

Nilab Abbas<sup>1</sup>  
Anna B. Bauer<sup>1</sup>  
Josef Riese<sup>1</sup>  
Peter Reinhold<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Paderborn

## **Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen für Theoretische Physik**

### **Ausgangslage und Ziele**

Die inhaltlichen Anforderungen der Theoretischen Physik werden von Studierenden in der Studieneingangsphase als besonders herausfordernd wahrgenommen und häufig als entscheidender Abbruchgrund des Physikstudiums genannt (Lui & Sun, 2010; Albrecht, 2011). Als besonders herausfordernd stellt sich der Erwerb von Problemlösefähigkeiten (Friege, 2001) durch das Bearbeiten von Übungsaufgaben sowie das hohe Abstraktionsniveau der mathematischen Methoden und der physikalischen Argumentation dar.

Um die Studierenden beim Erwerb von Problemlösefähigkeiten in der Theoretischen Physik zu unterstützen, werden in dem hier vorgestellten Projekt im Rahmen eines Design-Based-Research (DBR) Ansatzes (Wilhelm & Hopf, 2014) passgenaue digitale Selbstlernmaterialien zur Förderung von Problemlösefähigkeiten entwickelt und hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit und der Nutzungs- und Zufriedenheitswerte evaluiert.

### **Wissenszentriertes Problemlösen**

Typische universitäre Übungsaufgaben erfordern differenzierte Analysen und schlussfolgerndes Denken unter Nutzung physikalischen Fachwissens (Smith, 1991). Das Modell von Friege (2001) beschreibt die Phasen des Lösungsprozesses solcher wissenszentrierter Problemlöseaufgaben und verknüpft diese mit den zur Problemlösung nötigen Wissenselementen. Entscheidend für eine erfolgreiche Problemlösung sind demnach hierarchisiertes und vernetztes Fachwissen und Problemschemata als kognitive Ressourcen. Liegen diese Ressourcen nicht vor, kommt es zu Schwierigkeiten beim Problemlöseprozess: Ohne Fachwissen lassen sich die zugrunde liegenden physikalischen Konzepte eines Problems nicht identifizieren; fehlen Problemschemata kommt es zu Schwierigkeiten beim effektiven Finden von Lösungsansätzen.

### **Forschungsfragen**

Mit dem Projekt sind folgende Forschungsfragen verbunden:

**FF1:** Welche Schwierigkeiten und Herausforderungen beim Problemlösen in Theoretischer Physik lassen sich aus der Analyse von Lösungsprotokollen identifizieren?

**FF2:** Bewirkt die Nutzung der entwickelten Materialien ein erfolgreicherer Problemlösen?

**FF3:** Welche Konstruktions- und Gelingensbedingungen in Bezug auf die Entwicklung und den Einsatz von digitalen Selbstlernmaterialien beeinflussen den Lernerfolg?

### **Untersuchungsdesign und Ergebnisse**

Die Entwicklung und Evaluation erfolgt in zwei DBR-Zyklen (Abb. 2).

