterung von Aufgabenstellungen in der universitären Physiklehre sind die Lernerfolge der Lernenden, welche durch das Experimentieren mit dem Smartphone erzielt und überwiegend positiv in der Literatur diskutiert werden [4-13]. Hochberg et al. (2020) zeigten, dass der Einsatz von Smartphones und Tablets zu einem signifikant höheren Lernerfolg beiträgt [5]. Mazella und Testa (2016) konnten belegen, dass smartphonebasierte Aufgabenstellungen für das Konzept der Beschleunigung ein effektiver Ersatz traditioneller Lehr-Lern-Settings sein können und eine wertvolle Ergänzung darstellen, um experimentelles Arbeiten zu verstärken [13]. Sokolov et al. (2007) zeigten, dass ein computergestützter Zugang zu experimentellen Aufgabenstellungen es den Studierenden ermöglicht, sich ein kohärentes physikalisches Konzeptverständnis aufzubauen und dabei gleichzeitig traditionelle experimentelle Fähigkeiten zu erwerben [14]. Wieman und Holmes (2015)

hingegen sehen die Lernwirksamkeit und die Effektivität experimenteller Aufgabenstellungen in der Studieneingangsphase kontrovers und argumentieren, dass praktische Fähigkeiten nicht signifikant zum besseren Verstehen der fachlichen Inhalte beitragen [15,16].

Im Rahmen dieses vieldiskutierten Themas hat sich der Bereich der Didaktik der Physik in mehreren Lehr-Lern-Projekten der Entwicklung und didaktischen Analyse smartphonebasierter Aufgabenstellungen gewidmet [17]. Ab dem Jahr 2020 förderte die Universität Leipzig das Smarte Physiklabor über das Doktorandenförderprogramm, sodass die Vorbereitung und die Durchführung einer empirischen Lernwirksamkeitsstudie vorangetrieben werden konnte. Die Studie wurde im Frühjahr 2022 erfolgreich abgeschlossen. Ihre Ergebnisse wurden teilweise in den Arbeiten [18,19] bereits publiziert. Sie werden in diesem Beitrag und zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

2. Studiendesign und Methodik

2.1 Design der Vergleichsstudie

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Präpilotierungsphase (siehe Ref. [20]) fand die Hauptstudie zur Lernwirksamkeit im Wintersemester 2021/22 an der Universität Leipzig statt. Es nahmen 85 Erstsemesterstudierende aus den Studiengängen Lehramt Physik sowie Bachelor of Science Physik und Meteorologie im Kurs Experimentalphysik 1 (Mechanik) teil. Die Interventionsgruppe bildeten die Studierenden des Lehramts Physik. Die Kontrollgruppe bestand aus den Studierenden des 1. Fachsemesters Bachelor of

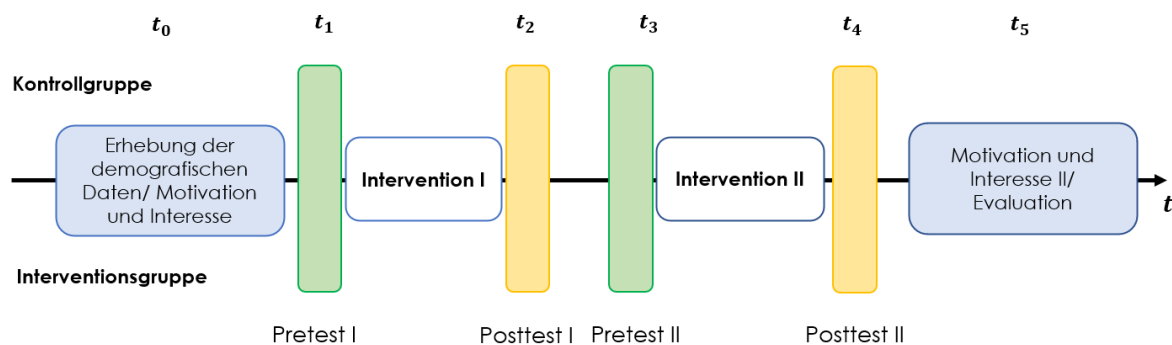


Abb. 1: Ablauf der empirischen Vergleichsstudie zu den smartphonebasierten Experimentieraufgaben im Wintersemester 2021/22.

