

Beurteilungsprozesse angehender Lehrkräfte bei der Analyse interaktiver Arbeitsblätter

Alex Engelhardt & Jürgen Roth

Universität Koblenz-Landau, Landau

Obwohl einem zielgerichteten digitalen Medieneinsatz viele Potentiale zugesprochen werden, bleibt der Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht gering. Eine mögliche Ursache könnte das diesbezüglich ausbaufähige Professionswissen von Mathematiklehrkräften sein. Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Beitrag die für das Unterrichten mit interaktiven Arbeitsblättern zu funktionalen Zusammenhängen benötigten Fähigkeiten zusammengestellt und in Beziehung zu bekannten Professionswissensmodellen gesetzt. Darauf aufbauend wird eine Studie vorgestellt, in der untersucht wird, wie angehende Mathematiklehrkräfte bei der Beurteilung von interaktiven Arbeitsblättern vorgehen und wie die zugehörigen Fähigkeiten gefördert werden können.

Einleitung

Unterrichtsplanung ist eine zentrale Tätigkeit im Alltag von Lehrkräften. Dazu gehört, als eine wesentliche Aufgabe, auch die Wahl geeigneter Medien, die abgestimmt auf Lernvoraussetzungen, -ziele und -inhalte erfolgen sollte. Da die Medienwahl in der Praxis häufig eher auf Basis subjektiver Vorlieben und Einstellungen zu erfolgen scheint, fordert Hattie (2015), dass Lehrkräfte lernen den Medieneinsatz zu optimieren. Dazu sind technisches, fachliches und didaktisches Wissen sowie die Fähigkeit notwendig, diese Komponenten zielführend zu kombinieren. Das TPACK-Modell nach Mishra und Koehler (2006) versucht, die benötigten Wissenskomponenten in einem Professionswissensmodell theoretisch zu fassen. TPACK (*technological pedagogical and content knowledge*) stellt das seitens der Lehrkräfte benötigte Professionswissen dar, um digitale Medien zielgerichtet im Fachunterricht einzusetzen.

Eine Ursache dafür, dass digitale Medien nach wie vor nur selten im alltäglichen (Mathematik-)Unterricht eingesetzt werden (Eickelmann et al., 2019), könnte darin bestehen, dass Unterrichten mit digitalen Technologien ein über das fachdidaktische Wissen hinausgehendes Wissen erfordert. Insbesondere der Einsatz für die Schülerhand ist verschwindend gering (Eickelmann et al., 2019). Im Kontrast dazu stehen empirische Ergebnisse, die nachweisen, dass ein zielgerichteter Einsatz digitaler Medien in vielen Bereichen zu einem großen Lernzuwachs führt. Dies gilt z. B. für den Einsatz interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen (Lichti, 2019). Dabei wird unter einem interaktiven Arbeitsblatt ein Applet auf der Basis eines dynamischen Mathematik-Systems (DMS) mit zugehörigen Aufgabenstellungen verstanden (Vollrath & Roth, 2012). Der Einsatz interaktiver Arbeitsblätter bietet sich beim Unterrichten funktionaler Zusammenhänge auf Grund mehrerer Aspekte an, die im nächsten Kapitel herausgearbeitet werden.

Um (angehenden) Lehrkräften das laut Hattie (2015) geforderte Professionswissen vermitteln zu können, muss zunächst geklärt werden, welches Wissen und welche Fähigkeiten zum zielgerichteten Unterrichten mit interaktiven Arbeitsblättern benötigt werden. Dazu wird im Folgenden das TPACK-Modell vorgestellt und im Hinblick auf die Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter kritisch reflektiert.

