

GDCP-Doktorierendenkolloquium 2022 – 22.10.2022 – Vortrag A10

# Evaluation digitaler Experimentieraufgaben für das Physikstudium

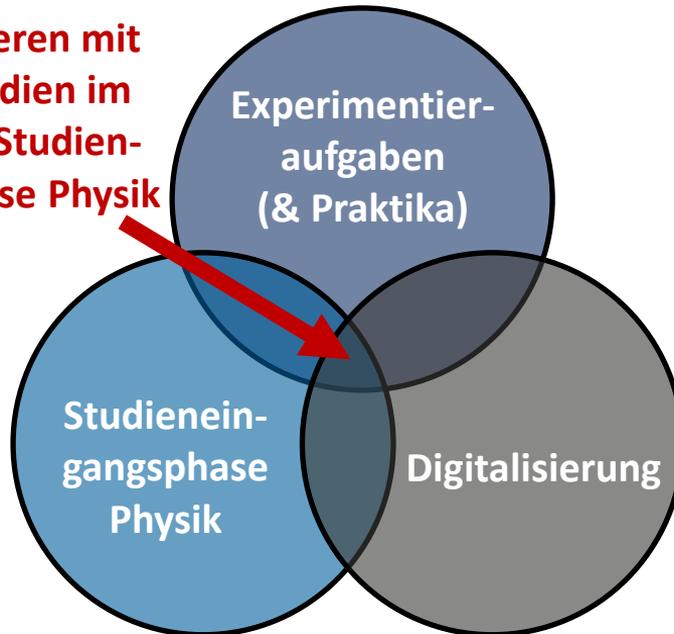
Simon Z. Lahme, Universität Göttingen  
Doktorand bei Prof. Dr. Pascal Klein

**Thesis Advisory Committee:**

Prof. Dr. Pascal Klein, Universität Göttingen  
Prof. Dr. Andreas Müller, Universität Genf  
Prof. Dr. Stefan Drezler, Universität Göttingen  
Prof. Dr. Heike Theyßen, Universität Duisburg-Essen

# Das kumulative Promotionsvorhaben - eine multiperspektivische Analyse des Zusammenspiels aus ...

**Experimentieren mit digitalen Medien im Kontext der Studieneingangsphase Physik**



**Entwicklungsziel:**

Entwicklung & Evaluation von digitalen Experimentieraufgaben fürs Physikstudium

**Forschungsziele:**

- 1)** Proof of Concept/Machbarkeitsstudie zum Einsatz dieser Aufgaben, z. B. in vorlesungsbegleitenden Settings
- 2)** Formulierung von Implikationen für eine evidenzbasierte Weiterentwicklung der Hochschullehre bezüglich dieses Zusammenspiels

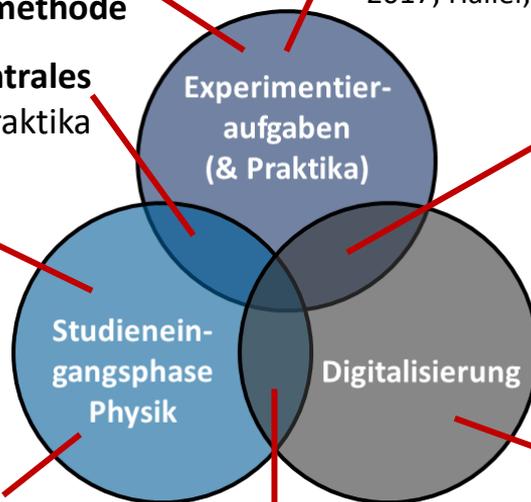
## Motivation

**Experimentieren als zentrale naturwissenschaftliche Erkenntnismethode**

**(Experimentier-)Aufgaben als zentrales Lernmedium** im Übungsbetrieb & in Praktika

**Herausforderungen im Rahmen der erfolgreichen akademischen Identitätsbildung**, s. auch hohe Abbruchquoten (Bauer et. al., 2019; Heublein et al., 2020)

**Geringe Vernetzung der Lehrveranstaltungen**



**Diskussionen um die (In-)Effektivität traditioneller Experimentieraufgaben** (z. B. Holmes et al., 2017; Holmes & Wieman, 2018; Teichmann et al., 2022; Rehfeldt, 2017; Haller, 1999)

**Experimentieren auch unter Pandemiebedingungen** (Hut et al., 2020; Jelacic et al., 2022; Werth et al., 2021)

**Digitalisierungsbezogene Kompetenzen als neue Lernziele** (Becker et al., 2020b)

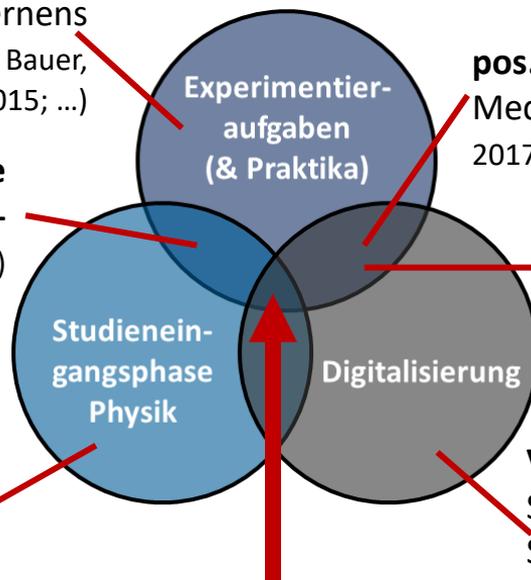
**Zeitgemäße Lehre in einer digitalisierten Welt, auch unter Pandemiebedingungen**

## Einblick in den Forschungsstand

**Wirkung offener**, kompetenzorientierter, dem Prinzip des forschungsbasierten Lernens folgender **Praktikumsformate** (Sacher & Bauer, 2020; Holmes & Wieman, 2018; Etkina, 2015; ...)