Science Physik und Bachelor of Science Metrologie. Das Design der Untersuchung ist in Abb. 1 dargestellt.

2.2 Erhobene Variablen und Messinstrumente

Zu Beginn der Studie wurden mittels einer Umfrage die demografischen Daten der beiden Kohorten erhoben. Die Umfrage fand online über die Lehr-Lern-Management-Plattform MOODLE der Universität Leipzig statt. In dieser Umfrage wurden zugleich die Motivation und das Interesse für das Studium erhoben. Gegenstand der Studie waren zwei Themenschwerpunkte aus dem Kurs Experimentalphysik 1 - Mechanik: Analyse von Drehbewegungen (Intervention I) und die Dynamik starrer Körper (Intervention II). In der ersten Intervention der Analyse von Drehbewegungen auf Kreisbahnen, ermittelten die Studierenden die Lage des MEMS-Sensors im Smartphone. In der zweiten Intervention aus den Lehrbereichen Dynamik starrer Körper und der Erhaltung der mechanischen Gesamtenergie ermittelten die Studierenden das Trägheitsmoment ihres Smartphones aus seiner Kippbewegung [20].

Die Studie fand von der vierten bis zur zehnten Vorlesungswoche im Mechanikkurs statt (siehe Abbildung 1). Bevor die Studierenden die jeweiligen Übungsblätter mit den entsprechenden Aufgaben der Interventionen erhielten, wurde ein Pretest zur Erhebung des Vorwissensstandes beider Gruppen bezüglich jeder der Thematiken durchgeführt. In der darauffolgenden Woche erhielten die Studierenden beider Gruppen ein Übungsblatt mit vier Aufgaben. Drei der Aufgaben, klassische algorithmische Übungsaufgaben aus der Physik, waren identisch. Die vierte Aufgabe war die entsprechende Interventionsaufgabe. In der Interventionsgruppe handelte es sich dabei um die smartphonebasierten experimentellen Aufgabenstellungen zur Analyse von Drehbewegungen (Intervention I) und zur Dynamik starrer Körper (Intervention II). Der Kontrollgruppe wurde jeweils eine inhaltlich ähnliche algorithmische Übungsaufgabe gestellt. Die Aufgaben sind mit ihren Erwartungsbildern in den Publikationen [18,19] detailliert vorgestellt.

Das smartphonebasierte Experiment in der Interventionsgruppe wurde zu zweit bearbeitet, alle anderen Aufgaben in beiden Gruppen wurden in Einzelarbeit bearbeitet. Nach Abgabe der Lösungen durch die Studierenden erfolgte ein Posttest zur Messung des Wissenszuwachses. Sowohl der Pre- als auch der Posttest wurden dabei über die Lernmanagementplattform MOODLE durchgeführt und waren Bestandteil eines Übungsblattes der jeweils folgenden Woche. Zum Abschluss der Studie nahmen die Studierenden nochmals an einer Befragung über MOODLE teil, in der die Motivation und das Interesse der Studierenden für ihr Studium nochmals gemessen wurde, um den Einfluss der beiden Interventionen auf diese Variablen für beiden Gruppen zu erfassen. Zusätzlich wurden Fragen zur wahrgenommenen kognitiven Belastung der Studierenden durch die Bearbeitung der entsprechenden Aufgabenstellung gestellt. Einen Überblick über die verwendeten Fragen und die entwickelten Aufgabenstellungen gibt das folgende Unterkapitel.

2.3 Instruktions- und Testmaterialien

Für die Abfrage der Motivation und des Interesses der Studierenden wurden validierte Testinstrumente adaptiert und mittels einer vierstufigen Likert-Skala gemessen. Alle verwendeten Items bezogen sich nicht nur auf spezielle Inhalte des Moduls, sondern auch auf die Physik als Fach im Allgemeinen. Das Interesse wurde in beiden Umfragen mit sieben Items und mit einer vierstufigen Likert-Skala gemessen, die ebenfalls aus einem bewährten Testinstrument adaptiert wurden [22].

Für die kognitive Belastung wurde ein Testinstrument verwendet, welches eine Unterteilung in die drei entsprechenden Kategorien der Cognitive Load Theory zulässt. Die in der Originalarbeit zugehörige zehnstufige Likert-Skala wurde zu einer sechsstufigen Skalierung modifiziert [23].