Theoretischer Hintergrund

Potentiale des Einsatzes interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen

Nach Vollrath (1989) liegen dem Funktionsbegriff drei Aspekte zugrunde: *Zuordnung* (einem jeden Wert einer Größe wird genau ein Wert einer zweiten Größe zugeordnet), *Änderungsverhalten* bzw. *Kovariation* (die Auswirkung der Änderung einer unabhängigen Größe auf die Änderung einer von dieser abhängigen Größe) und die *Funktion als Objekt* (die Betrachtung der Funktion als ein Objekt, welches einen Zusammenhang als Ganzes beschreibt). In der neueren Literatur werden diese Aspekte auch Grundvorstellungen genannt. Dabei versteht man unter Grundvorstellungen inhaltliche Deutungen zu einem mathematischen Begriff, die Übersetzungen zwischen Mathematik und Anwendungssituationen ermöglichen. Während die Zuordnungsvorstellung den meisten Lernenden wenig Schwierigkeiten bereitet, ist die Kovariationsvorstellung bei vielen Lernenden unterentwickelt (Malle, 2000). Lichti (2019) konnte zeigen, dass sich insbesondere die Kovariationsvorstellung durch den Einsatz interaktiver Arbeitsblätter auf Basis des DMS GeoGebra fördern lässt. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass die Lernenden dort gezielt Manipulationen vornehmen können und entsprechend in Echtzeit Feedback durch das Programm erhalten. So sind unmittelbar Rückschlüsse auf die getätigten Änderungen und Abhängigkeiten möglich (Doorman et al., 2012).

Ein weiterer Vorteil des Einsatzes interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen auf der Basis von GeoGebra liegt darin, dass es sich bei GeoGebra um ein Multi-Repräsentations-System handelt. Dies bietet die Möglichkeit, verschiedene Darstellungsformen einer Funktion simultan sichtbar zu machen. Auch kann durch Dyna-Linking (Ainsworth, 2006) oder Fokussierungshilfen (Roth, 2005) die Übersetzung zwischen den Darstellungsformen unterstützt werden, um den kognitiven Anspruch zu reduzieren und den Fokus auf die Auswirkung einer angestoßenen Veränderung zu legen. Dadurch wird der dynamische Aspekt des funktionalen Denkens betont.

Darüber hinaus kann der Wechsel zwischen verschiedenen Darstellungsformen die Grundvorstellungen zu Funktionen aktivieren und gelingende Darstellungswechsel gelten als Indikator für entwickeltes funktionales Denken. Folglich kann der Einsatz interaktiver Arbeitsblätter auf Basis eines Multi-Repräsentations-Systems das funktionale Denken positiv beeinflussen, da es die Lernenden bei Darstellungswechseln unterstützen kann (Lichti, 2019). Hier sei angemerkt, dass mehr Darstellungsformen nicht zwangsläufig lernförderlicher sind. Sie können einem Lernzuwachs sogar im Weg stehen, wenn Lernende durch eine Vielzahl an Darstellungsformen kognitiv überfordert werden, weil sie die Darstellungsformen und Übersetzungen zwischen ihnen jeweils verstehen müssen (Tabachneck-Schijf & Simon, 1998). Um das zu verhindern, nutzen wir das DeFT-Framework von Ainsworth (2006). Dabei handelt es sich um einen konzeptionellen Rahmen für das Lernen mit multiplen Repräsentationsformen und bietet deshalb eine Grundlage für Entscheidungen zum adäquaten Einsatz von Repräsentationsformen in Lernsettings.

Zuletzt lässt sich noch ein organisatorisches Potential nennen. Experimente können zum Entwickeln des funktionalen Denkens beitragen, da sie die zugrunde liegende Mathematik handlungsorientiert erfahrbar machen (Ludwig & Oldenburg, 2007). Interaktive Arbeitsblätter bieten sich im Gegensatz zu gegenständlichem Material genau dann zum Experimentieren an, wenn beispielsweise Realexperimente zu teuer oder gefährlich sind. Damit einher geht das Potential, dass Lernende mit interaktiven

Arbeitsblättern in kurzer Zeit sehr viele Beispiele generieren und untersuchen können, was zeitsparend wirken kann.

Cognitive Theory of Multimedia Learning und der Einsatz interaktiver Arbeitsblätter

Es gibt empirische Belege, dass das Gelingen von Unterricht mit digitalen Medien wesentlich vom Design des Materials abhängt (Mayer, 2001). Konkret hängt der Lernzuwachs davon ab, ob Lernende genug kognitive Ressourcen besitzen, die dynamischen Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten (Mayer, 2001). Aus diesem Grund beschreibt Mayer (2001) mit der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) kognitive Prozesse, die bei der Auseinandersetzung mit digitalen Materialien geschehen. Die CTML geht davon aus, dass Lernende zunächst verbale und visuelle Informationen separat aufnehmen und diese zu kohärenten, mentalen Modellen strukturieren, bevor sie dann miteinander und mit dem Vorwissen in Verbindung gebracht werden können (Mayer, 2001).

