

Nerdel, Claudia; Kotzebue, Lena von  
**Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Aufgaben für die  
Lehrerbildung**

*Zeitschrift für Pädagogik 66 (2020) 2, S. 159-173*



Quellenangabe/ Reference:

Nerdel, Claudia; Kotzebue, Lena von: Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht. Aufgaben für die Lehrerbildung - In: Zeitschrift für Pädagogik 66 (2020) 2, S. 159-173 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-257899 - DOI: 10.25656/01:25789

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-257899>

<https://doi.org/10.25656/01:25789>

in Kooperation mit / in cooperation with:

**BELTZ JUVENTA**

<http://www.juventa.de>

**Nutzungsbedingungen**

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.  
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

**Terms of use**

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.  
This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

**Kontakt / Contact:**

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

# ZEITSCHRIFT FÜR PÄDAGOGIK

Heft 2

März/April 2020

## ■ *Thementeil*

**Digitale Medien und schulisches Lernen –  
Forschungs- und Gestaltungsaufgaben  
für Bildungsforschung und Pädagogik**

## ■ *Allgemeiner Teil*

Digitalisierung in Kindertageseinrichtungen: das Beispiel  
Bildungsdokumentation aus der Perspektive pädagogischer  
Fachkräfte in Deutschland und Neuseeland

Vertragsschulpolitiken in England und Neuseeland:  
Zur Bedeutung schulpolitischer Akteure und Ideen

Legenden der Lehrerbildung: Zur Diskussion einheitsstiftender  
Vermittlung von ‚Theorie‘ und ‚Praxis‘  
im Studium

## Inhaltsverzeichnis

*Thementeil: Digitale Medien und schulisches Lernen –  
Forschungs- und Gestaltungsaufgaben für Bildungsforschung  
und Pädagogik*

*Frank Fischer/Karsten Stegmann/Rudolf Tippelt*

Digitale Medien und schulisches Lernen – Forschungs- und Gestaltungsaufgaben  
für Bildungsforschung und Pädagogik. Einleitung in den Thementeil ..... 155

*Claudia Nerdel/Lena von Kotzebue*

Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht –  
Aufgaben für die Lehrerbildung ..... 159

*Karsten Stegmann*

Effekte digitalen Lernens auf den Wissens- und Kompetenzerwerb  
in der Schule: Eine Integration metaanalytischer Befunde ..... 174

*Bernhard Schmidt-Hertha*

Vermittlung medienpädagogischer Kompetenz in der Fort- und Weiterbildung  
von Lehrkräften ..... 191

*Cornelia Gräsel/Janine Schledjewski/Ulrike Hartmann*

Implementation digitaler Medien als Schulentwicklungsaufgabe ..... 208

*Deutscher Bildungsserver*

Linktipps zum Thema „Digitale Medien und schulisches Lernen –  
Forschungs- und Gestaltungsaufgaben für Bildungsforschung  
und Pädagogik“ ..... 225

## *Allgemeiner Teil*

*Helen Knauf*

Digitalisierung in Kindertageseinrichtungen:  
Das Beispiel Bildungsdokumentation aus der Perspektive  
pädagogischer Fachkräfte in Deutschland und Neuseeland ..... 233

*Rita Nikolai*

Vertragsschulpolitiken in England und Neuseeland:  
Zur Bedeutung schulpolitischer Akteure und Ideen ..... 251

*Martin Rothland*

Legenden der Lehrerbildung: Zur Diskussion einheitsstiftender Vermittlung  
von ‚Theorie‘ und ‚Praxis‘ im Studium ..... 270

## *Besprechungen*

*Ewald Terhart*

Nils Berkemeyer/Lisa Mende: Bildungswissenschaftliche Handlungsfelder  
des Lehrkräfteberufs. Eine Einführung ..... 288

*Cristina Allemann-Ghionda*

Malini Sivasubramaniam/Ruth Hayhoe (Hrsg.): Religion and Education.  
Comparative and International Perspectives ..... 292

*Christiane Hof*

Petra H. Steiner: Soziale Welten der Erwachsenenbildung.  
Eine professionstheoretische Verortung ..... 295