Einen Überblick über die verwendeten Items und die Skalenreliabilität liefert Tab. 1.

	Einsatz	Anzahl	Cronbachs α
Interesse	t_0	7	0,77
	t_5	8	0,75
Motivation	t_0	6	0,78
	t_5	7	0,79
Cognitive Load	t_5	7	0,78

Tab. 1: Überblick über die verwendeten Testinstrumente in der Vergleichsstudie im

Um den Lernzuwachs in den einzelnen Lernphasen zu ermitteln, wurden für beide Themengebiete jeweils Pre- und Posttests im Multiple-Choice-Design entwickelt, mit welchen das physikalische Konzeptverständnis gemessen wurde. Die Leistungstests hatten neun bzw. zehn Fragen und befassten sich mit den wichtigsten inhaltlichen Konzepten der jeweiligen Themenbereiche. Um die Validität der Pre- und Posttests zu steigern, wurden auch hier validierte Testinstrumente adaptiert. Tab. 2 liefert einen Überblick über die Skalenreliabilität sowie die mittlere Itemschwierigkeit der Pre- und Posttests. Die Tab. 2 zeigt, dass die verwendeten Items mittlere bis hohe Schwierigkeitsindizes ($0,4 < p_i < 0,8$) aufweisen und somit als Testinstrument gut geeignet sind [24].

	Cronbachs α	Itemschwierigkeit p_i (gemittelt)
Intervention I: Analyse von Drehbewegungen		
t_1	0,70	0,62
t_2	0,71	0,64
Intervention II: Dynamik starrer Körper		
t_3	0,70	0,68
t_4	0,75	0,69

Tab. 2: Überblick über die verwendeten Konzeptfragen und die dazugehörige Itemanalyse.

Um die Daten aus den Konzepttests auszuwerten und den Lernzuwachs zu quantifizieren, wurde der Hake Index g zwischen Pre- und Posttest berechnet.

Dieser skaliert den Anteil der richtig beantworteten Antworten zu den Zeitpunkten des Pre- und des Posttests [25]. Dabei wird das Verhältnis des maximal

möglichen Lernzuwachses zum Zeitpunkt des Pretests durch die Differenz der Leistung der Studierenden von Post- und Pretest dividiert. Um zu überprüfen, ob die in Kontroll- und Interventionsgruppe unterschiedlichen Aufgabentypen einen nachweisbaren Einfluss auf den Lernzuwachs hatten, wurde der Lernzuwachs g mittels Kovarianzanalysen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit untersucht und die Effektstärken mit dem Cohen's d berechnet.

2.4 Aufgabenstellungen für Interventions- und Kontrollgruppe

Bei der Konstruktion der Aufgaben für die Interventions- und Kontrollgruppe wurde darauf geachtet, dass an beide Gruppen vergleichbare Anforderungen gestellt wurden. Beide Aufgaben bezogen sich jeweils auf dasselbe physikalische Konzept und stellten ähnliche mathematische Anforderungen. Der größte Unterschied zwischen der Experimentierhausaufgabe und der Rechenaufgabe bestand darin, dass die Studierenden der Interventionsgruppe selbst erhobene experimentelle Daten nutzten und diese entsprechend analysierten. Für die Studierenden der Kontrollgruppe entfiel die eigenständige experimentelle Arbeit. Sie erhielten eine klassische algorithmische Übungsaufgabe, bei der alle notwendigen Zahlenangaben bzw. Werte der physikalischen Größen in der Aufgabenstellung inkludiert waren.

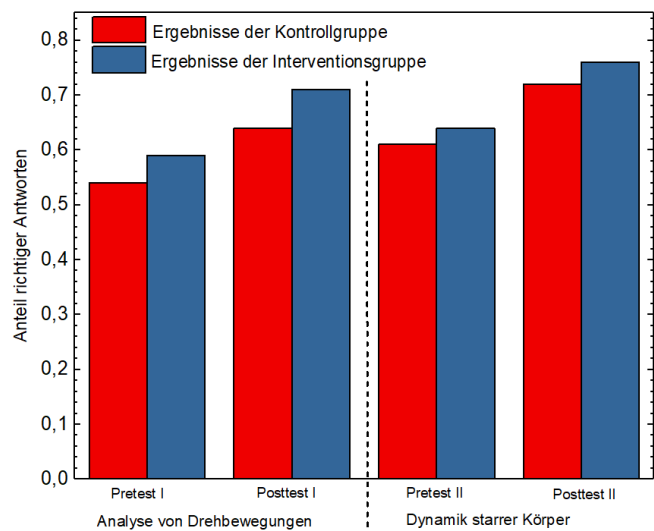


Abb. 2: Darstellung der Ergebnisse aus den Pre- und Posttests für Intervention I und Intervention II der Vergleichsstudie aus dem Wintersemester 2021/22. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe sind rot dargestellt, die der Interventionsgruppe blau.