**Pos. Effekte von undergraduate research projects in MINT-Studienfächern** (Ruiz-Primo et al. 2011)

Erkenntnisse über **Herausforderungen & Kontextbedingungen in der Studieneingangsphase**, z. B. Anforderungsebenen (Bauer et al., 2019), Abbruchgründe (Albrecht, 2011), Belastungserleben (Lahme et al., 2022a)



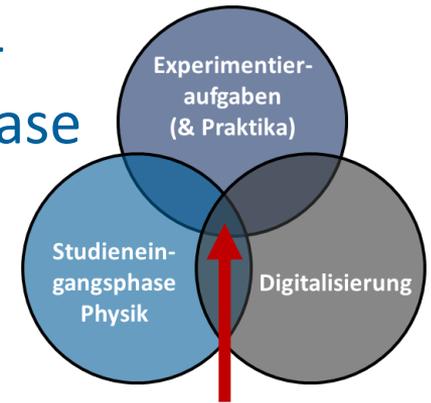
**pos. Effekte** des Experimentierens mit digitalen Medien **z. B. auf Motivation** (Hochberg, 2016; Pirker, 2017) & **Konzeptverständnis** (Becker et al., 2020a)

Digitale Technologien erlauben wirksame **first hand data collection** auch jenseits der Labore (Klein et al, 2021)

**Vielzahl digitaler Technologien** (z. B. AR, VR, Simulationen, IBEs, remote controlled labs, Smartphones, Microcontroller, ...) **nutzbar** (Thees et al., 2022; Theyßen, 1999; Thoms, 2019; Pirker, 2017; Schlummer et al., 2021; ...)

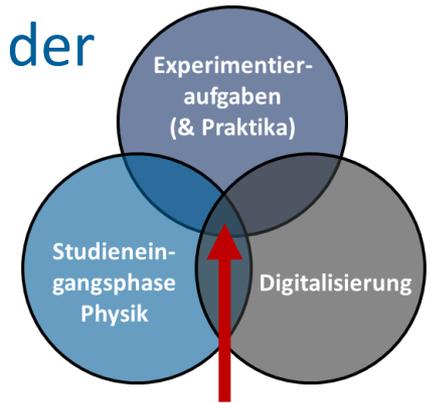
# Forschungs- & Entwicklungsstand zu Smartphone-Experimentieraufgaben in der Studieneingangsphase

- **Diverse Standorte (nur) während des Lockdowns in den Praktika**
- **Standort Leipzig:** Smartphone-Experimente als Übungsaufgaben im Lehramtsstudium (Kaps et al., 2021), Begleitforschung zu Lernerfolg, Motivation & Neugier im Vergleich zu klassischen Aufgaben
- **Standort Aachen:** Entwicklung der App *phyphox* (Staacks et al., 2018; Stampfer et al., 2020); Einsatz von Smartphone-Experimenten in Vorlesung & Übung: Demoexperimente, experimentelle Aufgaben (Hütz et al., 2017, 2019; Staacks, et al., 2022)
- **Standort Kaiserslautern:** Entwicklung vieler Smartphone-Experimente, auch für die Hochschullehre (z. B. Klein et al., 2017; Gröber et al., 2017; Kuhn & Vogt, 2019); z. B. auch Entwicklung & Integration von Videoanalyseaufgaben im Übungsbetrieb (Klein, 2016), Begleitforschung, z. B. Förderung Repräsentationskompetenz (Klein et al., 2018)
- ...



# Desiderate zu digitalen Experimentieraufgaben in der Studieneingangsphase Physik

- Entwicklung, Implementation & Evaluation von **digitalen Experimentierprojektaufgaben** für das Physikstudium
- **Gestaltungsprinzipien** für gute digitale Experimentieraufgaben
- **Analyse des Zusammenspiels** zwischen Innovationen in der Hochschullehre im Bereich digitale Experimentieraufgaben und den Kontextbedingungen



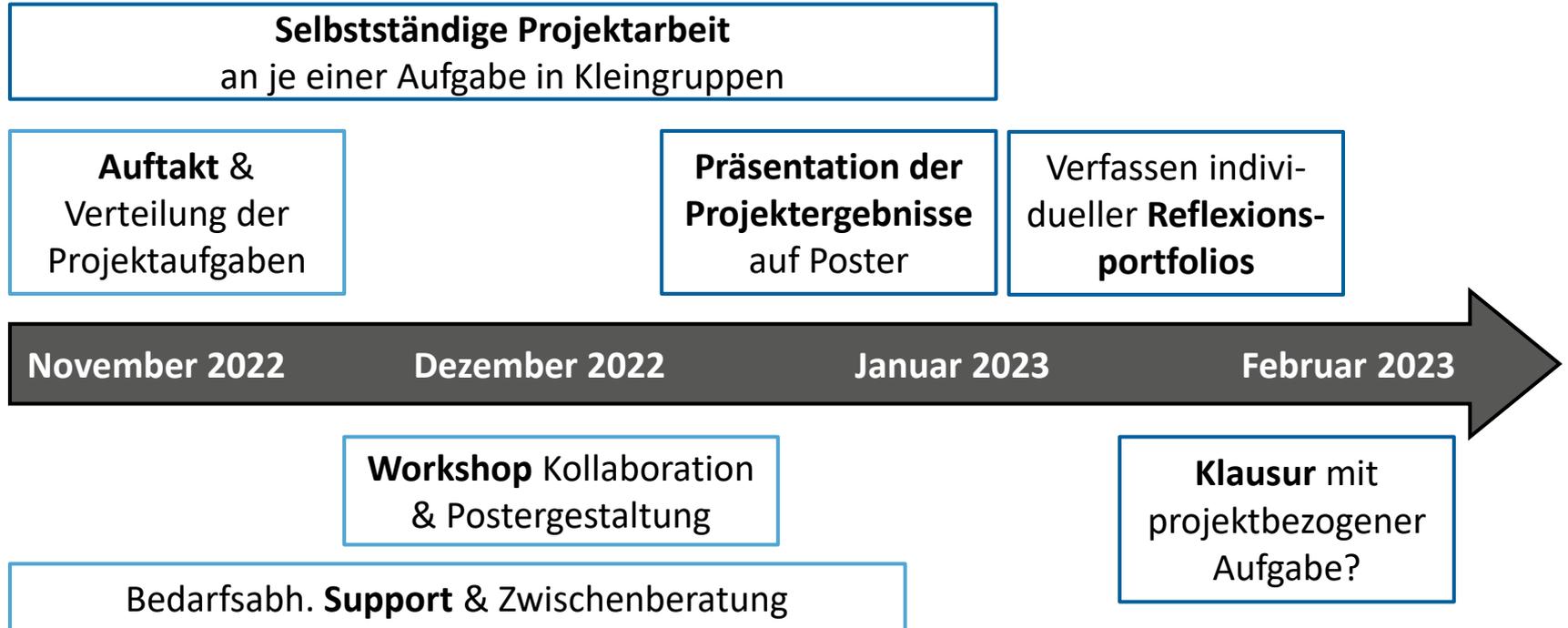
# Im Fokus: Das Projekt „*Digital gestütztes Lernen in der Studieneingangsphase Physik*“