Beim Unterrichten mit interaktiven Arbeitsblättern ist durch den gemeinsamen Einsatz von Aufgabenstellungen, die die Lernenden zum Entdecken und Reflektieren mathematischer Phänomene anregen, digitalen Technologien und häufig mehreren genutzten Darstellungsformen von einem erhöhten kognitiven Anspruch auszugehen (de Jong, 2005; Tabachneck-Schijf & Simon, 1998; Ainsworth, 2006). Deshalb sollte die durch das Material bewirkte extrinsische kognitive Last geringgehalten werden. Hierfür hat Mayer (2001) eine Reihe von Prinzipien zum Lernen mit Multimedia aufgestellt, die teilweise bereits im Programm GeoGebra berücksichtigt wurden. Dazu gehört, dass z. B. die Beschriftung von Objekten direkt am Objekt ausgegeben wird (Kontiguitätsprinzip; vgl. Mayer, 2001; Hohenwarter & Preiner, 2008). Eine vollständige Auflistung der multimedialen Gestaltungsprinzipien findet sich bei Mayer (2001). Neben diesen allgemeinen Prinzipien sind für interaktive Arbeitsblätter noch weitere Prinzipien der Visualisierung und der Interaktivität bei Gestaltung und unterrichtlichem Einsatz zu beachten, die von Plass et al. (2009) zusammengestellt und beschrieben wurden. Alle genannten Aspekte fließen in das sogenannte TPACK-Modell mit ein.

TPACK-Modell

Beim TPACK-Modell handelt es sich um einen Ordnungsrahmen für das Professionswissen von Lehrkräften, das notwendig ist, um digitale Technologien zielgerichtet im Unterricht nutzen zu können. Dabei ergänzt das TPACK-Modell von Mishra und Koehler (2006) das von Shulman (1986) beschriebene Professionswissen von pädagogischem (PK), fachwissenschaftlichem (CK) und fachdidaktischem (PCK) Wissen um die Komponente des technologischen Wissens (TK) sowie den neu resultierenden Schnittmengen TPK, TCK und TPACK (vgl. Abb. 1).

Beim technologischen Wissen (TK) geht es um das technische Wissen zur Nutzung der aufkommenden, digitalen Medien wie Programme, Geräte oder Hardware (Mishra & Koehler, 2009). Das technologische Inhaltswissen (TCK) ist das Wissen darüber, wie Technologie und Fachwissen sich gegenseitig beeinflussen. Dazu gehört das Wissen über technische Hilfen zur Darstellung von Fachwissen, wie z. B. die Darstellung von Funktionen in GeoGebra. Bei dem technologisch-pädagogischen Wissen (TPK) handelt es sich um das Wissen, wie sich der Einsatz von Technologien auf Lern- und Lehrprozesse auswirkt.

Aus fachdidaktischer Sicht ist insbesondere das technologisch-pädagogische Inhaltswissen (TPACK) interessant: TPACK bezieht sich auf das fachdidaktische Wissen zum Einsatz von Technologien zum Erreichen fachlicher Ziele. Es handelt sich um eine Synthese aller obigen Wissensbereiche. Die Autoren heben hervor, dass es sich um professionelles Wissen handelt, um komplexe Unterrichtssituationen zu bewältigen, indem die Lehrkraft flexibel Wissen aus verschiedenen Domänen aktivieren kann und diese in Bezug zueinander und zum Kontext setzen kann (Koehler & Mishra, 2009).

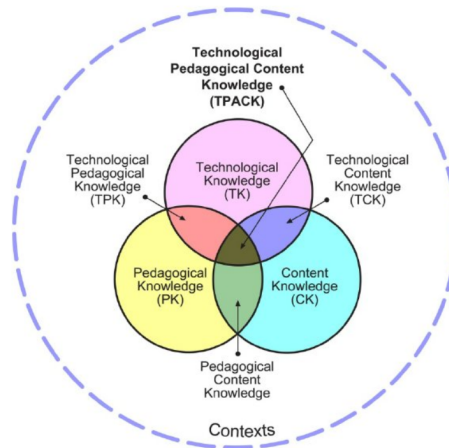


Abbildung 1: TPACK-Framework (Koehler & Mishra, 2009)

Diskussion TPACK!?