Variable		Interventionsgruppe $N = 40$		Kontrollgruppe $N = 45$		t	p
		\bar{x}	δ	\bar{x}	δ		
Interesse	t_0	2,15	0,81	2,11	0,84	0,24	0,42
	t_5	1,97	0,68	1,82	0,69	0,97	0,16
Motivation	t_0	2,09	0,72	1,99	0,68	0,63	0,26
	t_5	2,25	0,74	2,09	0,73	0,97	0,17
Kognitive Belastung	t_5	-	-	-	-	-	-
Intrinsische Belastung		3,06	0,94	3,18	1,03	0,55	0,29
Extrinsische Belastung		3,61	1,33	3,12	1,13	1,80	0,04
Lernrelevante Belastung		2,03	0,56	2,01	0,73	0,13	0,45

Tab. 3: Entwicklung der Mittelwerte \bar{x} und Standardabweichungen δ von Motivation, Interesse und kognitiven Belastungen im Verlauf der Studie für beide Gruppen verglichen mit einem einseitigen t -Test einschließlich Angabe der Signifikanz p . Die Zeitangaben beziehen sich auf den Ablauf der Studie aus Abbildung 1.

3. Studienergebnisse aus dem Wintersemester 2021/22

Die Daten in Tab. 3 zeigen für die Motivation und das Interesse keine signifikanten Unterschiede zwischen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe. Für beide Gruppen wurde jedoch eine leichte Zunahme bei beiden Lernvariablen über die Dauer der Studie festgestellt. Die Daten für die intrinsische und die lernrelevante kognitive Belastung verhalten sich für beide Gruppen ebenfalls ähnlich und weisen keine signifikanten Unterschiede auf. Die extrinsische kognitive Belastung, welche durch die smartphonebasierten Experimentieraufgaben bei den Studierenden der Interventionsgruppe hervorgerufen wurde, ist jedoch signifikant geringer als bei den Studierenden der Kontrollgruppe, welche die klassischen Übungsaufgaben bearbeiteten ($p < 0,05$). Für die Untersuchung der Lernleistung wurde der Hake-Index g_i für alle Studierenden der Studie aus den Daten des Pre- und des Posttests berechnet. Die Abb. 2 zeigt den Vergleich der erbrachten Leistungen beider Gruppen in den Pre- und Posttests für beide Themenschwerpunkte.

Die Daten der Pre- und Posttests zeigen, dass die Interventionsgruppe mit den smartphonebasierten Experimentieraufgaben in beiden Interventionen bessere Ergebnisse erzielt als die Kontrollgruppe. Aus dem Anteil der richtig beantworteten Fragen in den Pre- und Posttests beider Interventionen wurde jeweils der Hake-Index g ermittelt. Die Auswertung hat ergeben, dass bei der Intervention I (Analyse von Drehbewegungen) kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand. Stattdessen zeigte sich, bei der Intervention II (Dynamik starrer Körper) ein Unterschied beider Gruppen zu Gunsten der Interventionsgruppe.

Bei der Intervention I zeigte sich für beide Gruppen ein leichter Lernzuwachs, ohne dass ein signifikanter Gruppenunterschied festgestellt werden konnte ($p > 0,05$; Cohen's $d = 0,20$). In der Intervention II wurde ein signifikant höherer Lernzuwachs für die Interventionsgruppe nachgewiesen ($p < 0,05$). Auch die Effektstärke der smartphonebasierten Aufgaben ist mit $d = 0,42$ deutlich größer einzuschätzen als für den Untersuchungsschwerpunkt der Analyse von Drehbewegungen (siehe Abb. 2).