- **Lehrprojekt, gefördert vom MWK Niedersachsen (04/22-12/23)**
- **Ziel:** Implementation von Projektaufgaben ins 1. Semester
  - Offene Experimentieraufgaben
  - Nutzung digitaler Medien (i. W. Smartphones & Datenanalysesoftware)
  - Verknüpfung der Inhalte der Lehrveranstaltungen (Experimentalphysik I, Rechenmethoden der Physik & Praktikum)
  - Förderung u. a. affektiver & sozialer Faktoren
  - Bereitstellung der Aufgaben als Open Educational Resources (OERs)
- **Begleitforschung im Rahmen des Promotionsvorhabens**



<https://www.uni-goettingen.de/de/657593.html>

## Programmablauf



# Entwicklung der Projektaufgaben

Adaption von Aufgaben aus dem Projekt **DigiPhysLab**:

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



Antti Lehtinen Pekka Pirinen

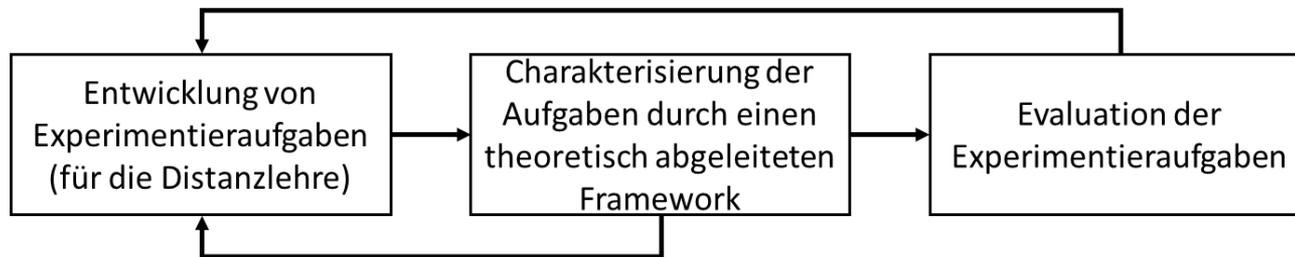


Ana Sušac Lucija Rončević



Pascal Klein Simon Z. Lahme

Evidenzbasierte Weiterentwicklung der Aufgaben



Reflexion der Diversität der Aufgaben

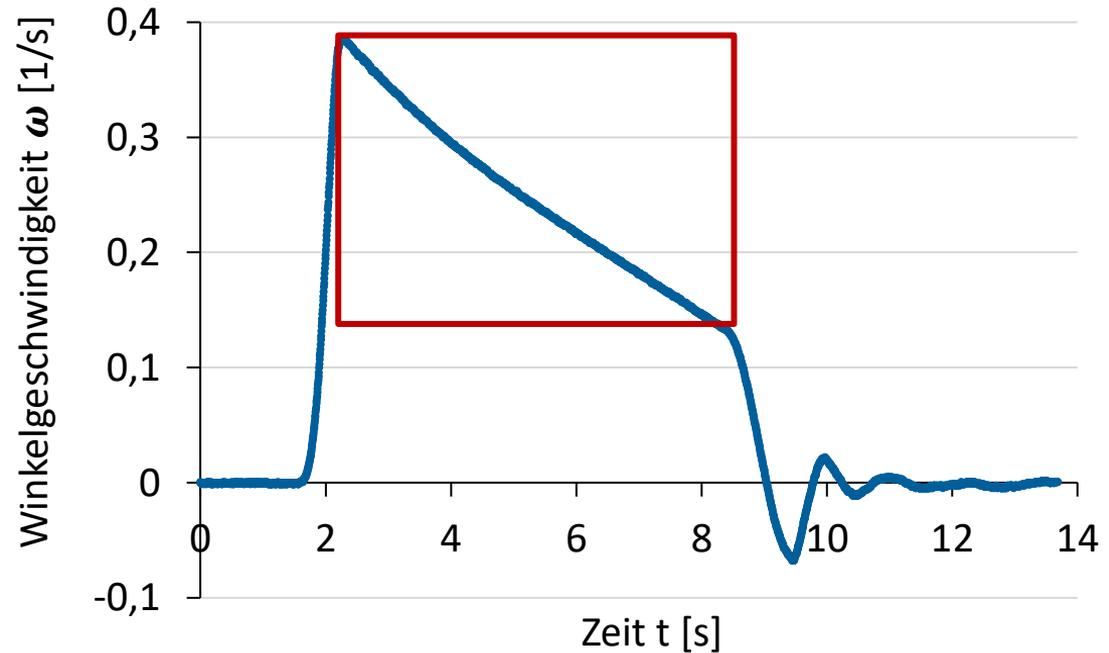
(Lahme et al., 2022b)



<https://jyu.fi/digiphyslab>

## Beispielaufgabe: Slamming Door - Aufgabenidee

(Klein et. al., 2017;  
Lahme et al., 2022b)



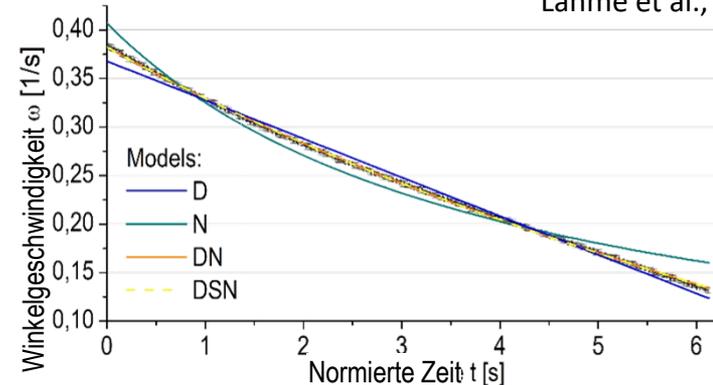
## Beispielaufgabe: Slamming Door - Aufgabenidee

(Klein et. al., 2017;  
 Lahme et al., 2022b)

