

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/351054907>

Problemlösen in digitalen Kontexten

Article · April 2021

CITATION

1

READS

389

4 authors:



Timo Reuter

Universität Koblenz-Landau, Landau, Germany

18 PUBLICATIONS 45 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Anke M. Weber

University of Luxembourg

12 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Sandra Nitz

Universität Koblenz-Landau

35 PUBLICATIONS 129 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Miriam Leuchter

Universität Koblenz-Landau, Landau

82 PUBLICATIONS 351 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Using the lab for fostering pre-service teachers' learning [View project](#)



BauSpiel - Playing with building blocks [View project](#)

EP

Empirische Pädagogik – 2021 – 35 (1)

Timo Reuter, Anke Weber, Sandra Nitz &
Miriam Leuchter (Hrsg.)
Problemlösen in digitalen Kontexten

Empirische Pädagogik

35. Jahrgang 2021

1. Heft

Herausgeber

Zentrum für Empirische Pädagogische Forschung (zepf)
Bürgerstraße 23, 76829 Landau/Pfalz
Telefon: +49 6341 280 32165, Telefax: +49 6341 280 32166
E-Mail: sekretariat@zepf.uni-landau.de
Homepage: <http://www.zepf.uni-landau.de>

Verlag

Empirische Pädagogik e. V.
Bürgerstraße 23, 76829 Landau/Pfalz
Telefon: +49 6341 280 32180, Telefax: +49 6341 280 32166
E-Mail: info@vep-landau.de
Homepage: <http://www.vep-landau.de>

Druck

DIFO Bamberg

Zitierungsvorschlag

Reuter, T., Weber, A., Nitz, S. & Leuchter, M. (Hrsg.). (2021). Problemlösen in digitalen Kontexten (Empirische Pädagogik, 35 (1), Themenheft). Landau: Verlag Empirische Pädagogik.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, werden vorbehalten. Kein Teil des Werks darf in irgendeiner Form (durch Fotografie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlags reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verbreitet werden.

ISSN 0931-5020

ISBN 978-3-944996-73-8

© Verlag Empirische Pädagogik, Landau 2021

Inhalt

Editorial

Timo Reuter, Anke Weber, Sandra Nitz & Miriam Leuchter Problemlösen in digitalen Kontexten.....	5
--	---

Originalarbeiten

Tobias Przywarra, Alexander Engl & Björn Risch Entwicklung eines Messinstruments zur Qualitätsbestimmung von (digitalen) Anschauungsmodellen.....	19
Florian Gigl, Eva Cauet, Samuel Greiff & Alexander Kauertz Entwicklung eines Instruments zur Erfassung physikbezogener komplexer Problemlösefähigkeit	38
Morten Bastian, Yannick Schneider & Andreas Mühling Diagnose von Fehlvorstellungen bei der Ablaufverfolgung von Programmen in einem webbasierten Testsystem	72
Anke M. Weber, Veronika Barkela, Sabrina Stiel-Dämmer & Miriam Leuchter Der Zusammenhang emotionaler Kosten bei Grundschullehramtsstudierenden mit ihrer informatischen Problemlösekompetenz	93
Christoph Thyssen, Alexandra Pankow, Kristine Klaeger & Daria Chernyak Kompetenzen und Nutzungsperspektiven von Lehrkräften zum Einsatz digitaler Medien zur Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht	112
Impressum	136

Contents

Articles

Tobias Przywarra, Alexander Engl & Björn Risch Development of a measuring instrument to determine the quality of (digital) illustrative models.....	19
Florian Gigl, Eva Cauet, Samuel Greiff & Alexander Kauertz Development of an instrument for complex problem solving in physics.....	38
Morten Bastian, Yannick Schneider & Andreas Mühling Diagnosis of misconceptions by tracing programs in a web-based test environment.....	72
Anke M. Weber, Veronika Barkela, Sabrina Stiel-Dämmer & Miriam Leuchter The relation of primary school student teachers' emotional costs and their informatic problem solving	93
Christoph Thyssen, Alexandra Pankow, Kristine Klaeger & Daria Chernyak Competencies and usage perspectives in the field of digital media knowledge acquisition among science teachers	112

Editorial

Timo Reuter, Anke Weber, Sandra Nitz & Miriam Leuchter

Problemlösen in digitalen Kontexten

1 Problemlösen in digitalen Kontexten als 21st Century Skill

Digitale Informations- und Kommunikationstechnologien (engl. information and communications technologies, ICT) bestimmen zunehmend die Art und Weise, wie wir uns informieren, wie wir kommunizieren und interagieren, Güter und Dienstleistungen produzieren und konsumieren. Der sogenannte „digitale Wandel“ betrifft somit nahezu alle Bereiche unseres täglichen Lebens und unserer Arbeitswelt. Dabei erleben wir insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten einen rasanten technologischen Fortschritt in Bezug auf die Weiterentwicklung digitaler Informations- und Kommunikationstechnologien. Der digitale Wandel hat daher auch einen Einfluss darauf, was und wie Schüler*innen lernen sollen, um sich in der digitalisierten Welt nicht nur zurechtzufinden, sondern diese mitgestalten zu können. Um diese Partizipation und Zukunftsfähigkeit zu erreichen, benötigen Schüler*innen bestimmte Fähigkeiten, welche – nicht nur, aber insbesondere im Zusammenhang mit der fortschreitenden Digitalisierung des Lebens – als „21st Century Skills“ bezeichnet werden (Rotherham & Willingham, 2010). Unter dieser Bezeichnung sind eine Reihe von Fähigkeiten zusammengefasst, die von Kreativität bis interkulturelle Kompetenzen reichen (für eine Zusammenstellung siehe Binkley et al., 2012). Für dieses Themenheft sind insbesondere die ICT literacy und die Problemlösefähigkeit von Bedeutung.

