

## Kurzfassung

Der Einsatz digitaler Medien eröffnet neue Potentiale für den Physikunterricht wie beispielsweise eine neue Qualität der Visualisierung oder die Erweiterung experimenteller Möglichkeiten. Um diese Potentiale angemessen im Unterricht nutzen zu können, benötigen angehende Physiklehrkräfte bereits im Studium entsprechende (fachdidaktische) Lerngelegenheiten, um digitalisierungsbezogene Kompetenzen – wie das fachdidaktische Wissen (FDW) zum Einsatz digitaler Medien – erwerben zu können. Zudem sind die Evaluation solcher Lerngelegenheiten hinsichtlich des Wissenserwerbs sowie die Identifikation, welche Aspekte der Lerngelegenheiten dafür förderlich sind, bedeutsam. Zur Messung dieses Wissens wird häufig auf Selbsteinschätzungen zurückgegriffen, welche in ihrer Validität jedoch insbesondere im Vergleich zu Leistungstest zunehmend kritisiert werden. Während Untersuchungen zum FDW von angehenden Physiklehrkräften unter Nutzung etablierter Leistungstests nicht den Einsatz digitaler Medien adressieren, beziehen sich Studien zum digitalisierungsbezogenen FDW nicht auf das Fach Physik.

Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit untersucht, wie sich FDW zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik valide messen und wie sich solches Wissen in physikdidaktischen Lehrveranstaltungen angemessen fördern lässt. Dazu wird ein physikspezifischer Leistungstest zur Erfassung des FDW zum Einsatz digitaler Medien bei Physiklehramtsstudierenden entwickelt und im Hinblick auf mehrere Validitätsaspekte untersucht. Der Leistungstest wird im Prä-Post-Design zur Evaluation eines universitären Lehrkonzepts zum Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht genutzt, welches in Form von fachdidaktischen Seminaren an vier universitären Standorten in Deutschland und Österreich implementiert und beforscht wird. Durch anschließende retrospektive Interviews mit einem Teil der Seminarteilnehmenden wird identifiziert, welche Elemente des Lehrkonzepts mit Veränderungen in den Testantworten zusammenhängen und lernförderlich oder lernhinderlich für den Wissenserwerb scheinen. Abschließend werden daraus Schlussfolgerungen für zukünftige Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien abgeleitet.

---

Aus den Untersuchungen zur Validität ergeben sich mehrere Indizien für eine angemessene Validität des entwickelten Leistungstest hinsichtlich unterschiedlicher Aspekte. Die Prä-Post-Erhebungen in den Seminaren zeigen einen signifikanten Zuwachs im FDW zum Einsatz digitaler Medien mit kleiner Effektstärke. Aus der Interviewanalyse lassen sich insbesondere praktische Erfahrungen mit digitalen Medien als lernförderlich ableiten, aber auch eher theoretische Seminarinhalte zu lernpsychologischen Hintergründen (z. B. Cognitive Load Theory) und einzelnen Medien scheinen hilfreich. Teilweise werden von den Studierenden jedoch auch (v. a. positive) Einzelerfahrungen im Seminar fälschlich verallgemeinert und daraufhin Aufgaben im Post-Test weniger kritisch beantwortet. Demzufolge scheint insbesondere das kritische Reflektieren von Medieneinsätzen und -beispielen wichtig für lernwirksame Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien.

# 1 Einleitung

*„Digitale Medien ermöglichen unzählige technologische Aufbereitungs- und Interaktionsmöglichkeiten für Inhalte. Diese Möglichkeiten dürfen bei der Entwicklung digitaler Medien nicht beliebig ausgeschöpft werden, sondern müssen in ihrer fachdidaktischen Funktion auf den jeweiligen fachlichen Kompetenzaspekt abgestimmt sein.“ (Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz [SWK], 2022, S. 41–42)*

Die Digitalisierung stellt eine große Herausforderung für Gesellschaft und Bildung dar. Dies bezieht sich auf alle Phasen und Arten von Bildung und betrifft damit sowohl die Bildung an (allgemeinbildenden) Schulen als auch die Lehrkräftebildung (Kultusministerkonferenz [KMK], 2016). Die Bedeutung digitaler Medien in Schule und Unterricht wird dadurch zunehmend größer.