*Carola Iller*

Renate Schramek/Cornelia Kricheldorf/Bernhard Schmidt-Hertha/  
Julia Steinfert-Diedenhofen (Hrsg.): Alter(n) – Lernen – Bildung.  
Ein Handbuch ..... 297

*Elisabeth Meilhammer*

Rolf Dobischat/Arne Elias/Anna Rosendahl (Hrsg.): Das Personal  
in der Weiterbildung. Im Spannungsfeld von Professionsanspruch  
und Beschäftigungsrealität ..... 299

*Dokumentation*

Pädagogische Neuerscheinungen .....	303
Impressum .....	U3

## Table of Contents

### *Topic: Digital Media and Learning in School – Scientific and Design Challenges for Educational Science*

*Frank Fischer/Karsten Stegmann/Rudolf Tippelt*

Digital Media and Learning in School – Scientific and Design Challenges  
for Educational Science. An Introduction ..... 155

*Claudia Nerdel/Lena von Kotzebue*

Digital Technologies in Science Education –  
Requirements for Teacher Training ..... 159

*Karsten Stegmann*

Effects of Digital Media on Learning in School:  
Synthesis of Meta-analytical Findings ..... 174

*Bernhard Schmidt-Hertha*

Facilitation of Media-pedagogical Competence by Teachers’ In-service  
Training and Professional Development ..... 191

*Cornelia Gräsel/Janine Schledjewski/Ulrike Hartmann*

Implementation of Digital Media as a Challenge for School Improvement ..... 208

*Deutscher Bildungsserver*

Online Ressources “Digital Media and Learning in School –  
Scientific and Design Challenges for Educational Science” ..... 225

### *Articles*

*Helen Knauf*

Digitalisation in Early Childhood Education Centres:  
The Example of Education Documentation from the Perspective  
of Early Childhood Teachers in Germany and New Zealand ..... 233

*Rita Nikolai*

Charter School Politics in England and New Zealand:  
The Role of Policy Agents and Ideas ..... 251

*Martin Rothland*

Legends of Teacher Education: On the Discussion of Mediation of ‘Theory’ and ‘Practice’ in University Studies .....	270
Book Reviews .....	288
New Books .....	303
Impressum .....	U3

Claudia Nerdel/Lena von Kotzebue

# Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht

## Aufgaben für die Lehrerbildung

**Zusammenfassung:** Digitale Medien werden im MINT-Unterricht als Lern- oder künftige Arbeitsmedien in naturwissenschaftlich-technischen Berufsfeldern eingesetzt. Diese innovativen Techniken sind Bestandteil naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen, z. B. bei der Sequenzierung von Genomabschnitten, automatischer Messwerterfassung oder der Datenauswertung von naturwissenschaftlichen Experimenten. Darüber hinaus bieten digitale Medien die Möglichkeit, MINT-Unterricht stärker konstruktivistisch orientiert zu gestalten und aktive bzw. reflexive Lernprozesse zu fördern. Damit steigen auch die Anforderungen an die Schüler\*innen, so dass der Einsatz digitaler Medien nicht nur Erfolg verspricht, sondern ohne geeignete Instruktion auch zu schlechteren Lernergebnissen führen kann. Ausgehend von diesen fachspezifisch zu erwerbenden Kompetenzen der Schüler\*innen im Umgang mit digitalen Medien wird auch reflektiert, welche zusätzlichen Anforderungen sich für eine zeitgemäße Lehrerbildung der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer ergeben, um digitale Medien nachhaltig in den Fachunterricht zu integrieren. Diese werden vor dem Hintergrund aktueller Modelle zu professionellen Handlungskompetenzen (angehender) Lehrkräfte diskutiert.