ICT literacy als „21st Century Skill“ stellt Lehrkräfte und Schüler*innen vor die Herausforderung, entsprechende Kompetenzen zu erwerben (Schmid & Petko, 2020). ICT literacy umfasst verschiedene, weitestgehend aufeinander aufbauende Kompetenzfelder (KMK, 2017; OECD, 2019). Auch wenn sich diese gemäß ersten Untersuchungen nicht empirisch trennen ließen (vgl. eine Studie mit Lehramtsstudierenden, Markauskaite, 2007), werden folgende Kompetenzbereiche identifiziert:

- 1) Kompetenzen hinsichtlich des Zugangs zu Informationen und Daten sowie deren Bewertung und Verwaltung
- 2) Kompetenzen in Bezug auf den Austausch von Informationen und die digitale Kommunikation
- 3) Kompetenzen zur Umwandlung und Erstellung von digitalen Inhalten
- 4) Kompetenzen hinsichtlich des individuellen und kollaborativen Problemlösens in digitalen Kontexten

5) Wissen und Fähigkeiten in Bezug auf Sicherheit, Schutz und Risikobewusstsein in digitalen Kontexten

Im Rahmen dieses Themenhefts fokussieren wir insbesondere den unter 4) aufgeführten Kompetenzbereich. Bei genauerer Betrachtung wird deutlich, dass das Problemlösen in digitalen Kontexten zwei Perspektiven umfasst (vgl. Fraillon, Ainley, Schulz, Friedman & Duckworth, 2020; KMK, 2017; OECD, 2019).

Zum einen geht es darum, digitale Medien zum Lernen, Arbeiten und Problemlösen anzuwenden (Fraillon et al., 2020; KMK, 2017; OECD, 2019). Digitale Informations- und Kommunikationstechnologien sind für Schüler*innen hierbei ein Mittel zur Unterstützung des jeweils fachspezifischen Problemlösens, z. B. im Physik- oder Chemieunterricht. Lehrkräfte wiederum können die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien z. B. für automatisiertes Assessment, Tracking oder Feedback nutzen (Plass & Pawar, 2020). Darüber hinaus erlauben artifizielle dynamische Problemszenarien, Problemlöseprozesse losgelöst vom fachspezifischen Vorwissen der Schüler*innen zu erforschen und zu trainieren (Csapó & Funke, 2017). Digitale Medien können also als Unterrichtsmittel genutzt werden, um das jeweilige fachspezifische Lernen zu unterstützen und den Erwerb sowohl fachspezifischer wie auch fachübergreifender Problemlösekompetenzen zu fördern. Aktuelle Meta-Studien zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien berichten überwiegend positive Effekte (für einen Überblick siehe Stegmann, Wecker, Mandl & Fischer, 2018). Die computer- und informationsbezogenen Kompetenzen von Achtklässler*innen in Deutschland sind laut ICIL-Studie (Fraillon, Ainley & Schulz, 2019) im internationalen Vergleich zwar leicht überdurchschnittlich ausgeprägt, jedoch sind bei einem Drittel der Jugendlichen in Deutschland nur geringe Kompetenzen vorhanden (Eickelmann, Bos et al., 2019). Darüber hinaus zeigen empirische Untersuchungen, dass auch unter praktizierenden Lehrkräften und Lehramtsstudierenden in Deutschland die digitalen Kompetenzen wenig ausgeprägt sind (Guggemos & Seufert, 2021; Senkbeil, Ihme & Schöber, 2020).

Zum anderen geht es beim Problemlösen in digitalen Kontexten auch darum, Funktionsweisen und grundlegende Prinzipien der digitalen Welt zu kennen, zu verstehen und anwenden zu können (KMK, 2017; OECD, 2019). Die Informations- und Kommunikationstechnologien selbst werden somit zum Gegenstand des Unterrichts (Fraillon et al., 2020). Die Schüler*innen sollen algorithmische Strukturen erkennen und selbst eine strukturierte, algorithmische Sequenz zur Lösung eines Problems planen, formulieren und anwenden können (KMK, 2017). Computational Thinking (CT) wird dabei als eine generelle Herangehensweise an Probleme verstanden und kann demnach nicht nur in einem speziellen IT-Unterricht, sondern über diverse Fächer hinweg behandelt werden (Fraillon et al., 2019). Ein Beispiel ist das Analysieren eines Metronoms im Musikunterricht. So können die Schüler*innen sich zunächst

überlegen, was ein Metronom können muss und wie man seine Funktionen in Algorithmen übersetzen kann. Zum Beispiel muss ein Metronom wiederholt einen Ton in einem bestimmten zeitlichen Abstand geben können und dieser zeitliche Abstand muss ausgewählt und verändert werden können. Im Anschluss kann das Metronom programmiert werden, muss es aber nicht. CT ist demnach eine spezielle Methode der Problemanalyse und der Entwicklung von Problemlösungen, bei der ein Problem in Form von Algorithmen und Abstraktionen so dargestellt und zerlegt wird, dass ein automatisierter Verarbeiter es lösen kann (Grover & Pea, 2013). Erste Studien deuten darauf hin, dass CT im Unterricht aufgebaut und gefördert werden kann (Atmatzidou & Demetriadis, 2016). In ICILS 2018 wurden erstmals CT Kompetenzen von Achtklässler*innen international vergleichend erhoben, wobei die Schüler*innen in Deutschland unterdurchschnittlich abschnitten (Eickelmann, Vahrenhold & Labusch, 2019). Darüber hinaus ist CT in der Lehramtsausbildung noch nicht systematisch verankert (Heintz, Mannila & Farnqvist, 2016). Studien weisen aber darauf hin, dass die Thematik in der Lehramtsausbildung aufgegriffen und die Vorstellung zu CT bei angehenden Lehrkräften positiv beeinflusst werden kann (Sands, Yadav & Good, 2018; Yadav, Mayfield, Zhou, Hambrusch & Korb, 2014).