Dabei ist die Nutzung digitaler Medien im Unterricht nicht nur bildungspolitisch erwünscht, sondern bietet bei sinnvollem Einsatz auch Potentiale für den Unterricht und das fachliche Lernen (Hillmayr et al., 2020). So ermöglichen digitale Medien die Nutzung verschiedener Darstellungsformen, multipler Perspektiven und dynamisch-interaktiver Visualisierungen und bieten damit ein reichhaltiges Informationsangebot sowie die Möglichkeit unterschiedlicher Zugänge auf einen Lerngegenstand (SWK, 2022). Gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht kann durch die Nutzung digitaler Medien eine neue Qualität der Visualisierung geschaffen werden, um Lernende beim Erwerb konzeptionellen Verständnisses zu unterstützen (Girwidz, 2020c). Der Einsatz digitaler Medien im Unterricht ist dabei jedoch nicht als Automatismus oder Selbstläufer für fachliches Lernen zu verstehen. Vielmehr sollte für einen gelungenen Medieneinsatz dieser stets passend zum fachlichen Lernziel oder Lerngegenstand legitimiert sein (Girwidz, 2020b; Schwanewedel et al., 2018; SWK, 2022).

Um digitale Medien entsprechend sinnstiftend in den eigenen Fachunterricht implementieren und die möglichen Potentiale angemessen nutzen zu können, sollten angehende Lehrkräfte bereits in der ersten Phase der Lehrkräftebildung im Hinblick auf den Erwerb (fachdidaktischer) digitalisierungsbe-

zogener Kompetenzen gefördert werden (KMK, 2016; SWK, 2022). Es ist demnach notwendig, dass entsprechende lernwirksame Lerngelegenheiten bereits in der ersten Phase der Lehrkräftebildung integriert werden, um angehende Lehrkräfte auf den sinnstiftenden Einsatz digitaler Medien im Fachunterricht vorzubereiten (KMK, 2016). Die Implementation solcher Lerngelegenheiten zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen ist dabei nicht nur Aufgabe der Bildungswissenschaften oder einer übergeordneten Mediendidaktik, sondern ebenso der einzelnen Fächer und Fachdidaktiken (KMK, 2016; 2019; Schmid et al., 2020; SWK, 2022). Dass dieser Notwendigkeit nachgegangen wird, äußert sich beispielsweise bereits in einigen innovativen Lehrveranstaltungskonzepten zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen (z. B. Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2018). Um jedoch auch die Frage der Lernwirksamkeit zu berücksichtigen, ist eine Evaluation solcher Lerngelegenheiten unerlässlich.

In diesem Zusammenhang wird zur Untersuchung des digitalisierungsbezogenen Wissenserwerbs in den Lerngelegenheiten häufig das TPACK-Modell nach Mishra und Koehler (2006) herangezogen, welches verschiedene (technologiebezogene) Wissensbereiche des Professionswissens von Lehrkräften unterscheidet und als zentralen Wissensbereich technologiebezogenes fachdidaktisches Wissen bzw. TPACK berücksichtigt. Zur Erfassung dieser Wissensbereiche wird in der Regel auf Messinstrumente zur Selbsteinschätzung zurückgegriffen (Wang et al., 2018; Willermark, 2018). Diese Selbsteinschätzungsinstrumente sind jedoch hinsichtlich ihrer Validität und mangelnden Fachspezifität in Kritik (z. B. Akyuz, 2018; Kopcha et al., 2014; Kotzebue, 2022a; Lachner et al., 2019; Willermark, 2018) und messen scheinbar eher Selbstwirksamkeitserwartungen anstelle von Professionswissen (Backfisch et al., 2020b; Kotzebue, 2022a; Lachner et al., 2019; Scherer et al., 2017). Neben der Erfassung des technologie- oder digitalisierungsbezogenen Professionswissens ist für die Evaluation entsprechender Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien weiterhin bedeutsam, welche Aspekte lernwirksame Lerngelegenheiten ausmachen und förderlich für die Wissensentwicklung sind.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich vor diesem Hintergrund mit den zentralen Fragestellungen (1) wie sich TPACK bzw. fachdidaktisches Wissen zum