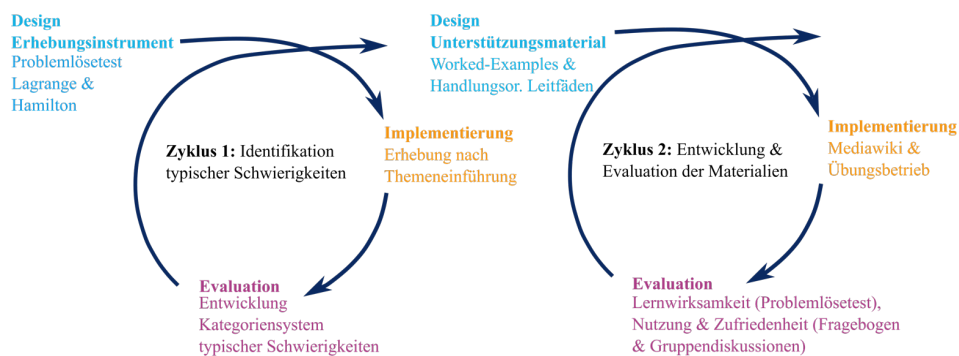


Abb. 1: Entwicklungs- und Evaluationsdesign (DBR) inkl. Testinstrumente

### Zyklus 1: Identifikation typischer Herausforderungen und Schwierigkeiten

Für die Identifikation typischer Schwierigkeiten beim Problemlösen wurde ein Problemlösetest zur Theoretischen Mechanik entwickelt. Dieser besteht aus drei typischen Lehrbuchaufgaben (Bartelmann et al., 2018) mit gestufter Komplexität zum Lagrange- und Hamilton-Formalismus. Die Aufgaben adressieren jeweils unterschiedliche Schritte des Problemlöseprozesses, um ein möglichst hohe Varianz der Schwierigkeiten erheben zu können. Die Erhebung fand im SoSe 22 kurz nach der jeweiligen Behandlung der Themen in der Veranstaltung statt (Lagrange N=15, Hamilton N=16).

Die Lösungsprotokolle wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring & Fenzl, 2019) analysiert und ein Kategoriensystem erstellt, das typische Fehler und Schwierigkeiten beim Problemlösen systematisiert. Dabei wurde ein Teil der Kategorien deaktiv auf Basis des Modells von Friege (2001) festgelegt und die übrigen induktiv aus dem Material abgeleitet. Zentrale Ergebnisse sind, dass die Studierenden vor allem beim Finden eines Lösungsansatzes sowie bei der Mathematisierung scheiterten. Das Finden eines Lösungsansatzes war vorrangig aufgrund von Defiziten im Fachwissen nicht möglich. Hier zeigte sich vor allem ein fehlendes konzeptuelles Verständnis. Bspw. wurden Zwangsbedingungen nicht als solche erkannt und als potentielle Energie wurde grundsätzlich das Gravitationspotential in Erdnähe angenommen. Beim Mathematisieren scheitern die Studierenden vor allem beim korrekten Aufstellen von Zwangsbedingungen und von Transformationsformeln zwischen kartesischen und generalisierten Koordinaten. An einem Teil der Lösungsprotokolle (N=8) wurde ein Interrating Verfahren durchgeführt, um die Trennschärfe des Kategoriensystems zu überprüfen. Es wurde eine Interrater-Übereinstimmung von  $\alpha=0,86$  (Krippendorffs  $\alpha$ ; Krippendorff, 2011) erreicht.

### Zyklus 2: Passgenaue Entwicklung und Evaluation der Unterstützungsmaterialien

Im zweiten Zyklus werden die Unterstützungsmaterialien basierend auf den identifizierten Schwierigkeiten entwickelt, eingesetzt und evaluiert. Der Fokus bei der Materialentwicklung liegt auf der Unterstützung beim Finden eines Lösungsansatzes. Aus der Expertiseforschung ist bekannt, dass das Finden von Lösungsansätzen vor allem durch Problemschemata als kognitive Ressourcen gesteuert wird (Reinhold et al., 1999). Diese bestehen aus Informationen darüber, welche konkreten Lösungsschritte beim Aufstellen eines Ansatzes durchzuführen sind und aus Anwendungsheuristiken, die über die Eignung jenes Ansatzes für das vorliegende

Problem Auskunft geben (Woitkowski, 2020). Um gezielt Problemschemata aufzubauen, wurden passgenau zu den identifizierten Schwierigkeiten neun Worked-Examples (Renkl, 2005) und zwei handlungsorientierte Leitfäden entwickelt. Die Worked-Examples demonstrieren ein *expertenhaftes* Vorgehen beim Problemlösen und sollen so zu Beginn des Fähigkeitserwerbs die kognitive Belastung reduzieren (Sweller, 1988). Die handlungsorientierten Leitfäden sollen den Erwerb eines konzeptuellen Verständnisses des Lagrange- und Hamilton-Formalismus unterstützen. Sie begründen die Schrittfolge beim Problemlösen und zeigen die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendbarkeit.