Das vorliegende Themenheft greift beide Perspektiven auf und wirft ein Schlaglicht auf eine Auswahl aktuell bearbeiteter Fragestellungen in einem dynamischen Forschungsfeld.

1.1 Problemlösen

Problemlösen kann als ein bewusster, mehrstufiger und strukturierter Prozess definiert werden, bei dem Lücken in einem Handlungsplan gefüllt werden, wobei die Handlung nicht routinemäßig eingesetzt werden kann (Funke, 2003; OECD, 2014). Um dies zu erreichen, wird eine mentale Repräsentation erstellt, die den Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand eines Systems oder eines Problems darstellt (Funke, 2003). Für diese Transition vom Ausgangs- zum Zielzustand werden höhere mentale Funktionen wie Planen und Schlussfolgern benötigt (Reed, 2014). Das Problemlösen stellt hohe Anforderungen an die Beschaffung von Informationen über das Problem, an die Beurteilung der Relevanz der Informationen und an ihre Integration. Ferner müssen Ziele abgewogen und gesetzt, Entscheidungen gefunden und Handlungen geplant werden. Dies gilt insbesondere für komplexe Probleme, die sich durch eine große Menge an beteiligten Variablen, Vernetztheit, Dynamik, Intransparenz und Polytelie auszeichnen (Funke, 2010; Lotz, Sparfeldt & Greiff, 2016).

1.2 Digitale Medien als Mittel zur Unterstützung des Problemlösens

Digitale Informations- und Kommunikationstechnologien können das Problemlösen zum einen bei der Repräsentation der Problemsituation unterstützen. Zum anderen können sie dynamische Problemszenarien simulieren, anhand derer komplexe Problemlöseprozesse erforscht und gefördert werden können. Darüber hinaus bieten digitale Informations- und Kommunikationstechnologien die Möglichkeit einer adaptiven Gestaltung von Lern- und Problemlöseumgebungen.

1.2.1 Repräsentation der Problemsituation

Der erste Schritt zu einem erfolgreichen Problemlösungsprozess ist die Darstellung des Problems, also eine angemessene Repräsentation der Problemsituation (Csapó & Funke, 2017). Die Erstellung des mentalen Modells der Problemsituation kann durch externe multiple Repräsentationen unterstützt werden (z. B. abbildende Repräsentationen wie Visualisierungen, logische Bilder, Animationen usw. und beschreibende Repräsentationen wie Text und Formeln). Hierfür ist ein Teilbereich der „representational competence“ relevant (Nitz, Ainsworth, Nerdel & Prechtl, 2014; Schnottz, Baadte, Müller & Rasch, 2010), nämlich die Fähigkeit, Informationen aus einer Repräsentationsform in eine andere zu überführen. Wenn die Möglichkeiten der digitalen Medien ausgenutzt werden, muss die oder der Problemlösende die Informationen aus unterschiedlichen Zeichensystemen und Sinnesmodalitäten, z. B. Text, Bild, Ton oder auch haptischen Modellobjekten, in eine kohärente mentale Repräsentation integrieren (Schnottz, 2014). Eine solche Informationsverarbeitung stellt hohe kognitive Anforderungen an die Problemlösenden (Sweller, 1988). Bei der Gestaltung von digitalen Problemlöseumgebungen gilt es daher, gut erforschte Gestaltungsprinzipien zu berücksichtigen, wie das Multimedia-, Split-Attention-, Modalitäts-, Redundanz-, Kohärenz-, Sequenzierungs- sowie räumliche und zeitliche Kontiguitätsprinzip (für einen Überblick, siehe Mayer, 2014). Werden diese Prinzipien nicht berücksichtigt, können die Informationen nicht oder nur erschwert wahrgenommen und verarbeitet werden und die Problemlöseumgebung kann für den Lernenden überfordernd wirken (Paas & Sweller, 2014).

Computergestützte Unterrichtsmaterialien können Schüler*innen die für die Problemlösung notwendigen Repräsentationssysteme zugänglich machen (Csapó & Funke, 2017). Ein Beispiel dafür ist Augmented Reality (AR). Die Grundidee von AR ist die Erweiterung der menschlichen Wahrnehmung durch die Einbettung virtueller Komponenten in reale Umgebungen (Thees et al., 2020). Beispielsweise verschmilzt auf dem Kameradisplay des Smartphones oder Tablets das Bild der realen Umgebung mit einem virtuellen zwei- oder dreidimensionalen Objekt in Echtzeit. AR-Systeme ermöglichen somit die Integration von virtuellen und realen Objekten nach

dem zeitlichen und räumlichen Kontiguitätsprinzip (Fiorella & Mayer, 2014) und werden daher als eine Möglichkeit gesehen, die kognitiven Prozesse bei der Informationsverarbeitung zu erleichtern und das Problemlösen zu fördern (z. B. Akçayır & Akçayır, 2017). In einer Studie zum naturwissenschaftlichen Experimentieren ergänzten Akçayır, Akçayır, Pektaş und Ocak (2016) traditionelle papierbasierte Laborhandbücher durch zusätzliche virtuelle Inhalte. Die Schüler*innen trugen Smartglasses, auf denen sie Texte, Audios, Videos, Animationen und Simulationen eingeblendet bekamen, die den Aufbau und die Durchführung von Experimenten und einige der zugrundeliegenden Phänomene erklärten. Die Schüler*innen in der AR-Bedingung erreichten bessere Ergebnisse bei der Abschlussprüfung als die Schüler*innen in der Nicht-AR-Bedingung. Auch andere AR-Studien weisen in eine vielversprechende Richtung (für ein Review siehe z. B. Akçayır & Akçayır, 2017). Jedoch besteht noch großer Forschungsbedarf hinsichtlich fach-, themen- oder auch altersspezifischer Gelingensbedingungen (Thees et al., 2020). Der Beitrag von Przywarra, Engl und Risch in diesem Themenheft widmet sich einem AR-System für das Problemlösen und Lernen im Chemieunterricht und leistet daher einen Schritt in diese Richtung.