**Schlagnworte:** Multiple Repräsentationen, Lernen mit mobilen digitalen Medien, Cognitive Theory of Multimedia Learning, TPACK, Lehrerbildung Naturwissenschaften

## 1. Einleitung

Die Digitalisierung spielt für die Informationsvermittlung und die eigene Gestaltung medialer Inhalte sowohl im Alltag als auch in der Berufs- und Arbeitswelt eine bedeutende Rolle. Daher wird es als Aufgabe der Schule gesehen, Jugendlichen Kompetenzen zum versierten und verantwortungsvollen Umgang mit digitalen Medien zu vermitteln (KMK, 2016). Mit Blick auf die Implementation von digitalen Medien im Schulsystem (vgl. Gräsel, Schledjewski & Hartmann, in diesem Heft) sind darüber hinaus eine entsprechende technische Infrastruktur sowie adäquate Lernbedingungen an Schulen erforderlich, zu deren Verbesserung bereits Maßnahmen initiiert werden (z. B. Digitale Bildung in Schule, Hochschule und Kultur, BayStMUK, 2016; DigitalPakt Schule, BMBF, 2019a; Digitale Zukunft, BMBF, 2019b).

Aus naturwissenschaftsdidaktischer Sicht ist interessant, wie digitale Medien bei MINT-Themen methodisch in den Unterricht eingebunden werden (können), so dass fachliche und überfachliche Lernprozesse der Schüler\*innen effektiv unterstützt werden. Die interdisziplinäre Bildungsforschung fokussiert auf der Ebene der Gestaltungsmerkmale digitaler Medien, inwieweit Ton, Videos und Animationen, virtuelle Labore

und simulierte Lernumgebungen, augmentierte/virtuelle Realität, orts- und zeitunabhängige Informationsentnahme und Kooperation oder mobiles Lernen ein zusätzlicher Gewinn für das Lernen in naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern sein können (z. B. Zacharia et al., 2015; Berney & Betrancourt, 2016; Jeong & Hmelo-Silver, 2016; Mayer, 2017; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Dabei sind auch nach langjähriger Forschung zu multimedialem, computer- bzw. digital unterstütztem Lernen Aspekte mit Blick auf die Lernwirksamkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht weiterhin untersuchungsbedürftig. Eine Ursache hierfür liegt in der fortschreitenden technischen Entwicklung auf Hard- und Softwareebene, die die Möglichkeiten der instruktionalen Gestaltung stetig erweitern (Computer → Notebook → Tablet/Smartphone oder (lokal installiertes) Lernprogramm → (stationäres) web-based Training → WLAN-Technologie → Apps auf mobilen Endgeräten mit moderner Funktechnologie).

Die Forschungsschwerpunkte zum digital unterstützten Lernen reichen von den kognitionspsychologischen Grundlagen der Multimedia-Forschung, die die Wirkungsweise multimedialer Repräsentationen aus Texten, Bildern und Symbolen als Gestaltungsmerkmale von Lernmaterial auch in den Naturwissenschaften beschreibt (Mayer, 2014; Schnotz, 2014), über Fragen zur instruktionalen Unterstützung in komplexer Lernumgebung unter Berücksichtigung der kognitiven Belastung (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998, 2019) bis hin zu einer umfassenden Kompetenzentwicklung der Schüler\*innen für eine digitalisierte Welt, zu der der naturwissenschaftlichen Unterricht fachspezifisch und fächerübergreifend Beiträge leisten sollte (KMK, 2016).

Lehrkräften kommt die wesentliche Aufgabe zu, fachbezogene und -übergreifende Medienkompetenzen zur Nutzung und Reflexion digitaler Medien zu vermitteln. Mit Blick auf solche Unterrichtsangebote stellt sich daher auch die Frage, inwieweit Lehrkräfte durch Lehrerbildung an Universitäten, im Referendariat und durch Fortbildungsangebote (siehe auch Schmidt-Hertha, dieses Heft) in die Lage versetzt werden, evidenzbasiert und praktisch relevant digitale Unterrichtsmedien auszuwählen, um Schüler\*innen in ihrem Kompetenzerwerb in den Naturwissenschaften und mit Blick auf Medienkompetenzen zu unterstützen (Becker & Nerdel, 2017). Neben einem adäquaten naturwissenschaftlichen Unterrichtsangebot mit digitalen Medien ist daher auch von Interesse, ob Lehrkräfte über fachspezifische und fachübergreifende Medienkompetenzen verfügen, um dieses zu gestalten. In diesem Beitrag wird daher der lernwirksamen Gestaltung von digitalen Medien, dem Kompetenzerwerb der Schüler\*innen und den notwendigen Voraussetzungen der Lehrkräfte aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive anhand von drei Leitfragen nachgegangen.