Es ist davon auszugehen, dass die geringere extrinsische kognitive Belastung der Lernenden bei den smartphonebasierten Experimentieraufgaben (siehe Tab. 3) der Grund für den höheren Lernzuwachs ist. Die Lernenden der Interventionsgruppe sind zum Zeitpunkt der Interventionen bereits damit vertraut, ihre Smartphones als Messgeräte in physikalischen Experimenten zu nutzen. Sie lernten somit effektiver im Mechanik-Kurs als Lernende, die nur traditionelle Paper-Pencil-Tests im Rahmen der wöchentlichen Hausaufgaben lösten.

Es hat sich gezeigt, dass die Effektstärke und der Lernzuwachs stark von der untersuchten Thematik und von der Aufgabe selbst abhängen. Die Analyse von Drehbewegungen, Schwerpunkt der Intervention I, wird bereits in vielen Physikkursen der Sekundarstufe II behandelt. Anders als die Dynamik starrer Körper (Intervention II) ist dieses Thema für die Lernenden beider Gruppen nicht völlig neu. Da die physikalischen Konzepte der Intervention II den Studierenden im Einführungskurs Mechanik zum ersten Mal vermittelt wurden, konnten diese nicht durch Präkonzepte aus der Schule überlagert werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich die lernfördernde Wirkung smartphonebasierter Experimentieraufgaben in der Intervention II deutlicher zeigt.

4. Zusammenfassende Diskussion aller durchgeführten Studien zu den smartphonebasierten Experimentieraufgaben

Alle Daten zum Lernzuwachs durch den Einsatz smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben im Kurs Experimentalphysik Mechanik, die im Rahmen unserer Lehr-Lern-Projekte zum Smarten Physiklabor mittels empirischer Studien erhoben wurden, sind in Tab. 4 zusammengefasst. Der in den Studien gemessene Hake-Index für die smartphonebasierte Experimentieraufgabe zur Analyse von Drehbewegungen (Intervention I, in der Vergleichsstudie vom WiSe 2021/22, Spalte IG) liegt in dem Bereich, der für traditionelle Lehrformate $g \approx 0,20$ erwartet wird. Hake definiert dabei ein traditionelles Lehrformat als die frontal unterrichtete Vorlesung mit den dazugehörigen kalkülmäßigen, algorithmischen Übungsaufgaben. Aus diesem Grund unterscheidet sich der ermittelte Hake-Index auch nicht signifikant von dem Lernzuwachs der Kontrollgruppe, die nur die klassischen Übungsaufgaben (also ein traditionelles Lernformat) bearbeitet hat.

Zeitpunkt	Gruppe	Intervention I	Intervention II
2019/20	IG	0,31	-
	KG	-	-
2020/21	IG	0,19	-
	KG	0,09	-
2021/22	IG	0,28	0,19
	KG	0,08	0,11

Tab. 4: Vergleich der Hake-Indizes g für die Interventions- (IG) und Kontrollgruppe

Für die Experimentieraufgabe zur Dynamik Starrer Körper (kippendes Smartphone) wurde im Wintersemester 2019/20 ein Hake-Index von $g = 0,31$ gemessen [17,20]. Diese erste empirische Untersuchung fand allerdings noch ohne Kontrollgruppendesign und ohne validiertes Testinstrument statt. Ab dem Wintersemester 2020/21 wurden die Untersuchungen mit einer Interventions- und Kontrollgruppe durchgeführt. Dabei zeigten sich in beiden Vergleichsstudien signifikante Gruppenunterschiede und ein höherer Lernzuwachs bei den Studierenden mit den smartphonebasierten Experimentieraufgaben.

Der Hake-Index der Interventionsgruppe ist zweimal bzw. dreimal so hoch wie der in der Kontrollgruppe. Mit $g = 0,28$ wurde im Wintersemester 2021/22 ein

höherer Lernzuwachs gemessen, als es von traditionellen Lehrformaten erwartet wird [18,19]. Dieser Wert reicht allerdings noch nicht an den Bereich für aktivierende Lernformate heran ($g = 0,48 \pm 0,14$), welcher von Hake (1998) publiziert wurde und von Riegler und Kautz für die aktuelle Physikausbildung bestätigt werden konnte [26,27].