1.2.2 Computerbasierte Simulationen für dynamisches Problemlösen

Eine computergestützte dynamische Problemlöseumgebung schafft eine Problemsituation, in der Schüler*innen in einer neuartigen Umgebung arbeiten und mit Problemen konfrontiert werden, die sie zuvor noch nicht gesehen haben (Greiff & Funke, 2009). Zu Beginn haben die Lernenden (noch) kein inhaltliches Wissen, das sie zur Lösung des Problems anwenden könnten. Allerdings stehen sie einem System gegenüber, das ein reales System simuliert und sich ähnlich verhält wie dieses, sodass sie Informationen über das System mittels Interaktion mit diesem generieren können. Dafür müssen sie zunächst die relevanten Variablen des Systems identifizieren und systematisch manipulieren, um zu beobachten, wie sich die Änderung des Wertes von einer Variablen auf den Wert anderer Variablen auswirkt. Das aus dieser Interaktion gewonnene Wissen kann dann verwendet werden, um ein Modell zu erstellen, neues Wissen zu verallgemeinern und es anschließend zur Lösung des eigentlichen Problems einzusetzen (Csapó & Funke, 2017; Greiff & Funke, 2009; Priemer et al., 2020). Solche computersimulierten Problemlöseumgebungen spielen nicht erst seit PISA 2012 (OECD, 2013) eine wichtige Rolle in der Erforschung des komplexen Problemlösens (Funke, 2010). Nach Csapó und Funke (2017) können solche dynamischen Problemlöseumgebungen eine Grundlage für die Beurteilung sein, wie gut Schulen ihre Schüler*innen auf eine unbekannte Zukunft vorbereiten. In diesem Themenheft beschäftigt sich der Beitrag von Gigl, Cauet, Greiff und Kauertz u. a. mit dynamischen Problemlöseumgebungen im Physikunterricht.

1.2.3 Adaptive Lern- und Problemlöseumgebungen

Digitale Problemlöseumgebungen können jeden Schritt der oder des Problemlösenden tracken. Durch die automatische Auswertung („data mining“) solcher Daten-spuren lassen sich Problemlösestrategien sichtbar machen, die der oder dem Problemlösenden selbst vielleicht gar nicht bewusst sind. Dies eröffnet für den Unterricht neue Möglichkeiten der Diagnose und Rückmeldung zum Lernstand und -prozess (Scheuermann & Björnsson, 2009). Wang, Wu, Kinshuk, Chen und Spector (2013) entwickelten etwa eine Online-Lernumgebung, die Studierende nutzten, um ihr Denken und Lernen in einem Problemkontext sichtbar und Anpassungen zugänglich zu machen.

Der Einsatz digitaler Medien ermöglicht ebenfalls die automatische Auswertung von Lernfortschritten. Dafür muss die digitale Plattform, mit der die Lernenden interagieren, gespeichertes Expertenwissen in Form von Optimallösungen enthalten. Während der oder die Lernende Schritt für Schritt den Problemlösungsprozess durchläuft, wird seine oder ihre Arbeit mit dem gespeicherten Expertenwissen verglichen. Diese Differenz kann nun Lehrkräften zur Verfügung gestellt werden, damit sie die Lernenden entsprechend unterstützen und ihnen Feedback geben können (Walkington & Bernacki, 2020). Alternativ kann auch die Lernumgebung den Lernenden adaptiv Problemstellungen adäquater Schwierigkeit zuweisen. Bastian, Schneider und Mühlung illustrieren in ihrem Beitrag diese Möglichkeit im Rahmen des von ihnen entwickelten digitalen Diagnoseinstruments.

1.3 Kognitive Werkzeuge für das digitale Problemlösen im engeren Sinn: Computational Thinking (CT)

Neben der Perspektive, dass digitale Medien das fachliche Lernen und Problemlösen unterstützen, ergibt sich im Sinne der 21st Century Skills für den Unterricht auch der Anspruch, dass digitale Medien und deren Funktionsweise selbst als Gegenstand in den Mittelpunkt des Unterrichts rücken. Digitale Medien fungieren dann als Werkzeuge für das Problemlösen, für die nach Reed (2014) höhere mentale Funktionen benötigt werden. CT umfasst nach Sengupta, Dickes und Farris (2018) und Eickelmann, Vahrenhold und Labusch (2019) sowohl epistemische als auch repräsentationale Anteile. So kann CT, z. B. im Rahmen von Programmieren, als Praxis verstanden werden, die sowohl auf typisch informatische Konzepte wie Algorithmen als auch auf kognitive Prozesse wie Schlussfolgern, Abstraktion und Zerlegen in Teilprobleme zurückgreift.