Einsatz digitaler Medien im Fach Physik valide messen lässt und (2) wie sich dieses Wissen in physikdidaktischen Lehrveranstaltungen angemessen fördern lässt. Die Arbeit ist Teil des Verbundprojekts DiKoLeP („Digitale Kompetenzen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik“) der Universitäten Graz, Innsbruck, Paderborn und Tübingen, welches sich aufgrund oben beschriebener Ausgangslage der Entwicklung und Evaluation eines universitären Lehrkonzepts zur Förderung digitaler Kompetenzen im Fach Physik widmet (Schubatzky et al., 2022). Die Evaluation des Lehrkonzepts erfolgt dabei unter anderem im Hinblick auf den Erwerb fachdidaktischen Wissens zum Einsatz digitaler Medien. Dabei wird ein physikdidaktischer Leistungstest als proximales Messverfahren verwendet, um Validitätsprobleme von Selbsteinschätzungen in diesem Bereich zu überwinden.

Das erste Ziel dieser Arbeit stellt daher die Modellierung des fachdidaktischen Wissens (FDW) zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik als Ausgangslage für eine anknüpfende Testerstellung dar. Das zweite Ziel bildet daraufhin die Entwicklung eines Leistungstests zur Erfassung dieses Wissens bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik sowie die Untersuchung der Validität im Hinblick auf eine angemessene Nutzbarkeit des Tests. Mithilfe des entwickelten Testinstruments wird das dritte Ziel dieser Arbeit verfolgt, die Entwicklung des FDW zum Einsatz digitaler Medien bei Lehramtsstudierenden in den physikdidaktischen Seminaren im Projekt DiKoLeP zu untersuchen. Das vierte Ziel der Arbeit stellt die Erkundung von Gründen für Veränderungen im gemessenen FDW dar sowie die Identifikation von lernförderlichen oder lernhinderlichen Seminarelementen. Dazu folgt anknüpfend an die quantitativen Erhebungen eine retrospektive Interviewstudie mit einem Teil der Seminarteilnehmenden. In dieser Interviewstudie wird erkundet, wie die Teilnehmenden ihre Veränderungen im gemessenen FDW zum Einsatz digitaler Medien über das Seminar begründen und welche Seminarelemente sich als lernförderlich erweisen. Die Erkenntnisse der Interviewstudie werden genutzt, um im Rahmen des fünften Ziels Hypothesen zur Gestaltung lernwirksamer Lerngelegenheiten zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik abzuleiten.

### Struktur der Arbeit

An dieser Stelle wird die Struktur der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Die nachfolgenden Kapitel 2 bis 4 beschreiben die theoretischen Grundlagen und den relevanten Forschungsstand für diese Arbeit. In Kapitel 2 wird ausgehend vom übergeordneten FDW in Physik (2.1 und 2.2) das zentrale Konstrukt dieser Arbeit – das FDW zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik – unter Berücksichtigung angrenzender und ähnlicher Modellierungen in diesem Bereich (wie z. B. TPACK) dargestellt (2.3). Kapitel 3 thematisiert die Untersuchung von FDW und TPACK. Ausgehend von einer kurzen allgemeinen Darstellung quantitativer und qualitativer Zugänge in der fachdidaktischen Forschung (3.1), wird der Fokus auf die quantitative Kompetenzmessung gelegt. So erfolgt in 3.2 die Erläuterung von Verfahren der Kompetenzmessung in der Lehrkräftebildungsforschung sowie in 3.3 von Anforderungen hinsichtlich Qualitäts- und Validitätsaspekten bei Kompetenzmessungen. Anschließend werden verschiedene Messmodelle und -verfahren zur Messung von FDW (3.4) und TPACK (3.5) vorgestellt. Kapitel 4 zeigt den Forschungsstand in Bezug auf die Entwicklung von FDW im Allgemeinen (4.1) und von FDW zum Einsatz digitaler Medien bzw. TPACK (4.2) in der Lehrkräftebildung (im Fach Physik bzw. den Naturwissenschaften) auf.