In den vorgestellten Untersuchungsergebnissen von Hake wurden traditionelle Lehrveranstaltungen, also Vorlesungen, welche die klassischen formalen Rechenaufgaben einsetzen, hinsichtlich des konzeptionellen Verständnisses der Studierenden, mit Lehrveranstaltungen, die Interactive-Engagement-Lehrformate einsetzen (bspw. Flipped Classroom oder Peer-Instruction) verglichen. In einer Lehrveranstaltung mit Interactive-Engagement setzen sich die Lernenden selbstständig und aktiv mit den Begriffen und Konzepten auseinander, erarbeiten sich die Inhalte teils selbst und die Lehrenden nehmen eher die Rollen von Moderatoren ein. In den empirischen Vergleichsstudien unserer smartphonebasierten Experimentieraufgaben wurden einzelne Aufgaben einer wöchentlichen Übungsserie ersetzt und der Einfluss des verwendeten Aufgabentyps auf die Lernleistung der Studierenden untersucht. Aus diesem Grund sind die Werte der vorgestellten Studienergebnisse nur bedingt mit den Daten von Hake vergleichbar. Sie belegen allerdings, dass die smartphonebasierten Experimentieraufgaben ein neues, aktivierendes Aufgabenformat darstellen, die es tendenziell ermöglichen, höhere Lernerfolge bei den Studierenden zu erzielen, als es durch klassischen Paper-Pencil-Tests erwartet wird.

Die lernförderliche Wirkung der smartphonebasierten Experimentieraufgaben resultiert aus deren didaktischer Gestaltung. Indem das Smartphone in den Problemlöse- und Arbeitsprozess integriert wird, werden die Lernenden kognitiv aktiviert und zugleich entlastet. Die Verwendung der App phyphox ermöglicht es, die Messdaten aus dem Experiment kohärent, visuell und textbasiert darzustellen, was die beiden Eingangskanäle des menschlichen Arbeitsgedächtnis entsprechend aktiviert. Durch das zeitsynchrone Vorhandensein der Aufgabenstellung sowie die Darstellung der Messwerte in Graphen erhöht sich die Elementinteraktivität im Arbeitsprozess, welche durch die Aufgabenstellung hervorgerufen wird [28,29]. Durch die höhere Elementinteraktivität wird die lernirrelevante kognitive Belastung minimiert, wodurch mehr kognitive Ressourcen für die aktive Wissensgenerierung zur Verfügung stehen. Das stellt einen großen Vorteil gegenüber den klassischen algorithmischen Übungsaufgaben dar.

Die smartphonebasierten Aufgabenstellungen haben auch Nachteile gegenüber den klassischen Übungsaufgaben. In der Anfangsphase des Lernprozesses in einem Themenbereich ist es essenziell für die Studie-

renden, zuerst die physikalischen und mathematischen Grundkonzepte zu verstehen und diese sicher in Grundroutinen anzuwenden. Dafür sind die Experimentieraufgaben nicht geeignet. Nachdem die neuen Konzepte, Begriffe und Theorien gefestigt und verstanden worden sind, ist es sinnvoll, eine smartphonebasierte Experimentieraufgabe als Anwendungs- bzw. Problemlöseaufgabe zu stellen, um das Wissen zu vertiefen und entsprechend zu vernetzen.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Lehrkonzept des Smarten Physiklabors und zum Einsatz von smartphonebasierten Experimentieraufgaben unterstützen die Ergebnisse zum Einsatz von Smartphones in Lehr-Lern-Szenarien. Die entwickelten smartphonebasierten Experimentieraufgaben bieten die Möglichkeit, physikalische Konzepte und Begriffe kontextorientiert zu vermitteln. Unsere Daten liefern weitere Hinweise bezüglich einer von Zydney und Warner (2016) in einer Metaanalyse festgestellten Forschungslücke zur Integration von Smartphones in naturwissenschaftliche Lernformate [11]. Insbesondere liefern die vorgestellten Untersuchungsergebnisse erste konkrete Daten und Implikationen zur Integration des Smartphones in ein experimentelles Lehr-Lern-Setting, welche von Oliviera et al. (2019) in einer Literaturanalyse gefordert wurden [12]. Die Einbindung des Smartphones in das Experiment hat zum Ziel, die Lernenden zu motivieren und zugleich den Lernerfolg zu vergrößern. Durch die Reduktion der extrinsischen und lernirrelevanten kognitiven Belastung wird die lernrelevante kognitive Belastung intensiviert, was zu einem größeren konzeptionellen Wissenszuwachs bei den Studierenden führt. Unsere Daten aus den vorgestellten Studien (siehe Tab. 3) zum Smarten Physiklabor belegen dies.