Nach Wing (2006) ist CT definiert als gedanklicher Prozess, der darauf abzielt, Probleme und Problemlösungen so zu formulieren, dass diese von einem Informationsverarbeiter angewandt werden können. Dementsprechend umfasst CT u. a. das Zerlegen in Teilprobleme und somit das Sequenzieren eines Algorithmus, das Erstellen

von neuen Algorithmen und das Finden und Korrigieren von Fehlern im Rahmen des Kontrollflusses. Sengupta et al. (2018) postulieren, dass CT nicht rein technozentrisch betrachtet werden sollte, wie es in vielen Studien der Fall ist, die CT auf das Beherrschende von Programmiersprachen und Computerlogik herunterbrechen. Vielmehr plädieren sie dafür, dass CT als komplexe Form des Erlebens verstanden werden sollte, die in einen Realweltkontext in den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert (Yadav et al., 2014) und bereits in der Grundschule angebahnt werden kann (Dickes, Sengupta, Farris & Basu, 2016; Di Lieto et al., 2017). Beispielsweise kann CT im Unterricht zunächst losgelöst vom Programmieren thematisiert werden, indem Probleme aus der Alltagswelt der Schüler*innen genutzt werden, um ihnen diese spezielle Form des Denkens näherzubringen (Angeli, Voogt et al., 2016). So kann gemeinsam mit den Schüler*innen überlegt werden, wie eine Alarmanlage für ihr Zimmer funktioniert und welche Teilbedingungen für dieses Funktionieren relevant sind. Die Schüler*innen überlegen sich im weiteren Verlauf, wie sie diese Funktion in einem Algorithmus ausdrücken können. Diese Problemlösungen können, müssen aber nicht, in ein Computerprogramm übertragen werden. So bleibt CT nicht abstrakt und an ein Computerprogramm gebunden, sondern wird erlebbar und bekommt einen Realweltbezug (Sengupta et al., 2018). Zum Gelingen solcher Anwendungen von CT können kognitive, motivationale und emotionale Prozesse auf Seiten der Schüler*innen und Lehrkräfte beitragen (Sengupta et al., 2018). Somit können sowohl die praktische Komponente von CT im Sinne des Erstellens von Algorithmen als auch benötigte kognitive Problemlöseprozesse, wie die Repräsentation des Problems, Abstraktion und das Treffen von Schlussfolgerungen, umgesetzt werden. Die Beiträge von Bastian et al. und Weber, Barkela, Stiel-Dämmer und Leuchter betrachten CT aus der Perspektive der Lernenden und zukünftigen Lehrkräfte. Bastian et al. stellen ein Messinstrument vor, mit dem Konzepte von Schüler*innen im Bereich CT analysiert werden können, um ihnen den Kompetenzerwerb zu erleichtern. Weber et al. setzen das emotionale Erleben von Lehramtsstudierenden in Bezug zum Unterrichten von CT.

1.4 Was Lehrkräfte können müssen

Um einen Unterricht durchführen zu können, der mit digitalen Medien sowohl fachliche Lernprozesse optimal unterstützt als auch die Funktionsweise von digitalen Medien als Lerngegenstand thematisiert, benötigen Lehrkräfte spezifische Kompetenzen und Wissensgrundlagen (Huwer, Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen, 2019). Verschiedene Autor*innen bezeichnen dieses Wissen als „Technological Pedagogical Content Knowledge“ (z. B. Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016; Mishra & Koehler, 2006; meist abgekürzt als TPACK, gelegentlich auch als TPCK). Dieses Wissen können Lehrkräfte bereits während ihres Studiums erwerben (Hestness, Jass

Ketelhut, McGinnis & Plane, 2018). TPACK setzt sich aus fünf Wissensarten zusammen, die eine Lehrkraft für das Unterrichten von Problemlösen in digitalen Kontexten benötigt. Diese sind (1) Fachwissen, (2) pädagogisches Wissen, (3) Wissen über das Wissen der Schüler*innen, (4) Wissen über den Lehrkontext und (5) technologisches Wissen (vgl. Angeli, Valanides & Christodoulou, 2016; Mishra & Koehler, 2006).

(1) Das Fachwissen bezieht sich vor allem auf die Kompetenzen, die zum Problemlösen in digitalen Kontexten benötigt werden. Dazu zählen (a) Wissen zum fachlichen Kontext, wie z. B. Physik oder Chemie, (b) Wissen zum CT, wie z. B. Generalisieren, algorithmisches Denken und (c) Wissen zum Programmieren, wie z. B. Kenntnis von Schleifen, Variablen und ähnlichem. (2) Das pädagogische Wissen umfasst sowohl allgemeines pädagogisches Wissen, beispielsweise Scaffoldingtechniken, als auch spezifische Lehrtechniken für Problemlösen in digitalen Kontexten wie beispielsweise das Zerlegen von Problemen in Teilprobleme. (3) Das Wissen über das Wissen der Schüler*innen schließt Kenntnisse über mögliche Schwierigkeiten ein, die die Schüler*innen während des Unterrichts haben können, wie z. B. komplexe Probleme in Teilprobleme zu zerlegen. (4) Das Wissen über den Lehrkontext umfasst nach Porras-Hernández und Salinas-Amescua (2013) die Dimensionen „Ebene“ und „handelnde Person“. Auf der Dimension „Ebene“ umfasst die Makroebene kulturelle, gesellschaftliche und politische Strömungen, die bestimmen, ob das Problemlösen in digitalen Kontexten unterrichtet werden sollte. Die Mesoebene bezieht sich auf die Umgebung der Schüler*innen und ihren alltäglichen Umgang mit digitalen Medien und Problemlösen in digitalen Kontexten. Die Mikroebene bezieht sich auf die Bedingungen in der Klasse, wie z. B. das Vorhandensein von technischen Geräten zum Programmieren. Die Dimension der „handelnden Personen“ bezieht sich auf die intra- und interindividuellen Unterschiede zwischen Schüler*innen und Lehrkräften, wie beispielsweise kognitive und emotionale Voraussetzungen sowie Einstellungen zum Problemlösen in digitalen Kontexten. (5) Das technologische Wissen bezieht sich auf das Wissen der Lehrkräfte über das Funktionieren technischer Geräte und ihre Handhabung, beispielsweise, wie Geräte zu programmieren sind und Technologien für das Problemlösen genutzt werden können. Lehrkräfte benötigen folglich umfassendes Wissen, um einen erfolgreichen Unterricht zum Problemlösen in digitalen Kontexten durchführen zu können. Jedoch zeigt eine Untersuchung von Senkbeil et al. (2020), dass Lehramtsstudierende über vergleichsweise geringe digitale Kompetenzen verfügen. Dies macht eine Implementation dieser Inhalte im Lehramtsstudium wünschenswert, eine breite Realisierung steht jedoch noch aus (Scheiter & Lachner, 2019). In diesem Themenheft widmen