Modell als Kombination aus trockener ( $D \sim \omega^0$ ),  
 Stokes ( $S \sim \omega^1$ ) & Newtonscher Reibung ( $N \sim \omega^2$ )  
 → Lösen der DGL  $a + b\omega + c\omega^2 = -I\dot{\omega}$  für das  
 Reibungsmoment

$$\rightarrow \omega_{DSN}(t) = \frac{2\omega_0 c + b - \gamma \tan(\gamma t / 2I)}{2c[1 + (2\omega_0 c + b)\tan(\gamma t / 2I) / \gamma]} - \frac{b}{2c}$$

mit  $\gamma = \sqrt{4ac - b^2}$



	a (D)	$\Delta a$	b (S)	$\Delta b$	c (N)	$\Delta c$	$\omega_0$	$\Delta\omega_0$	$R^2$
<b>D</b>	0,03988	8,23E-05	:=0	-	:=0	-	0,36779	2,91E-04	0,99352
<b>S</b>	:=0	-	0,16282	2,43E-04	:=0	-	0,38839	2,49E-04	0,99696
<b>N</b>	:=0	-	:=0	-	0,61788	0,00294	0,40702	9,42E-04	0,97326
<b>DS</b>	0,01581	1,94E-04	0,09892	7,93E-04	:=0	-	0,38085	1,41E-04	0,9994
<b>DN</b>	<b>0,0273</b>	<b>7,63E-05</b>	<b>:=0</b>	<b>-</b>	<b>0,20251</b>	<b>0,00119</b>	<b>0,38246</b>	<b>1,14E-04</b>	<b>0,99966</b>
<b>SN</b>	:=0	-	0,16282	2,43E-04	2,17E-17	$\approx 0$	0,38839	2,49E-04	0,99696
<b>DSN</b>	0,0273	7,63E-05	1,92E-25	$\approx 0$	0,20252	0,0012	0,38246	1,14E-04	0,99966

# Beispielaufgabe: Slamming Door - Aufgabendokumente

## 1. Motivation & Überblick:

Fokus auf Analyse von Randeffekten (hier Reibung), Verweis auf drei Reibungsarten, Ziel der Aufgabe (möglichst präzises & einfaches Modell finden)

## 2. Ihre Aufgabenstellung:

„Entwickeln Sie ein Experiment, in dem Sie die auftretenden Reibungseffekte bei einer zuschlagenden Tür untersuchen. Nutzen Sie hierzu die Sensoren Ihres Smartphones. Beantworten Sie experimentell die Fragestellung, welches Reibungsmodell die zuschlagende Tür am präzisesten beschreibt, d.h., welches Modell am besten zu den Messdaten passt und gleichzeitig realistische Modellparameter liefert. Berücksichtigen Sie auch die Messunsicherheiten.“

## Beispielaufgabe: Slamming Door - Aufgabendokumente

- 3. Damit sollen Sie sich während der Bearbeitung u.a. auseinandersetzen:**  
**Leitfragen**, z. B.: Wie wirken sich die Positionierung des Smartphones auf der Tür und die Art des Zuschlagens der Tür auf die Messdaten aus?
- 4. Das soll nachher u.a. auf Ihrem Poster sein:**  
Konkretisierung, z. B.: Begründete Wahl für (mind.) ein Reibungsmodell
- 5. Das sollen Sie in dieser Aufgabe konkret lernen: Lernziele**  
**physikbezogen**, z. B.: Sie können die grundlegenden Prinzipien von Rotationsbewegungen und dort auftretenden Reibungseffekten erläutern.  
**mathematikbezogen**, z. B.: Sie können mithilfe des Lösen geeigneter Differentialgleichungen mathematische Modellierungen für Rotationsbewegungen herleiten.  
**methodisch**, z. B.: Sie können eigenständig mithilfe Ihres Smartphones Messdaten zu Rotationsbewegungen erfassen.

## Beispielaufgabe: Slamming Door - Aufgabendokumente

- 6. Noch ein paar Tipps und Hinweise zur Durchführung:**  
diverse Tipps (z. B. zur Appnutzung) und Sicherheitshinweise
- 7. Möglichkeiten zur Vertiefung der Aufgabe:**  
z. B.: Inwieweit unterscheidet sich das Reibungsverhalten verschiedener Türen?
- 8. Literaturhinweise:**  
zum physikalischen Hintergrund, zum Experiment und zur Datenauswertung & mathematischem Hintergrund
- 9. Weitere Hilfsmaterialien:**  
z. B.: Anleitung für die App *phyphox*

## Ziele und Forschungsfragen im Projekt

**EZ:** Entwicklung und evidenzbasierte Weiterentwicklung digitaler Experimentierprojektaufgaben für die Studieneingangsphase Physik

**FZ:** Inwieweit können Übungsaufgaben in der Studieneingangsphase Physik durch eine experimentelle Projektaufgabe ersetzt werden, um Lehrveranstaltungen besser zu vernetzen?

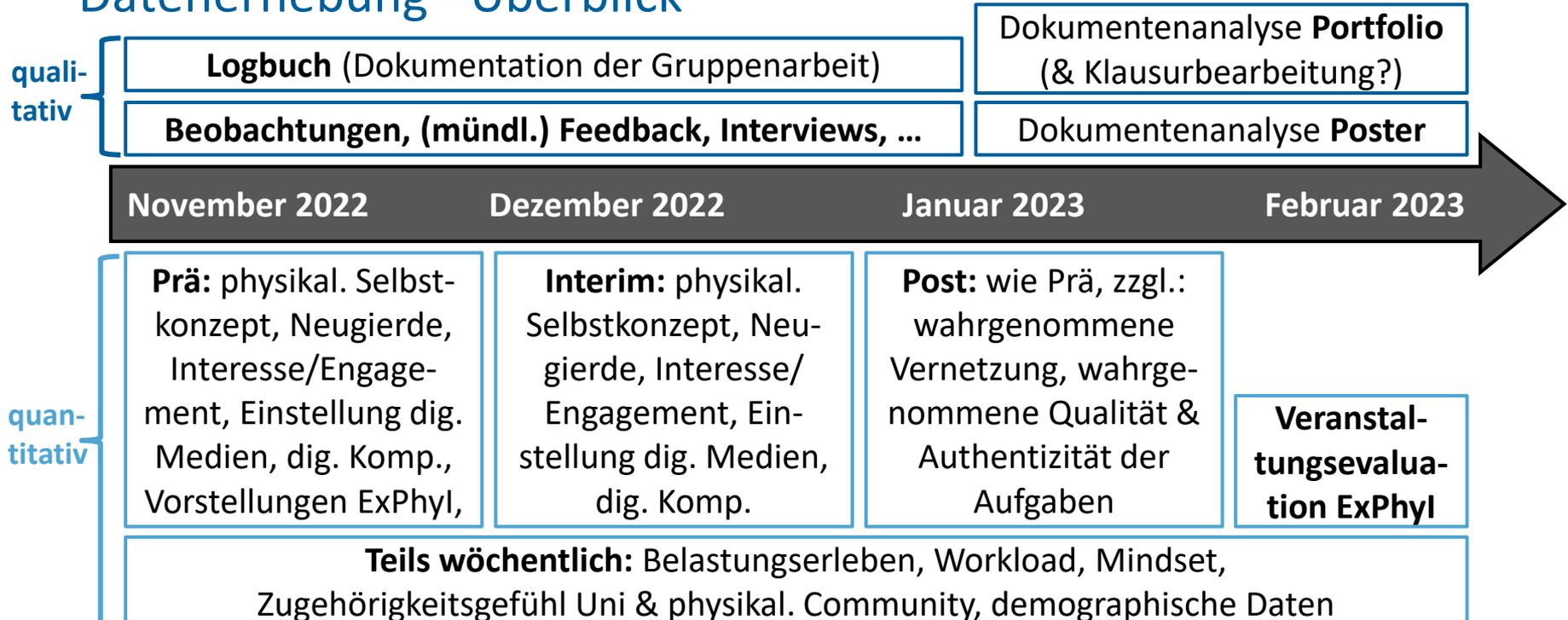
**F1:** Inwieweit ist aus Studierendensicht über das erste Semester hinweg projektbezogen ein Kompetenzerwerb erfolgt?