Im Einklang mit den Ergebnissen von Hochberg et al. (2018) riefen die smartphonebasierten Experimentieraufgaben bei den Lernenden eine geringere extrinsische kognitive Belastung hervor als die klassischen algorithmischen Übungsaufgaben [5,6]. Das bestärkt die Annahme der lernförderlichen Wirkung smartphonebasierter Experimentieraufgaben. Die Daten von Wieman und Holmes, welche die Lernwirksamkeit experimenteller Aufgabenstellungen als nicht gewinnbringend einschätzen, wurden damit durch unsere Untersuchungen nicht bestätigt. Die Daten aus Tab. 3 zeigen klar, dass man mit smartphonebasierte Aufgabenstellungen einen höheren Lernzuwachs erzielen kann als die klassischen algorithmischen Übungsaufgaben. In unseren Vergleichsstudien aus den Wintersemestern 2020/21 und 2021/22 wurden erste Untersuchungsergebnisse bezüglich der wahrgenommenen kognitiven Belastung der Lernenden durch den Einsatz des Smartphones erhoben. Diese Daten bestätigen, dass sich Smartphones als Ergänzung zu den traditionellen Lehrformaten positiv auf den Lernerfolg auswirken und nicht zu einer extrinsischen kognitiven Überbelastung durch die erhöhte Informationsdichte führen. Es zeigte sich allerdings

eine Abhängigkeit des Lernerfolgs von der Aufgabenstellung und dem zugrundeliegenden Thema. Für die entsprechende Intervention I wurde die mangelhafte Passung und Einbindung des Smartphones als Kritikpunkt festgestellt, was letztendlich die Lerneffektivität der smartphonebasierten Experimentieraufgabe schmälerte.

5. Fazit

Im Rahmen einer quasi-experimentellen Feldstudien mit Kontroll- und Interventionsgruppe wurden im WiSe 2021/22 zwei smartphonebasierte Experimentieraufgaben ausgewählt und für die Kontrollgruppe durch konzeptgleiche algorithmische Übungsaufgaben ersetzt. Beide Aufgabentypen wurden von den Studierenden der jeweiligen Kohorte als Teil der wöchentlichen Übungsaufgaben im Mechanikkurs bearbeitet. Sie thematisierten die beiden Schwerpunkte Analyse von Drehbewegungen und Dynamik starrer Körper. Unsere Untersuchungen zeigen, dass mittels überlegt formulierter smartphonebasierter Experimentieraufgaben ein besserer Lernzuwachs als mit klassischen algorithmischen Übungsaufgaben für Studierende in der Studieneingangsphase erzielt werden kann, da smartphonebasierte Experimentieraufgaben die extrinsische kognitive Belastung der Studierenden im Vergleich zu den algorithmischen Übungsaufgaben vermindern. Interessierten Fachkollegen stellen wir unsere Aufgabenstellungen auf Nachfrage zur Nutzung und Weiterentwicklung gern zur Verfügung. Eine Reihe von Publikationen zu anspruchsvollen Experimentierideen für Smartphones sind der gängigen Literatur veröffentlicht.

6. Literatur

- [1] C. Stampfer, H. Heinke und S. Staacks. A lab in the pocket. *Nature Reviews Materials*, 5:S.169–170, 2020.
- [2] S. Staacks et al. Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), 2018.
- [3] R. Vieyra et al. Turn your smartphone into a science laboratory. *Science Teach.*, 82:S. 32–40, 2018.
- [4] J. Kuhn und P. Vogt. Smartphone & Co. in Physics Education: Effects of Learning with New Media Experimental Tools in Acoustics. In W. Schnotz, A. Kauertz, H. Ludwig, A. Müller & J. Pretsch (Eds.), *Multidisciplinary Research on Teaching and Learning*. Palgrave Macmillan, Basingstoke UK, 2015.
- [5] K. Hochberg, J. Kuhn und A. Müller. Using Smartphones as Experimental Tools - Effects on Interest, Curiosity and Learning in Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, 27:S. 385–403, 2018.
- [6] K. Hochberg et al. Using Smartphones as Experimental Tools - a Follow-up: Cognitive Effects by Video Analysis and Reduction of Cog-