Thyssen, Pankow, Klaeger und Chernyak ihren Beitrag der Sichtweise von Lehrkräften auf das Unterrichten mit digitalen Medien und deren Einsatz in verschiedenen Unterrichtsszenarien.

2 Beiträge des Themenhefts

Das Themenheft beinhaltet fünf Beiträge. Die ersten beiden Beiträge (Przywarra, et al.; Gigl et al.) beschreiben digitale Medien als ein Mittel, um das fachspezifische und fachübergreifende Problemlösen zu ermöglichen.

Przywarra et al. berichten die Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Bestimmung der Qualität naturwissenschaftlicher Anschauungsmodelle zum Problemlösen im Chemieunterricht. Die Autoren stellen von ihnen entwickelte AR-basierte Anschauungsmodelle zur Teilchendiffusion vor. Expert*innen bewerteten die Modellqualität der AR Modelle anhand von Gütekriterien (z. B. fachlich korrekt, verständlich, übersichtlich) sowohl unabhängig als auch im Vergleich zu einem herkömmlich illustrativen und einem haptisch-interaktiven Anschauungsmodell. In ihrem Ausblick diskutieren die Autoren die jeweiligen Vor- und Nachteile der drei Modelltypen und schlagen im Sinne einer „representational competence“ (Nitz et al., 2014) eine simultane Nutzung im Unterricht vor.

Im Beitrag von Gigl et al. wird ein Test zur Erfassung fachspezifischer komplexer Problemlösefähigkeit vorgestellt und auf seine Validität untersucht. Die Autor*innen untersuchen das fachspezifische Problemlösen von Sekundarstufenschüler*innen im Physikunterricht vor dem Hintergrund des domänenspezifischen Fachwissens sowie der allgemeinen (fachübergreifenden) Problemlösefähigkeit. Zur Erfassung der Problemlösekompentenzen werden computergestützte dynamische Problemlöseumgebungen eingesetzt. Der Beitrag verdeutlicht die Relevanz und die Herausforderungen solcher digitaler Medien zur Erforschung des Zusammenspiels von fachspezifischen und fachübergreifenden Kompetenzen beim komplexen Problemlösen.

Die folgenden zwei Beiträge (Bastian et al.; Weber et al.) greifen das digitale Problemlösen im Sinne des CT auf.

Bastian et al. berichten eine Studie zur Validierung eines digitalen Testverfahrens, mit dem die Fähigkeit des Tracing bei Schüler*innen der Sekundarstufe erhoben und typische Fehlvorstellungen diagnostiziert werden können. Tracing meint die Fähigkeit, den Ablauf eines Programmcodes nachverfolgen zu können (Lopez, Whalley, Robbins & Lister, 2008) und gilt als wichtige Vorläuferfertigkeit für das Programmieren (Xie, Nelson & Ko, 2018). Die Autoren erörtern in ihrem Beitrag die hohe unterrichtspraktische Relevanz einer digitalen Testumgebung für die Lernverlaufsdagnostik, da das onlinegestützte Verfahren gegenüber einer papierbasierten

Version ein adaptives und ökonomisches Testen erlaubt. Somit weist der Beitrag auch auf die Chance digitaler Medien zur adaptiven Gestaltung von Lern- und Problemlöseumgebungen hin.

Der Beitrag von Weber et al. präsentiert ein Seminarkonzept zum Aufbau von fachlicher und fachdidaktischer Kompetenz zum Thema CT bei angehenden Grundschullehrkräften. Die Autorinnen untersuchen im Kontext dieses Seminars informative Problemlösekompetenz als Voraussetzung für emotionale Kosten bei Grundschullehramtsstudierenden. Die Autorinnen schlussfolgern, dass Seminare zum CT verstärkt auf die Ängste der Studierenden eingehen sollten. Der Beitrag verdeutlicht, wie das Thema Problemlösen in digitalen Kontexten bereits in der Studienphase zum Grundschullehramt aufgegriffen und frühzeitig Facetten des TPACK aufgebaut werden können.

Der fünfte Beitrag thematisiert ebenfalls Facetten des TPACK, jedoch aus Sicht von praktizierenden Lehrkräften. Thyssen et al. berichten die Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften naturwissenschaftlicher Fächer zu ihrem aktuellen und zukünftig beabsichtigten Einsatz digitaler Medien beim Problemlösen und Experimentieren. Die Ergebnisse zeigen neben einer grundsätzlichen Bereitschaft zur häufigeren Einbindung digitaler Medien auch Vorbehalte und Hinderungsgründe. Insbesondere die Hinderungsgründe diskutieren die Autor*innen, da diese eine hohe praktische Relevanz hinsichtlich der Entwicklung passgenauer Fort- und Weiterbildungsangebote im Sinne des TPACK haben.