Zur Adressierung der heterogenen Lernvoraussetzungen der Studierenden werden komplexitätsgestufte Aufgabenstellungen und Lösungshinweise sowie Selbsttests zur Überprüfung des Wissens bereitgestellt. Die Materialien wurden im SoSe 23 in einem Mediawiki implementiert und im Übungsbetrieb als Unterstützungsangebot beworben.

Zur Evaluation wurde ein Mixed-Methods-Design (Bryman, (2006)) verwendet. Es wurden qualitative und quantitative Daten erhoben und miteinander trianguliert (siehe Tab. 1 nach Kirkpatrick (1959)). Da das hier vorgestellte Projekt in einem noch theoretisch unerschlossenen Forschungsfeld verortet ist, sollen so fundiertere Einblicke zu Herausforderungen in Theoretischer Physik und zur Wirksamkeit der Materialien ermöglicht werden.

Stufe	Observablen	Messung
Learning	Problemlöseleistung	Problemlösetest: Vergleich zwischen Kohorten SoSe 22 und SoSe 23 bzgl. Problemlöseleistung
	Klausurerfolg	Klausurergebnisse: Vergleich zwischen Kohorten SoSe 22 und SoSe 23 bzgl. Klausurleistung
	Selbst wahrgenommener Lernerfolg	Fragebogen & Gruppendiskussionen Ende SoSe23
Reaction	Nutzungs- & Zufriedenheitswerte	Fragebogen & Gruppendiskussionen Ende SoSe 23

Tab. 1: Evaluationskonzept - Triangulation qualitativer und quantitativer Daten

### Ausblick

Aktuell werden die erhobenen Daten zur Evaluation ausgewertet und die Lösungsprotokolle aus dem SoSe 23 mithilfe des Kategoriensystems analysiert. Die Ergebnisse sollen mit den Ergebnissen der vorherigen Kohorte verglichen werden, um so Hinweise zur Lernwirksamkeit der Materialien generieren zu können. Auf Basis der Ergebnisse der Auswertung aller Datensätze werden die Konstruktions- und Gelingensbedingungen für den Einsatz digitaler Selbstlernmaterialien generiert.

## Literatur

- Albrecht, A. (2011). Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik (Dissertation). Freie Universität Berlin, Berlin.
- Bartelmann, M., Feuerbacher, B., Krüger, T., Lüst, D., Rebhan, A., & Wipf, A. (2018). Theoretische Physik 1| Mechanik. Springer Berlin Heidelberg.
- Bryman, A. (2006). Integrating quantitative and qualitative research: how is it done?. *Qualitative research*, 6(1), 97-113.
- Friege, G. (2001). Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs, Band 19 von Studien zum Physiklernen. Logos-Verlag, Berlin.
- Kirkpatrick, D. L. (1959/60). Techniques for evaluating training programs Part I, II, III and IV. *Journal of the American Society of Training Directors*, 13(11), 13(12), 14(1) and 14(2).
- Krippendorff, K. (2011). Computing Krippendorff's alpha reliability.
- Liu, T., & Sun, H. (2010). Strategies of Theoretical Physics Instruction Reform. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 4, 113
- Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (pp. 633-648). Springer VS, Wiesbaden.
- Renkl, A. (2005). The worked out examples principle in multimedia learning. In Mayer, R.E. (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reinhold, P.; Lind, G.; Friege, G. (1999): Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 5 (1), S. 41–62.
- Smith, M. U. (1991). A View from Biology. In M. U. Smith (Hrsg.), *Toward a unified Theory of Problem Solving. Views from the Content Domains*. (S. 1–19). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Wilhelm, T., & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (pp. 31-42). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Woitkowski, D. (2020). Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata. *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Duisburg-Essen: Universität Duisburg-Essen, 373-376.