Die durch das TPACK-Modell formulierten Komponenten des Professionswissen erscheinen plausibel und genießen deswegen eine breite Akzeptanz unter Forschenden. Darüber hinaus verdeutlicht das Modell, dass eine ausschließliche Fokussierung auf technologisches oder Bedienungswissen nicht genügt, um digitale Medien adäquat im Unterricht einsetzen zu können. Trotzdem schreiben Koehler und Mishra (2009) den drei Wissensdomänen in ihrem Modell gleichwertige Rollen für gutes Lehren zu. Eine Gleichstellung der auf technologischem Wissen basierenden Wissenskomponenten mit den Wissensdomänen PK, CK und PCK erscheint jedoch nicht sinnvoll. Selbst die Autoren des TPACK-Modells gestehen ein, dass es sich beim technologischen Wissen um eine fließende Wissenskomponente handelt, die sich beim regelmäßigen Einsatz digitaler Medien auflösen würde (Brantley-Dias & Ertmer, 2014). Aus diesem Grund schlagen Brantley-Dias und Ertmer (2014) vor, das technologische Wissen als Teilmenge von PCK zu konzeptualisieren, da infrage gestellt werden kann, inwiefern sich digitale Medien überhaupt von traditionellen Medien unterscheiden. Dieser Ansatz steht eher im Einklang mit unserem Verständnis, das das Potential eines digitalen Medieneinsatzes unter dem Primat und ausgehend von der Fachdidaktik erfolgen sollte.

Auch aus empirischer Perspektive erscheint das TPACK-Modell problematisch. Eines der Hauptprobleme liegt in der fehlenden Validität und Reliabilität von Messinstrumenten (Drummond & Sweeney, 2017). Eine grundlegende Problematik der meisten Studien zum TPACK-Modell besteht darin, dass die Daten nur auf Selbstauskünften der Probanden basieren. Darüber hinaus werden die Selbsteinschätzungen oft ohne fachlichen Bezug abgefragt (Drummond & Sweeney, 2017), was gerade nicht im Einklang mit dem TPACK-Modell ist. Ein weiteres Problem des Erfassens von TPACK liegt in der mangelnden Trennschärfe der einzelnen Wissensdomänen (Kimmons, 2015). Da bereits in Shulmans (1986) Konzeptualisierung von PCK die Übergänge fließend sind, folgert Kimmons

(2015), dass TPACK als Konstrukt mindestens genauso schwierig zu messen ist. Gestützt wird diese These dadurch, dass einzelne Wissensdomänen des TPACK-Modells teilweise hoch mit TPACK selbst korrelieren (Archambault & Crippen, 2009).

Resümierend lässt sich festhalten, dass der Medieneinsatz als erstes immer dem Erreichen fachlicher Ziele dienen soll. Demnach sind enge Wechselwirkungen zwischen dem Einsatz von interaktiven Arbeitsblättern auf Basis von GeoGebra, der Gestaltung der interaktiven Arbeitsblätter und dem fachdidaktischen Wissen zu funktionalen Zusammenhängen zu erwarten. Diese Sichtweise, die dem TPACK-Modell widerspricht, ist im Einklang mit den dargestellten Forschungsergebnissen. Es ist folglich davon auszugehen, dass die Wissenskomponenten fließend ineinander übergehen und nicht klar trennbar sind, da sie sich gegenseitig bedingen und befruchten. Basierend auf diesen Überlegungen wird im Folgenden die Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen ausdifferenziert. Dabei werden die im TPACK-Modell vorgestellten Wissenskomponenten (zumindest implizit) in unterschiedlichem Umfang berücksichtigt. Konkret lässt sich die Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen im Zentrum des TPACK-Modells verorten.

Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen

Im Folgenden stellen wir ein eigenes theoretisches Modell für die Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen vor, das sich aus vier Bestandteilen zusammensetzt. Der Kern und Ausgangspunkt des Modells ist das inhaltspezifische, fachdidaktische Wissen zu funktionalen Zusammenhängen. Die inhaltspezifischen Besonderheiten des Unterrichtens von funktionalen Zusammenhängen – worunter beispielsweise das Ausbilden von Grundvorstellungen, das Interpretieren und Übersetzen von Darstellungsformen oder das Wissen über Fehlvorstellungen fallen – werden dann mit den Potentialen des Einsatzes von interaktiven Arbeitsblättern auf Basis von GeoGebra in Verbindung gebracht. Hierzu benötigen Lehrkräfte GeoGebra Kenntnisse (vgl. Abb. 2).

Der dritte Bestandteil ist das Aufgabendesign, dem im Mathematikunterricht generell, aber insbesondere auch beim Einsatz digitaler Medien, ein hoher Stellenwert zukommt. Unabhängig vom mathematischen Inhalt gibt es allgemeine Anforderungen an Aufgabenstellungen wie etwa, dass sie nachhaltiges Lernen fördern, Lernende kognitiv aktivieren und dazu befähigen, Lösungsstrategien zu entwickeln und anzuwenden (Roth, im Druck). In Bezug auf funktionale Zusammenhänge sollten die Aufgaben außerdem Grundvorstellungen des Funktionenbegriffs berücksichtigen und einer logischen Progression folgend gestaltet sein. Darüber hinaus erfordert der Einsatz von interaktiven Arbeitsblättern auf Basis von GeoGebra eine besondere strukturelle Gestaltung von Arbeitsaufträgen. Zum einen soll durch die Aufgabenstellung selbst keine weitere extrinsische Last entstehen. Aus diesem Grund schlägt de Jong (2005) vor, die im Applet erforderliche Interaktion bereits durch die Aufgabenstellung zu initiieren, um so den Lernenden eine technische Anleitung zu geben (vgl. *guided-discovery principle*; de Jong, 2005). Fragen können z. B. der Gestalt „was passiert mit X, wenn Y ...“ sein (Hohenwarter & Preiner, 2008) und damit dem operativen Prinzip folgen. Zum anderen sollte in der Aufgabenstellung explizit eine schriftliche Sicherung eingefordert werden (Hohenwarter & Preiner, 2008), da sie die Lernenden einerseits zu einer vertieften Auseinandersetzung mit den Inhalten herausfordert und andererseits erst durch die schriftliche Sicherung der Ergebnisse eine Weiterarbeit im

Unterricht möglich wird (Roth, im Druck). Im Prozess der Konzeption der Arbeitsaufträge ist es erforderlich, diese hinsichtlich des fachdidaktischen Wissens zu funktionalen Zusammenhängen und der GeoGebra Kenntnisse zu reflektieren, um eine Passung zu den Lernzielen und dem Applet zu gewährleisten. In ähnlicher Weise ist es notwendig, die GeoGebra Kenntnisse bei der Gestaltung des Applets stetig vor dem fachdidaktischen Hintergrund zu beleuchten.

Den Rahmen des Modells bildet die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML). Sie hat keinen Einfluss auf die Formulierung von fachlichen Zielen, jedoch bildet sie einen erweiterten Gelingenrahmen, um diese Ziele (noch besser) zu ermöglichen. Bei der Auswahl und Gestaltung von interaktiven Arbeitsblättern sind deshalb auf allen Ebenen (z. B. beim Übersetzen von Darstellungsformen, beim Aufgabendesign und bei der Interaktivität des Applets) die multimedialen Gestaltungsprinzipien zu beachten, damit die zu Verfügung stehenden kognitiven Kapazitäten für das Entdecken und Reflektieren mathematischer Inhalte genutzt werden können.