**F2:** Inwieweit haben sich auf affektiver und metakognitiver Ebene (Einstellungen zu digitalen Medien, physikbezogenes Selbstkonzept, Neugier, ...) projektbezogen Veränderungen ergeben?

**F3:** Inwieweit haben sich bezüglich der Sichtweisen auf Forschung in der Experimentalphysik projektbezogen Veränderungen ergeben?

**F4:** Welche Muster von Aufgabennutzungs- und Kollaborationsprozesse zeigen die einzelnen Kleingruppen während der Projektarbeitsphase?

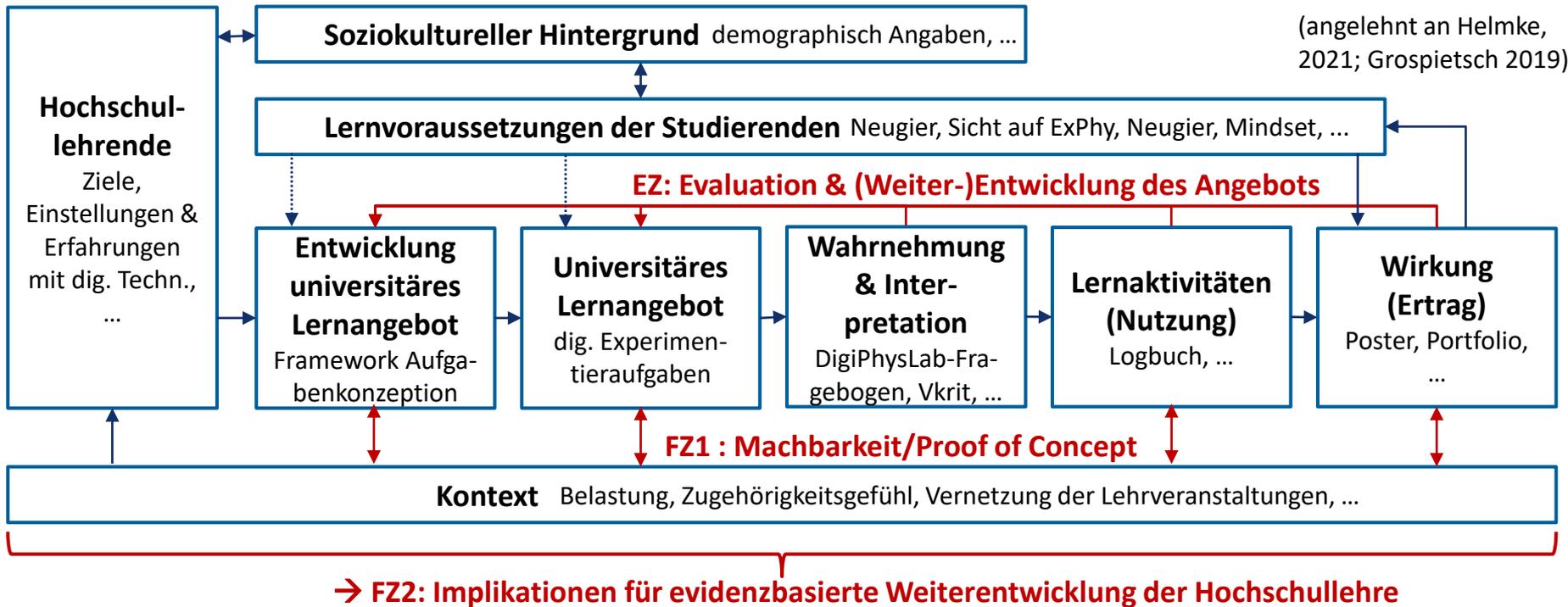
## Datenerhebung - Überblick



## Qualitative Datenerhebung - Logbuch

Gruppe 1		Experiment: <i>Slamming Door</i>				
Tag	Dauer der Aktivität	Wer war beteiligt?	Schritt im Experimentierprozess	Was wurde gemacht?	Wurde zusammengearbeitet? Wenn ja, wie?	Geplanter nächster Schritt
20.10.	2,5h	Person B	Literaturrecherche	Es wurde das Paper von Klein et al. (2017) gelesen, zusätzlich wurde die Funktionsweise des Gyroskop-Sensors recherchiert	Einzelarbeit	Diskussion der Ergebnisse aus der Literaturrecherche
21.10.	0,5h	Person A, B & C	Planung	Basierend auf der Literaturrecherche wurde entschieden, den Gyroskop- statt des Beschleunigungssensors zu nehmen	Diskussion in der Gruppe	Datenaufnahme
22.10.	1,5h	Person A & C	Datenaufnahme	Es wurde für eine Tür die Winkelgeschwindigkeit mit dem Gyroskop-Sensor gemessen. Die Messung erfolgte für unterschiedliche Anfangsgeschwindigkeiten.	Person A & C haben gemeinsamen Daten aufgenommen: Vorgehen wurde gemeinsam diskutiert, bei der Anbringung des Smartphones assistiert, ...	Schnellauswertung der Daten
23.10.	...					