- nitive Load by Multiple Representations. *Journal of Science Education and Technology*, 29:S. 303–317, 2020.
- [7] P. Klein, J. Kuhn und A. Müller. Förderung von Repräsentationskompetenz und Experimentbezug in den vorlesungsbegleitenden Übungen zur Experimentalphysik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24:S. 17–34, 2018.
- [8] A. Y. Nuryantini, M. R. Adawiyah und M. A. Ariayuda. The application of smartphone sensors to promote cognitive abilities easier and more effective physics learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1:012023, 2021.
- [9] D. Hillmayr et al. The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools: A context-specific meta-analysis. *Computers and Education*, 153, 2020.
- [10] S. Becker et al. Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69:101350, 2020.
- [11] J. Zydney und Z. Warner. Mobile apps for science learning: Review of research. *Computers and Education*, 94:S.1–17, 2016.
- [12] A. Oliveira et al. Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2):S. 149–160, 2019.
- [13] A. Mazzella und I. Testa. An Investigation into the effectiveness of smartphone experiments on students conceptual knowledge about acceleration. *Physics Education*, 51(5), 2016.
- [14] D. R. Sokoloff, P. W. Laws und R. K. Thornton. RealTimePhysics: active learning labs transforming the introductory laboratory. *European Journal of Physics*, 28(3):S. 83–94, 2007.
- [15] C. Wiemann und N.G. Holmes. Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics. *American Journal of Physics*, 83(11):S. 972–978, 2015.
- [16] N.G. Holmes et al. Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Phys. Rev. Phys. Educ. Rev.*, 13:S. 972–978, 2017.
- [17] A. Kaps, T Splith, und F Stallmach. Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities. *Physics Education*, 56(3):035004, 2021.
- [18] A. Kaps und F Stallmach. Development and didactic analysis of smartphone-based experimental exercises for the smart physics lab, *Physics Education*, im Druck, 2022.
- [19] A.Kaps. Entwicklung und Analyse smartphone-basierter Experimentieraufgaben für die universitäre Physikausbildung, Dissertationsschrift, eingereicht, Universität Leipzig, 2022.
- [20] A. Kaps und F. Stallmach. Tilting motion and the moment of inertia of the smartphone, *The Physics Teacher* 58, 216-217 (2020).
- [21] A. Kaps und F. Stallmach. Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentierhausaufgaben, *PhyDid B – Didaktik der Physik*, Beiträge zur Frühjahrstagung, 2021.
- [22] J. Kuhn. Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. *Habilitationsschrift*, 2010.
- [23] M. Klepsch, F. Schmitz und T. Seufert. Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, 2017.
- [24] J. Bortz und N. Döring. *Forschungsmethoden und Evaluation - für Human- und Sozialwissenschaftler*, 5. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [25] R. Hake. Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 66:S. 64–74, 1998.
- [26] P. Riegler und C. Kautz. *Physik der Hochschullehre - Die Hochschullehre ist zu einem gesellschaftlich wichtigen Forschungsgegenstand der Physik geworden*. *Physik- Journal*, 5:Wiley-VCH GmbH, 2021.
- [27] J. von Korff *et al.* Secondary analysis of teaching methods in introductory physics - A 50k-student study. *American Journal of Physics*, 84(12):S. 969–974, 2016.
- [28] J. Sweller. Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educ Psychol Rev*, 22:S. 123–138, 2010.
- [29] R. Mayer und R. Moreno. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1): S.43–52, 2003.

Danksagung

Wir danken Prof. Dr. C. S. Schönherr und PD Dr. H. von Wenckstern (beide Felix-Bloch-Institut für Festkörperphysik, Universität Leipzig) für ihre Unterstützung bei dieser Studie, sowie allen Studierenden der Mechanikkurse an unserer Fakultät in den Wintersemester 2020/2021 und 2021/22 für ihre aktive Teilnahme an der Studie und das positive Feedback zu den neu entwickelten Aufgaben mit dem Smarten Physiklabor. Andreas Kaps bedankt sich bei der Universität Leipzig für die finanzielle Unterstützung des Promotionsstipendiums.