Kapitel 5 beschreibt die fachdidaktischen Lerngelegenheiten an den beteiligten Standorten im Verbundprojekt DiKoLeP als Kontext der vorliegenden Arbeit. Anknüpfend an einen Überblick zum Verbundprojekt (5.1) werden das übergreifende Lehrkonzept (5.2.1) und die standortspezifischen Ausprägungen dargestellt (5.2.2 und 5.2.3). Die Formulierung der Ziele und Forschungsfragen dieser Arbeit erfolgt in Kapitel 6 auf Basis des beschriebenen Forschungsstandes und daraus abgeleiteten Desideraten. Anschließend wird in Kapitel 7 das methodische Vorgehen und Studiendesign der Arbeit skizziert. Darauf folgt eine Unterteilung in einen quantitativen und einen qualitativen Teil zur Vorstellung der Operationalisierungen und vorgenommenen Untersuchungen sowie der Ergebnisse dieser Arbeit.

Der quantitative Teil der Arbeit wird in den Kapiteln 8 bis 11 beschrieben. Zunächst wird die Testentwicklung (Kapitel 8) vorgestellt. Dazu zählen die Modellierung des FDW zum Einsatz digitaler Medien (8.1) sowie die systematische Aufgabenentwicklung anhand eines Itementwicklungsmodells (8.2).

Die Pilotierung des vorläufigen Testinstruments sowie anschließende Optimierungen werden in 8.3 erläutert. In 8.4 werden Ergebnisse zur Untersuchung der Testgüte der optimierten Testinstruments beschrieben. Kapitel 9 beinhaltet die einzelnen Teilstudien zur Untersuchung der Validität des entwickelten Testinstruments (9.1 bis 9.5) sowie eine Zusammenfassung dieser (9.6). In Kapitel 10 wird schließlich das entwickelte Testinstrument in seiner finalen Form inklusive einigen Aufgabenbeispielen (10.2) vorgestellt. Kapitel 11 zeigt die Ergebnisse zur Entwicklung des FDW zum Einsatz digitaler Medien über die untersuchten Seminare mithilfe des entwickelten Leistungstests.

Im qualitativen Teil der Arbeit werden in Kapitel 12 zunächst die Gestaltung und Auswertung der qualitativen retrospektiven Interviewstudie beschrieben, indem der Interviewleitfaden und zusätzliche Interviewmaterialien (12.2) sowie das entwickelte Kategoriensystem zur Analyse der Interviews dargestellt werden (12.3). Kapitel 13 beinhaltet die Ergebnisse der retrospektiven Interviewstudie in Bezug auf die Erkundung von Gründen für die Veränderungen im Testverhalten (13.1) und die Identifikation von lernförderlichen und lernhinderlichen Seminarelementen (13.2). Die entwickelten Hypothesen zur Gestaltung von Lehrveranstaltungen zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik werden in 13.3 vorgestellt.

Das abschließende Kapitel 14 beinhaltet das Fazit dieser Arbeit. Es werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und diskutiert (14.1) sowie die Grenzen der vorliegenden Arbeit beleuchtet (14.2). Zum Abschluss wird ein Ausblick hinsichtlich möglicher Anknüpfungspunkte in Forschung und Lehrkräftebildung gegeben (14.3).