# Ausblick: Diskussion anhand des Angebots-Nutzungs-Modells



## Aspekte für die gemeinsame Diskussion

- **Zum Design:** Gibt es Anregungen zum geplanten Design (Ablauf, Datenquellen & Datenerhebung) für das anstehende Programm?
- **Zu den Logbüchern:** Inwieweit eignen sich (digitale) Logbücher zur Rekonstruktion von Gruppenarbeits- & Experimentierprozessen? Wie müssen Sie vorstrukturiert werden?
- **Zur Quantisierung des Lernerfolgs:** Inwieweit ist eine Messung des Lernerfolgs (z. B. über Kompetenzmessungen (Experimentierkompetenz, digitalisierungsbezogene Kompetenz, Fachwissen ...) sinnvoll und realisierbar?
- **Zur Perspektive der Begleitforschung:** Inwieweit könnte im Anschluss an diese (Pilot-) Studie eine Feld-Vergleichsstudie angeknüpft werden? Was wären geeignete unabhängige und sinnvolle abhängige Variablen?
- **Zur argumentativen Integration im Promotionsvorhaben:** Inwieweit bietet das Angebot-Nutzung-Modell ein Framework zur Diskussion der multiperspektivischen Analyse des betrachteten Zusammenspiels (Experimentieren, Digitalisierung, Studieneingangsphase)?

# Anhang

# Instrumente 1

## Aufgaben- & Projektwahrnehmung:

- **Wahrgenommene Qualität der Aufgaben:** Teil des Fragebogens aus DigiPhysLab
- **Wahrgenommenen Authentizität der Aufgaben:** Minimalinvasive Adaption von Klein (2016), basierend auf *Modified Anchored Instruction-Motivationsfragebogen* (MAI) von Kuhn (2010)
- **Wahrgenommene Vernetzung der Aufgaben:** Adaption einzelner Items des *Fragebogens zur Erfassung von Praktikumsqualität* (PraQ-B) von Rehfeldt (2017)
- **Veranstaltungsevaluation:** Standardfragebogen der Fakultät

## Instrumente 2

### Wahrnehmung des Lernerfolgs:

- **Wahrgenommene Lernzuwachs:** Teile des Fragebogens aus DigiPhysLab
- **Wahrgenommener Zuwachs digitalisierungsbezogener Kompetenzen:** einzelne Items basierend auf DiKoLaN- & DigComp2.1-Framework (Becker et al., 2020b; Carretero et al., 2017)

### Vorstellungen:

- **Vorstellungen zur Forschung in der Experimentalphysik:** *German Colorado Learning Attitudes about Science Survey for Experimental Physics (GE-CLASS)* von Teichmann et al. (2022)

## Instrumente 3

### Affektive Konstrukte:

- **Physikalisches Selbstkonzept:** Adaption des Fragebogens zum akademischen Selbstkonzept von Dickhäuser et al. (2002)
- **Neugierde:** Klein (2016), basierend auf *Melbourne Trait/State Curiosity* (Naylor, 1981) und *Epistemic Curiosity* (Litman & Spielberger, 2003)
- **Interesse/Engagement:** Adaption von Klein (2016), basierend auf dem *Modified Anchored Instruction-Motivationsfragebogen* (MAI) von Kuhn (2010) sowie *Fragebogen für Studieninteresse* (Krapp et al., 1993)
- **Einstellung zu digitalen Medien:** Items basierend auf Schmechting et al. (2020)

## Instrumente 4

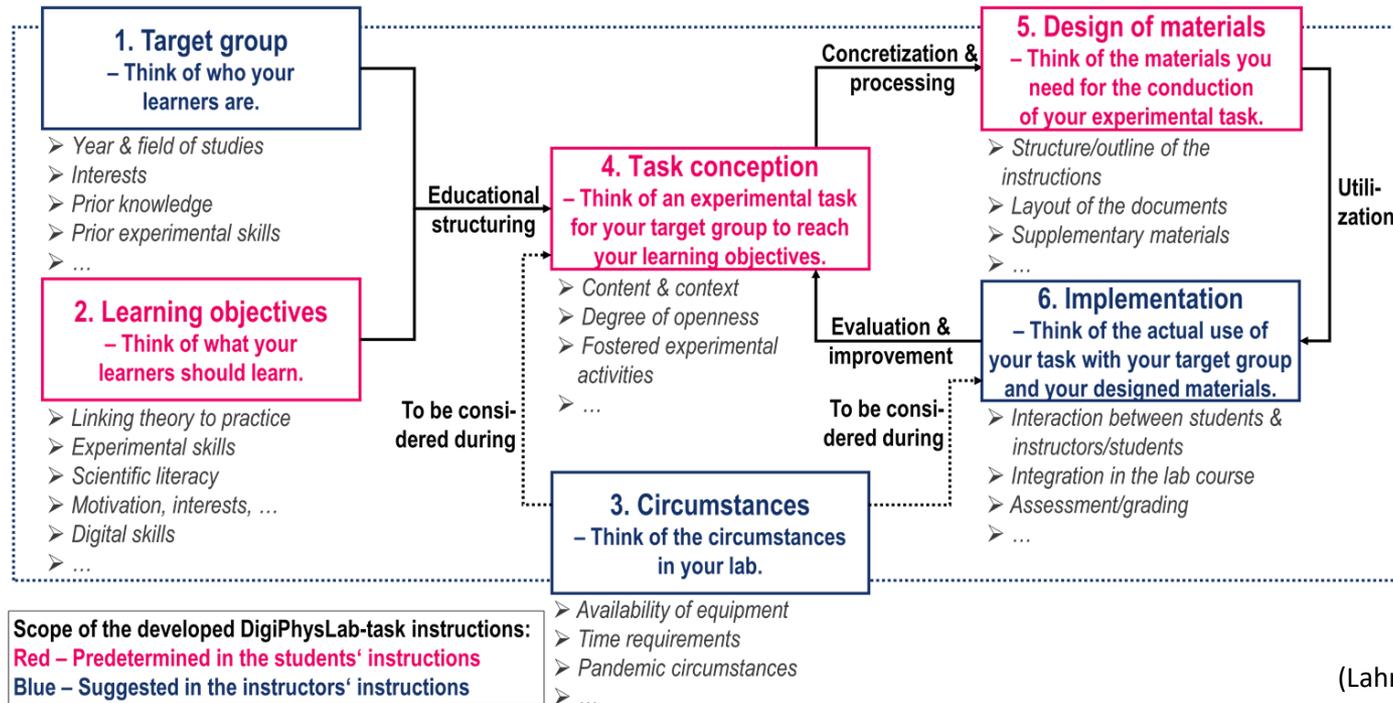
### Begleitend:

- **Belastungserleben:** *Perceived Stress Questionnaire* (PSQ) von Fliege et al. (2001)
- **Workload:** Single-Item selbsteingeschätzter Workload der Woche
- **Mindset:** Fragebogen von Diederich & Spatz (2021)
- **Zugehörigkeitsgefühl zur Universität:** Minimalinvasive Adaption von Baumert et al. (2008)
- **Zugehörigkeitsgefühl zur Physik-Community:** Item von Feser & Plotz (in prep.)