Die Beiträge des Themenhefts liefern Erkenntnisse zu Bedingungen und Herausforderungen des Problemlösens in digitalen Kontexten. Dabei wird in drei Beiträgen das Thema Problemlösen in digitalen Kontexten mit einem Fokus auf die Konzeption von und den Umgang mit digitalen Medien gelegt. Zwei Beiträge beschäftigen sich mit der Förderung und Erfassung von Kompetenzen und personalen Merkmalen im Zusammenhang mit CT. In allen Beiträgen wird das Problemlösen in digitalen Kontexten mit wichtigen Aspekten der Lehrer*innenbildung und des schulischen Unterrichts verknüpft. Die Ergebnisse ergänzen den bisher überschaubaren Forschungsstand insbesondere in Bezug auf das Aufzeigen von Herausforderungen, die sich bei der Implementation von Problemlösen in digitalen Kontexten ergeben. Darüber hinaus geben die Arbeiten Hinweise darauf, an welchen Stellen weiterer Forschungsbedarf besteht, um Zusammenhänge des Problemlösens in digitalen Kontexten mit inter- und intraindividuellen Voraussetzungen der Lernenden und Lehrenden sowie unter Einbezug weiterer Kompetenzen der ICT literacy spezifizieren zu können.

Anmerkung

Die Herausgabe dieses Themenhefts wurde unterstützt von der Forschungsinitiative des Landes Rheinland-Pfalz (Projekt ProKSI - Problemlösen im Kontext von Socio-Scientific Issues) und der Deutschen Telekom Stiftung.

Literatur

- Akçayır, M. & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M. & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342.
- Angeli, C., Valanides, N. & Christodoulou, A. (2016). Theoretical considerations of technological pedagogical content knowledge. In M. C. Herring, M. J. Koehler & P. Mishra (Eds.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (tpack) for educators* (pp. 11-32). Florence: Taylor and Francis.
- Angeli, C., Voogt, J., Fluck, A., Webb, M., Cox, M., Malyn-Smith, J. & Zagami, J. (2016). A K-6 computational thinking curriculum framework: Implications for teacher knowledge. *Educational Technology & Society*, 19 (3), 47-57.
- Atmatzidou, S. & Demetriadis, S. (2016). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661-670.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M. & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin (Ed.), *Assessment and teaching of 21st century skills* (pp. 17-66). Dordrecht: Springer.
- Csapó, B. & Funke, J. (2017). The development and assessment of problem solving in 21st-century schools. In B. Csapó & J. Funke (Eds.), *The Nature of Problem Solving: Using Research to Inspire 21st Century Learning* (pp. 19-32). Paris: OECD Publishing.
- Dickes, A. C., Sengupta, P., Farris, A. V. & Basu, S. (2016). Development of mechanistic reasoning and multilevel explanations of ecology in third grade using agent-based models. *Science Education*, 100 (4), 734-776.
- Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dell'Ombo, M., Laschi, C., Pecini, C., Santerini, G., Sgandurra, G. & Dario, P. (2017). Educational robotics intervention on executive functions in preschool children: A pilot study. *Computers in Human Behavior*, 71, 16-23.
- 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. Münster: Waxmann.
- Eickelmann, B., Vahrenhold, J. & Labusch, A. (2019). Kapitel XII. Der Kompetenzbereich „Computational Thinking“. Erste Ergebnisse des Zusatzmoduls für Deutschland im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking (S. 367-398). Münster: Waxmann.
- Fiorella, L. & Mayer, R. E. (2014). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 279-315, 2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Fraillon, J., Ainley, J. & Schulz, W. (2019). IEA international computer and information literacy study 2018 assessment framework (1st ed.). Cham: Springer Nature Switzerland AG.

- Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T. & Duckworth, D. (Eds.). (2020). Preparing for life in a digital world: IEA international computer and information literacy study 2018 international report (1st ed.). Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer.
- Funke, J. (2003). Problemlösendes Denken (1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. (2010). Complex problem solving: A case for complex cognition? *Cognitive processing*, 11 (2), 133-142.
- Greiff, S. & Funke, J. (2009). Measuring complex problem solving: The microdyn approach. In F. Scheuermann & J. Björnsson (Eds.), *The transition to computer-based assessment: New approaches to skills assessment and implications for large-scale testing* (pp. 157-163). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Grover, S. & Pea, R. (2013). Computational Thinking in K-12. *Educational Researcher*, 42 (1), 38-43.
- Guggemos, J. & Seufert, S. (2021). Teaching with and teaching about technology - evidence for professional development of in-service teachers. *Computers in Human Behavior*, 115, 106-613.
- Heintz, F., Mannila, L. & Farnqvist, T. (2016). A review of models for introducing computational thinking, computer science and computing in K-12 education. 2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 1-9.
- Hestness, E., Jass Ketelhut, D., McGinnis, J. R. & Plane, J. (2018). Professional knowledge building within an elementary teacher professional development experience on computational thinking in science education. *Journal of Technology and Teacher Education*, 26 (2), 411-435.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK - Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal*, 5, 358-364.
- KMK (2017). Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz. Berlin. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf [08.03.2021].
- Lopez, M., Whalley, J., Robbins, P. & Lister, R. (2008). Relationships between reading, tracing and writing skills in introductory programming. In M. E. Caspersen, R. Lister & M. Clancy (Eds.), ICER '08: Proceedings of the fourth international workshop on computing education research (pp. 101-112). New York: Association for Computing Machinery.
- Lotz, C., Sparfeldt, J. R. & Greiff, S. (2016). Complex problem solving in educational contexts - still something beyond a 'good g'? *Intelligence*, 59, 127-138.
- Markauskaite, L. (2007). Exploring the structure of trainee teachers' ICT literacy: the main components of, and relationships between, general cognitive and technical capabilities. *Educational Technology Research and Development*, 55 (6), 547-572.
- Mayer, R. E. (Ed.). (2014). *The cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108 (6), 1017-1054.
- Nitz, S., Ainsworth, S. E., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2014). Do student perceptions of teaching predict the development of representational competence and biological knowledge? *Learning and Instruction*, 31, 13-22.
- OECD (2013). *PISA 2012 assessment and analytical framework: Mathematics, reading, science, problem solving and financial literacy*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2014). Assessing problem-solving skills in PISA 2012. In OECD (Ed.), *PISA 2012 results: Creative problem solving (volume V): Students' skills in tackling real-life problems* (pp. 25-46). Paris: OECD Publishing.
- OECD (Ed.) (2019). *PISA 2021 ICT framework*. OECD. Verfügbar unter: <https://www.oecd.org/pisa/sitesdocument/PISA-2021-ICT-framework.pdf> [08.03.2021].
- Paas, F. & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 27-42, 2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