## **2 Fachdidaktisches Wissen zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik**

Dieses Kapitel beschreibt den theoretischen Hintergrund zum fachdidaktischen Wissen (FDW) zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik beschrieben – jener Teil des Professionswissens von angehenden Physiklehrkräften, der in dieser Arbeit im Vordergrund steht. Zunächst wird das FDW im Modell der professionellen Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften verortet (2.1) und anschließend inhaltlich beschrieben (2.2). Schließlich wird der Fokus auf den Einsatz digitaler Medien im Unterricht gelegt und unter Berücksichtigung verschiedener Strukturierungen und Modelle in diesem Bereich das fokussierte Konstrukt dieser Arbeit – FDW zum Einsatz digitaler Medien im Fach Physik – definiert (2.3). In 2.4 folgt eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte des Kapitels.

### **2.1 Fachdidaktisches Wissen als Teil professioneller Handlungskompetenz**

Die Lehrkräftebildungsforschung beschäftigt sich unter anderem mit der Überprüfung des Ausbildungserfolgs der universitären Lehrkräftebildung. Dabei stellt der Erwerb professioneller Kompetenz ein Ziel dieser ersten Phase der Lehrkräftebildung dar (z. B. Baumert & Kunter, 2006; Terhart, 2002). Um dies empirisch erfassen zu können, ist eine möglichst klare Definition des untersuchten Kompetenzbegriffs sowie eine passende Kompetenzmodellierung vonnöten (Riese, 2009). Als Basis wird dazu in der Lehrkräftebildungsforschung Weinerts (2001a) Konzept der *Handlungskompetenz* aufgegriffen.

Der Begriff Kompetenz erscheint aus dem Alltag bekannt, lässt sich jedoch in diesem Verständnis kaum von synonym verwendeten Begriffen wie „Können“ und „Fähigkeit“ abgrenzen und damit präzise definieren (Weinert, 2001a). Dennoch lässt sich in Bereichen wie Philosophie, Psychologie und Soziologie Kompetenz vergleichsweise einheitlich als ein grob spezialisiertes System von Fähigkeiten, Können und Kenntnissen verstehen, welche zum Erreichen eines speziellen Ziels notwendig oder hinreichend sind (Weinert,

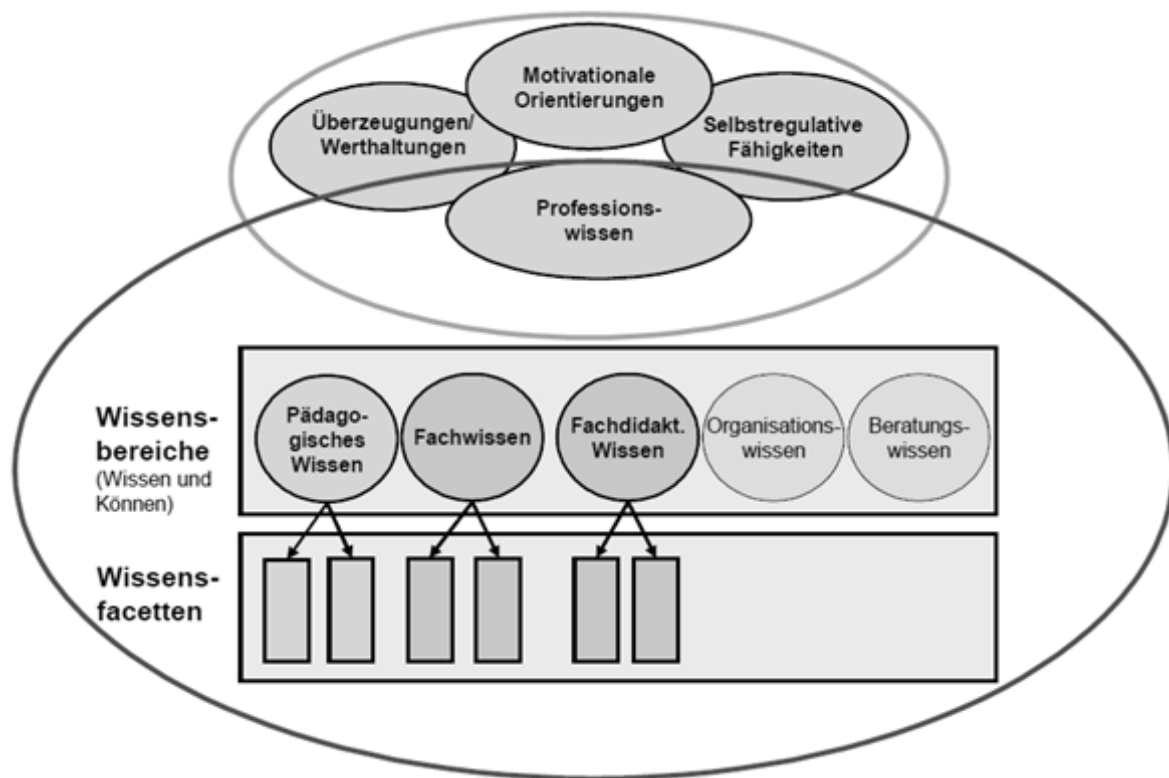
2001a). Allgemein kann Kompetenz nach Weinerts Verständnis damit als kognitive Fähigkeit und Fertigkeit verstanden werden:

*„Dabei versteht man unter Kompetenzen die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können.“* (Weinert, 2001b, S. 27–28)

Die Verknüpfung von kognitiven Fähigkeiten mit motivationalen und sozialen Voraussetzungen, welche zum erfolgreichen Lernen und Handeln vonnöten oder verfügbar sind, bezeichnet Weinert dabei als *Handlungskompetenz*, welche von allgemein kognitiven Kompetenzen (z. B. fachlichen und überfachlichen Kompetenzen) zu unterscheiden ist (Weinert, 2001a, 2001b). In der dargestellten Definition wird dabei Erlernbarkeit als eine Eigenschaft von Kompetenz deutlich, die für die Lehrkräftebildungsforschung eine wichtige Rolle spielt. Dass Kompetenz erlernbar ist, macht die Messung dieser z. B. zur Untersuchung der Wirksamkeit der Lehrkräftebildung überhaupt sinnvoll (Riese, 2009).

Weinerts (2001a, 2001b) Begriff der Handlungskompetenz stellt seitdem eine Grundlage für die Entwicklung von Kompetenzmodellen zur (fachspezifischen) Untersuchung der Lehrkräftebildung dar, welche dabei neben kognitiven Aspekten auch motivationale und volitionale Aspekte berücksichtigen. Populär und Ausgangspunkt einiger nationaler Studien ist das Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006), welches im Rahmen eines Forschungsprogramms zur Untersuchung der Kompetenz von Mathematiklehrkräften (COACTIV: Kunter et al., 2011) entwickelt wurde. In diesem Modell wird für den kognitiven Bereich das Professionswissen als wesentlicher Teil der Handlungskompetenz einer Lehrkraft betrachtet. Für die weitere Spezifikation des Professionswissens werden unterschiedliche Wissensbereiche differenziert. Ausgehend von Shulmans (1986) Topologie zum professionellen Wissen von Lehrkräften (2.2) hat sich dabei die Unterscheidung in die drei Wissensbereiche pädagogisches Wissen, Fachwissen und FDW praktisch durchgesetzt (Baumert & Kunter, 2006).

Die einzelnen Wissensbereiche weisen nochmals eine Unterscheidung in verschiedene Facetten auf, welche für Fachwissen und FDW domänenspezifisch sind (Abbildung 2-1).



**Abbildung 2-1:** Modell professioneller Handlungskompetenz und innerer Struktur des Professionswissens nach Baumert und Kunter (2006, S. 482)

Daran orientiert entwickelte Riese (2009) für das Fach Physik ein entsprechendes Modell der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Auch hier wird eine Aufteilung der professionellen Handlungskompetenz in einen kognitiven Kompetenzbereich mit dem Professionswissen von Lehrkräften sowie einen affektiven Bereich, der motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten enthält, vorgenommen. Ebenso wird für das Professionswissen die Dreiteilung in fachliches Wissen, FDW und pädagogisches Wissen aufgegriffen (Abbildung 2-2).