## Fragebogen zur Evaluation der Experimentieraufgaben

- **Persönliche Angaben**, z. B. Studienfach, Semester, Einstellung zu Experimentieren
- **Wirksamkeit/wahrgenommener Lernzuwachs**  
*„Nach Beendigung der Aufgabe habe ich das Gefühl, etwas Neues gelernt zu haben.“*
- **Adäquatheit der Aufgabe**  
*„Die Experimentieraufgabe war zu leicht/angemessen herausfordernd/zu schwierig.“*
- **Erleben der Studierenden während der Aufgabe**  
*„Während dieser Aufgabe fühle ich mich gelangweilt.“*
- **Experimentelle Aktivitäten im Fokus**  
*„In dieser Aufgabe musste ich meine eigene Hypothese formulieren.“*
- **Verwendung der digitalen Technologien in der Aufgabe**  
*„Die Verwendung der digitalen Technologien machten diese Aufgabe schwierig.“*
- **Abschließende offene Fragen**  
*„Was würdest du an dieser Aufgabe ändern? Und warum?“*

# Framework: Designprinzipien für Experimentieraufgaben



(Lahme et al., 2022c)

# Literatur

- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik* [Dissertation]. Freie Universität Berlin, Berlin. <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/4415>
- 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>
- Baumert, J., Blum, W., Brunner, M., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Kunter, M., Löwen, K., Neubrand, M. & Tsai, Y.-M. (2008). *Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung von mathematischer Kompetenz (COACTIV): Dokumentation der Erhebungsinstrumente. Materialien aus der Bildungsforschung: Bd. 83*. Max-Planck-Inst. für Bildungsforschung. [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_2100057\\_8/component/file\\_2197666/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_2100057_8/component/file_2197666/content)
- Becker, S., Klein, P., Gößling, A. & Kuhn, J. (2020a). Using mobile devices to enhance inquiry-based learning processes. *Learning and Instruction*, 69, 101350. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101350>
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (Hrsg.). (2020b). *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (1. Aufl.). Joachim Herz Stiftung. [https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS\\_Digitale\\_Basiskompetenzen\\_web\\_srgb.pdf](https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf)
- Blömeke, S., Risse, J., Müller, C., Eichler, D. & Schulz, W. (2006). Analyse der Qualität von Aufgaben aus didaktischer und fachlicher Sicht: Ein allgemeines Modell und seine exemplarische Umsetzung im Unterrichtsfach Mathematik. *Unterrichtswissenschaft*, 34(4), 330–357. <https://doi.org/10.25656/01:552>
- Carretero, S., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2017). *DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for citizens: With eight proficiency levels and examples of use*. EUR 28558 EN. Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC106281>

# Literatur

- Dickhäuser, O., Schöne, C., Spinath, B. & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Die Skalen zum akademischen Selbstkonzept. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23(4), 393–405. <https://doi.org/10.1024//0170-1789.23.4.393>
- Diederich, M. & Spatz, V. (2021). Validierung eines Mindset-Fragebogens für Physik-(Lehramts-)Studierende mittels Interviewstudie. *PhyDid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung virtuell 2021*. S. 87-93. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1135/1224>
- Etkina, E. (2015). Millikan award lecture: Students of physics - Listeners, observers or collaborative participants in physics scientific practices? *American Journal of Physics*, 83(8), 669-679. <https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.4923432>
- Feser, M. S., & Plotz, T. (in Vorbereitung). *Development of a single-item instrument for assessing pre-service primary school teachers' Sense of Belonging to Science*.
- Fliege, H., Rose, M., Arck, P., Levenstein, S. & Klapp, B. F. (2001). Validierung des “Perceived Stress Questionnaire“ (PSQ) an einer deutschen Stichprobe. *Diagnostica*, 47(3), 142–152. <https://doi.org/10.1026//0012-1924.47.3.142>
- Grospietsch, F. (2019). *Berücksichtigung von Studierendenvorstellungen zum Thema Gehirn und Lernen in der Lehrkräfteausbildung Biologie* [Dissertation]. Universität Kassel, Kassel. <https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/13011/DissertationFinjaGrospietsch.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Gröber, S., Klein, P., Kuhn, J. & Fleischhauer, A. (Hrsg.). (2017). *Lehrbuch. Smarte Aufgaben zur Mechanik und Wärme: Lernen mit Videoexperimenten und Co*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54479-2>
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen: Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*. Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 1999. *Studien zum Physiklernen: Bd. 5*. Logos-Verl.
- Helmke, A. (2021). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (8. Aufl.). Klett Kallmeyer.

# Literatur

- Herzig, B. & Grafe, S. (2007). *Digitale Medien in der Schule: Standortbestimmung und Handlungsempfehlungen für die Zukunft ; Studie zur Nutzung digitaler Medien in allgemein bildenden Schulen in Deutschland*. Deutsche Telekom.  
[https://www.researchgate.net/publication/265092173\\_Digitale\\_Medien\\_in\\_der\\_Schule\\_Standortbestimmung\\_und\\_Handlungsempfehlung\\_fur\\_die\\_Zukunft\\_Studie\\_zur\\_Nutzung\\_digitaler\\_Medien\\_in\\_allgemein\\_bildenden\\_Schulen\\_in\\_Deutschland](https://www.researchgate.net/publication/265092173_Digitale_Medien_in_der_Schule_Standortbestimmung_und_Handlungsempfehlung_fur_die_Zukunft_Studie_zur_Nutzung_digitaler_Medien_in_allgemein_bildenden_Schulen_in_Deutschland)
- Heublein, U., Richter, J. & Schmelzer, R. (2020). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. DZHW Brief 3|2020. Hannover. DZHW.  
[https://doi.org/10.34878/2020.03.dzhw\\_brief](https://doi.org/10.34878/2020.03.dzhw_brief)
- 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, Kaiserslautern. [https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/4445/file/\\_160331\\_Diss\\_genehmigt.pdf](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://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Holmes, N. G. & Wieman, C. E. (2018). Introductory physics labs: We can do better. *Physics Today*, 71(1), 38–45. <https://doi.org/10.1063/PT.3.3816>
- Hut, R. W., Pols, C. F. J. & Verschuur, D. J. (2020). Teaching a hands-on course during corona lockdown: from problems to opportunities. *Physics Education*, 55(6), Artikel 065022. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abb06a>
- Hütz, S., Kuhlen, 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>