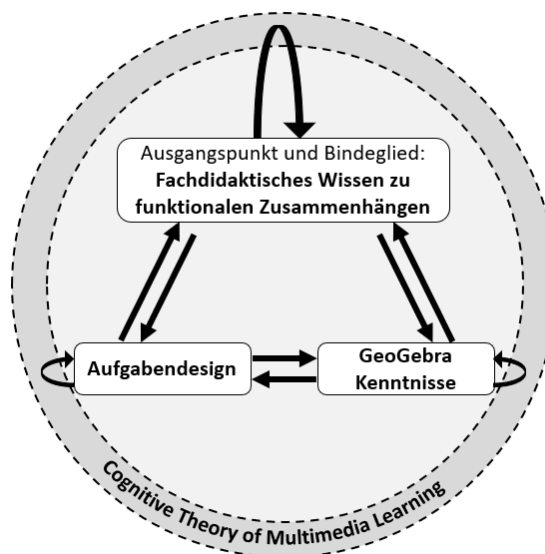


Abbildung 2: Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen

Ausblick auf das Studiendesign

Forschungsperspektive

Zur Weiterentwicklung der Fähigkeit zur Beurteilung von interaktiven Arbeitsblättern ist wesentlich zu erfassen, wie angehende Lehrkräfte dabei von sich aus vorgehen, worauf sie selbstständig eingehen und welche Wissenskomponenten sie nicht berücksichtigen. In einer geplanten Studie soll deshalb folgende erste Forschungsfrage untersucht werden:

FF1: Wie gehen Studierende bei der Beurteilung von interaktiven Arbeitsblättern vor?

Darauf aufbauend ist geplant, die Fähigkeit von Studierenden zur Beurteilung von interaktiven Arbeitsblättern, entsprechend der Forderung von Hattie (2015), in einem Lehr-Lern-Labor-Seminar zu fördern und zu untersuchen, wie sich die Beurteilungen der Studierenden während des Seminars verändern. Hierbei soll folgende zweite Forschungsfrage leitend sein:

FF2: Wie entwickeln sich die Beurteilungsprozesse im Laufe eines Lehr-Lern-Labor-Seminars?

Datenerhebung

Im Rahmen des Projekts werden die kognitiven Prozesse bei der Analyse von interaktiven Arbeitsblättern untersucht. Dazu werden den Teilnehmenden eines Lehr-Lern-Labor-Seminars, dass alle Masterstudierende des Lehramts Mathematik für Sekundarstufen an der Universität in Landau belegen, interaktive Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen mit einem vorgegebenen Lernziel vorgelegt. Im Rahmen von Einzelinterviews werden sie angehalten im Sinne des lauten Denkens über die interaktiven Arbeitsblätter zu reflektieren. Zum einen soll dies eine Unterrichtsvorbereitung simulieren, zum anderen soll das laute Denken eine Rekonstruktion der kognitiven Prozesse ermöglichen. An die Phase des lauten Denkens schließt sich unmittelbar ein strukturiertes Interview mit dem Probanden an. Darin werden von den Studierenden bis dahin offen gelassene Aspekte durch Prompts adressiert. Sowohl beim lauten Denken als auch beim strukturierten Interview werden jeweils die Interaktionen der Probanden mit dem interaktiven Arbeitsblatt auf dem Computerbildschirm aufgezeichnet. Auf diese Weise werden Daten zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Seminars erhoben. Die im Interview genutzten interaktiven Arbeitsblätter sind im Rahmen vorhergehender Lehr-Lern-Labor-Seminare von Studierenden erstellt worden. Diese interaktiven Arbeitsblätter wurden vor dem Einsatz in den Interviews von Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktikern mit einer besonderen Expertise im Bereich digitaler Technologien beurteilt (N=10).

Datenauswertung

Da die aufgezeichneten Bildschirmaufnahmen sehr umfangreiches Datenmaterial liefern und ein Ziel der Studie die Visualisierung der Beurteilungsprozesse der angehenden Lehrkräfte ist, bietet sich eine inhaltlich-reduzierende Auswertung an. Deshalb werden zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage die durch Aufzeichnungen lauten Denkens gewonnenen Daten mittels inhaltlich strukturierender und anschließend typenbildender Inhaltsanalyse ausgewertet.

Zur Beantwortung der zweiten Fragestellung werden die verschiedenen Messzeitpunkte gegenübergestellt, um eine mögliche Veränderung in der Beurteilung von interaktiven Arbeitsblättern zu untersuchen. Für ein Beispiel, wie eine derartige Beurteilung aussieht und wie die Daten ausgewertet werden, vergleiche Engelhardt et al. (im Druck).

Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag hat aufgezeigt, welche Fähigkeit angehende Lehrkräfte benötigen, um interaktive Arbeitsblätter zu funktionalen Zusammenhängen hinsichtlich ihres zielgerichteten Einsatzes im Unterricht zu beurteilen. Dieses Wissen basiert primär auf fachdidaktischem Wissen, geht aber darüber hinaus. Die vorgestellte Studie soll den Ist-Stand dieses Wissens bei Studierenden erfassen und untersuchen inwiefern die Fähigkeit im Rahmen eines Lehr-Lern-Labor-Seminars gefördert werden können. Auf Basis der Ergebnisse der Studie soll eine Empfehlung für die Gestaltung eines (Lehr-Lern-Labor-)Seminars entwickelt werden, in dem die Fähigkeit zur Beurteilung interaktiver Arbeitsblätter bei angehenden Lehrkräften gefördert wird.

Literatur

Ainsworth, S. (2006): DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.

- Archambault, L. & Crippen, K. (2009). Examining TPACK among K-12 Online Distance Educators in the United States. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9, 71–88.
- Brantley-Dias, L. & Ertmer, P. A. (2014). *Goldilocks and TPACK*. *Journal of Research on Technology in Education* 46(2), S. 103–128.
- de Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 215–228). Cambridge.
- Doorman, M., Drijvers, P., Gravemeijer, K., Boon, P. & Reed, H. (2012). Tool use and the development of the function concept: from repeated calculations to functional thinking. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(6), 1243–1267.
- Drummond, A. & Sweeney, T. (2017): Can an objective measure of technological pedagogical content knowledge (TPACK) supplement existing TPACK measures? TPACK-deep and objective TPACK. *British Journal of Educational Technology*, 48(4), 928–939.
- Eickelmann, B., Bos, W., Gerick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M. & Vahrenhold, J. (Hrsg.). (2019). *ICILS 2018 #Deutschland: Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking*. Waxmann.
- Engelhardt, A., Digel, S., Roth, J. (im Druck). Fähigkeit zur Beurteilung dynamischer Arbeitsblätter – Wie lässt sie sich fördern? In M. Baum, K. Eilerts, G. Hornung, J. Roth & T. Trefzger (Hrsg.), *Die Zukunft des MINT-Lernens*. Springer
- Hattie, J. (2015). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer, Hrsg.) (3., erweiterte Auflage mit Index und Glossar). Schneider Verlag Hohengehren.
- Hohenwarter, M. & Preiner, J. (2008): Design guidelines for dynamic mathematics worksheets. *Teaching Mathematics and Computer Science*, 6(2), S. 311–323.
- Kimmons, R. (2015). Examining TPACK's Theoretical Future. *Journal of Technology and Teacher Education*, 23(1), 53–77.
- Koehler, M. J. & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Lichti, M. (2019). *Funktionales Denken fördern. Experimentieren mit gegenständlichen Materialien oder Computer-Simulationen*. Springer Spektrum.
- Ludwig, M. & Oldenburg, R. (2007). Lernen durch Experimentieren: Handlungsorientierte Zugänge zur Mathematik. *Mathematik lehren*, 141, 4–11.
- Malle, G. (2000). Zwei Aspekte von Funktionen: Zuordnung und Kovariation. *Mathematik lehren*, 103, 8–11.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054.
- Plass, J., Homer, B. & Hayward, E. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 31–61.
- Roth, J. (2005). *Bewegliches Denken im Mathematikunterricht*. Franzbecker.
- Roth, J. (im Druck). Digitale Lernumgebungen – Konzepte, Forschungsergebnisse und Unterrichtspraxis. In F. Schacht, G. Pinkernell, F. Reinhold & D. Walter (Hrsg.). *Digitales Lehren und Lernen von Mathematik in der Schule*. Springer.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Tabachneck-Schijf, H. J. M. & Simon, H. A. (1998). Alternative representations of instructional material. In D. Peterson (Hrsg.), *Forms of representation* (S. 28–46). Intellect Books.
- Vollrath, H.-J. (1989). Funktionales Denken. *Journal für Mathematikdidaktik*, 10(1), 3–37.
- Vollrath, H.-J. & Roth, J. (2012). *Grundlagen des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe* (2. Auflage). Spektrum Akademischer Verlag.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/76028

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20220615-135028-9



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Lizenz (CC BY 4.0) genutzt werden.