- Plass, J. L. & Pawar, S. (2020). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, 52 (3), 275-300.
- Porras-Hernández, L. H. & Salinas-Amescua, B. (2013). Strengthening Tpack: A broader notion of context and the use of teacher's narratives to reveal knowledge construction. *Journal of Educational Computing Research*, 48 (2), 223-244.
- Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann, R. & Belzen, A. U. zu (2020). A framework to foster problem-solving in STEM and computing education. *Research in Science & Technological Education*, 38 (1), 105-130.
- Reed, S. K. (2014). Problem solving. In S. E. F. Chipman & S. K. Reed (Eds.), *The Oxford Handbook of cognitive science* (Oxford Handbooks) (pp. 231-248). Oxford: Oxford University Press.
- Rotherham, A. J. & Willingham, D. T. (2010). '21st-century' skills: Not new, but a worthy challenge. *American Educator*, 17-20.
- Sands, P., Yadav, A. & Good, J. (2018). Computational thinking in k-12: In-service teacher perceptions of computational thinking. In M. S. Khine (Ed.), *Computational thinking in the stem disciplines: Foundations and research highlights* (pp. 151-164). Cham: Springer International Publishing.
- Scheiter, K. & Lachner, A. (2019). DigitalPakt - was nun? Eine Positionierung aus Sicht der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft*, 47 (4), 547-564.
- Scheuermann, F. & Björnsson, J. (Eds.). (2009). *The transition to computer-based assessment: New approaches to skills assessment and implications for large-scale testing*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Schmid, M. & Petko, D. (2020). *Jahrbuch Medienpädagogik 17: Lernen mit und über Medien in einer digitalen Welt. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 17 (*Jahrbuch Medienpädagogik*), 121-140.
- Schnotz, W. (2014). Integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 72-103, 2nd ed.) New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., Baadte, C., Müller, A. & Rasch, R. (2010). Creative thinking and problem solving with depictive and descriptive representations. In L. Verschaffel, E. de Corte, T. de Jong & J. Elen (Eds.), *Use of representations in reasoning and problem solving: Analysis and improvement* (pp. 11-35). Hoboken: Taylor & Francis.
- Sengupta, P., Dickes, A. & Farris, A. (2018). Toward a phenomenology of computational thinking in stem education. In M. S. Khine (Ed.), *Computational thinking in the stem disciplines: foundations and research highlights* (pp. 49-72). Cham: Springer International Publishing.
- Senkbeil, M., Ihme, J. M. & Schöber, C. (2020). Empirische Arbeit: Schulische Medienkompetenzförderung in einer digitalen Welt: Über welche digitalen Kompetenzen verfügen angehende Lehrkräfte? *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 68 (1), 4-22.
- Stegmann, K., Wecker, C., Mandl, H. & Fischer, F. (2018). Lehren und Lernen mit digitalen Medien. In R. Tippelt & B. Schmidt-Hertha (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (S. 967-988, 4. überarbeitete und aktualisierte Aufl.). Wiesbaden: Springer VS.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12 (2), 257-285.
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106-316.
- Walkington, C. & Bernacki, M. L. (2020). Appraising research on personalized learning: Definitions, theoretical alignment, advancements, and future directions. *Journal of Research on Technology in Education*, 52 (3), 235-252.
- Wang, M., Wu, B., Kinshuk, Chen, N.-S. & Spector, J. M. (2013). Connecting problem-solving and knowledge-construction processes in a visualization-based learning environment. *Computers & Education*, 68, 293-306.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49 (3), 33-35.

- Xie, B., Nelson, G. L. & Ko, A. J. (2018). An explicit strategy to scaffold novice program tracing. In T. Barnes, D. Garcia, E. K. Hawthorne & M. A. Pérez-Quiñones (Eds.), *Proceedings of the 49th ACM technical symposium on computer science education* (pp. 344-349). New York: Association for Computing Machinery.
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S. & Korb, J. T. (2014). Computational thinking in elementary and secondary teacher education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14 (1), 1-16.

Autor*innen

Dr. Timo Reuter, Universität Koblenz-Landau, Institut für Bildung im Kindes- und Jugendalter

Anke M. Weber, M.Sc., Universität Koblenz-Landau, Institut für Bildung im Kindes- und Jugendalter

Prof. Dr. Sandra Nitz, Universität Koblenz-Landau, Institut für naturwissenschaftliche Bildung

Prof. Dr. Miriam Leuchter, Universität Koblenz-Landau, Institut für Bildung im Kindes- und Jugendalter

Korrespondenz an: reutertimo@uni-landau.de