# Literatur

- Hütz, S., Staacks, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2019). Kleiner Aufwand, großer Nutzen? - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - Aachen 2019*, 273–279. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/947/1072>
- Hütz, S., Staacks, S., Stampfer, C. & Heinke, H. (2019). Kleiner Aufwand, großer Nutzen? - Experimentiersets zur Unterstützung experimenteller Übungsaufgaben mit Smartphones. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - Aachen 2019*, 273–279. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/947/1072>
- Jelicic, K., Geyer, M.-A., Ivanjek, L., Klein, P., Küchemann, S., Dahlkemper, M. N. & Susac, A. (2022). Lab courses for prospective physics teachers: what could we learn from the first COVID-19 lockdown? What could we learn from the first COVID-19 lockdown? *European Journal of Physics*, 43(5), 55701. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ac6ea1>
- Kaps, A., Splith, T. & Stallmach, F. (2021). Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities. *Physics Education*, 56(3), 35004. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abdee2>
- Kaps, A. & Stallmach, F. (2021). Lernwirksamkeitsanalyse smartphonebasierter Experimentieraufgaben. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - virtuell 2021*, 121–126. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1111/1202>
- Klein, P., Ivanjek, L., Dahlkemper, M. N., Jeličić, K., Geyer, M.-A., Küchemann, S. & Sušac, A. (2021). Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), Artikel 010117. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010117>
- Klein, P. (2016). *Konzeption und Untersuchung videobasierter Aufgaben im Rahmen vorlesungsbegleitender Übungen zur Experimentalphysik (Mechanik)* [Dissertation]. Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern. <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/8f76f0f86ffc48a34292baaaddbaead8.pdf/Dissertation%20KLEIN%20Pascal.pdf>

# Literatur

- 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>
- Klein, P., Müller, A., Gröber, S., Molz, A. & Kuhn, J. (2017). Rotational and frictional dynamics of the slamming of a door. *American Journal of Physics*, 85(1), 30–37. <https://doi.org/10.1119/1.4964134>
- Kuhn, J. & Vogt, P. (Hrsg.). (2019). Lehrbuch. Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59266-3>
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Susac, A., & Tomrlin, B. (2022a). DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – online 2022.
- Lahme, S. Z., Klein, P., Lehtinen, A., Müller, A., Pirinen, P., Susac, A., & Tomrlin, B. (2022b). DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung – online 2022.
- Lahme, S. Z., Pirinen, P., Tomrlin, B., Lehtinen, A., Susac, A., Müller, A. & Klein, P. (2022c). DigiPhysLab: Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning. Poster auf der DPG-Frühjahrstagung 2022 (online). [https://www.jyu.fi/science/en/physics/studies/digiphyslab/dd36-1\\_lahme-et-al\\_digiphyslab\\_english.pdf](https://www.jyu.fi/science/en/physics/studies/digiphyslab/dd36-1_lahme-et-al_digiphyslab_english.pdf)
- Pirker, J. (2017). *Immersive and Engaging Forms of Virtual Learning: New and improved approaches towards engaging and immersive digital learning* [Dissertation]. Technische Universität Graz, Graz. <https://jpirker.com/wp-content/uploads/2013/09/dissertation-pirker.compressed.pdf>
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2017. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 246*. Logos Verlag.

# Literatur

- 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>
- Sacher, M. D. & Bauer, A. B. (2020). Kompetenzförderung im Laborpraktikum. In T. Haertel, S. Heix, C. Terkowsky, S. Frye, T. R. Ortelt, K. Lensing & D. May (Hrsg.), *Labore in der Hochschullehre: Didaktik, Digitalisierung, Organisation* (S. 51–66). wbv Media. [https://www.wbv.de/openaccess/themenbereiche/hochschule-und-wissenschaft/shop/detail/name/\\_/0/1/6004804w/facet/6004804w////////nb/0/category/1754.html](https://www.wbv.de/openaccess/themenbereiche/hochschule-und-wissenschaft/shop/detail/name/_/0/1/6004804w/facet/6004804w////////nb/0/category/1754.html)
- Schlummer, P., Abazi, A., Borkamp, R., Lauströer, J., Pernice, W., Schuck, C., Schulz-Schaeffer, R., Heusler, S. & Laumann, D. (2021). Physikalische Modelle erfahrbar machen - Mixed Reality im Praktikum -. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG Frühjahrstagung - virtuell 2021*, 415–420. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1128/1217>
- 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*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ac7830>
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), Artikel 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Stampfer, C., Heinke, H. & Staacks, S. (2020). A lab in the pocket. *Nature Reviews Materials*, 5(3), 169–170. <https://www.nature.com/articles/s41578-020-0184-2.pdf>
- Teichmann, E., Lewandowski, H. J. & Alemani, 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>

# Literatur

- Thees, M., Altmeyer, K., Kapp, S., Rexigel, E., Beil, F., Klein, P., Malone, S., Brünken, R. & Kuhn, J. (2022). Augmented Reality for Presenting Real-Time Data During Students' Laboratory Work: Comparing a Head-Mounted Display With a Separate Display. *Frontiers in Psychology, 13*, Artikel 804742. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.804742>
- Thoms, L.-J. (2019). Spektrometrie im Fernlabor. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25708-8>
- Theyßen, H. (1999). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin: Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 1999. *Studien zum Physiklernen: Bd. 9*. Logos Verlag.
- Werth, A., Hoehn, J. R., Oliver, K., Fox, M. F. J. & Lewandowski, H. J. (2021). *Rapid Transition to Remote Instruction of Physics Labs During Spring 2020: Instructor Perspectives*. <https://arxiv.org/abs/2112.12253>