- 1) *Gestaltungsvariablen des digitalen Medienangebots im naturwissenschaftlichen Unterricht:* Inwieweit tragen multimediale, digitale Medien dazu bei, naturwissenschaftliche Prozesse und Konzepte besser zu verstehen und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen zu erlernen?
- 2) *Fachspezifische und fachübergreifende Medienkompetenzen:* Welchen Beitrag leistet der naturwissenschaftliche Unterricht durch den Einsatz digitaler Medien zum Erwerb von fachspezifischen und fachübergreifenden Medienkompetenzen?

- 3) *Technologieintegrierende professionelle Kompetenzen von Lehrkräften*: Welche technischen, fachdidaktischen und pädagogischen Kompetenzen benötigen Lehrkräfte, um multimediale Lernumgebungen und digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht einzusetzen?

## 2. Multimediale, digitale Lernumgebungen im naturwissenschaftlichen Unterricht

„Medien sind einerseits kognitive und andererseits kommunikative Werkzeuge zur Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von zeichenhaften Informationen“ (Petko, 2014, S. 13). Zur Mediengestaltung tragen *Repräsentationen*, ihre *Modalität* sowie die *technische Realisierung* bei (Weidenmann, 2002). Alle Informationen werden über Repräsentationen wie Texte, Symbole und Bilder codiert (Schnotz, 2014). Die Rezeption der Informationen erfolgt je nach Modalität der Repräsentation durch unterschiedliche Sinne, zumeist Seh- und Hörsinn (Mayer, 2014). Zahlreiche Beispiele belegen das besondere Potential digitaler Visualisierungen für das Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht: *3D-Visualisierungen* in der Biologie und Chemie können menschliche anatomische Strukturen (z. B. Hackett & Proctor, 2016) bzw. die räumlichen Beziehungen von biologischen Strukturen wie Zellstrukturen besser als zweidimensionale Darstellungen veranschaulichen (Huk 2006). Sie verbessern bei Molekülen das räumliche Vorstellungsvermögen (Oliver-Hoyo & Babilonia-Rosa, 2017) und erleichtern den mentalen Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2003).

*Videofilme und Animationen* können komplexe Prozesse in den Naturwissenschaften auf allen Systemebenen verdeutlichen (Berney & Betrancourt, 2016). In Abgrenzung zu Videofilmen, bei denen Bewegung durch Bildfolgen der realen Welt dargestellt wird, versteht man unter Animationen das Produkt gestalterischer Konstruktionsprozesse (Lowe & Schnotz, 2014). Eine Meta-Studie von Berney und Betrancourt (2016) deutet darauf hin, dass dynamische Visualisierungen statischen beim Lernen insgesamt überlegen sind. Ihre Lernwirksamkeit gilt mit großem Effekt für Naturphänomene allgemein sowie für die Unterrichtsfächer Chemie und Biologie mit mittlerem bzw. kleinem Effekt. Auch die Haptik kann bei der Decodierung von multimedialen Lernumgebungen beteiligt sein, insbesondere wenn Originale oder naturwissenschaftliche Arbeitsweisen wie Experimentieren, Modellieren, Bestimmungsübungen etc. in Augmented Reality integriert werden (z. B. Thyssen, 2017; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Allerdings gewährleistet die bloße Addition der verschiedenen Repräsentationen bzw. Modalitäten nicht automatisch besseren Lernerfolg (Mayer, 2014; Sweller et al., 2019).

Die kognitive Verarbeitung von externen Repräsentationen und ihren Modalitäten lässt sich durch die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML, Mayer, 2014) erklären. Informationen werden aus statischen/dynamischen Bildern und geschriebenen/gesprochenen Wörtern durch Augen und/oder Ohren und den jeweiligen sensorischen Speicher ins Arbeitsgedächtnis aufgenommen (Selektion). Diese können durch mentale

Transformationsprozesse ineinander überführt werden. Die ausgewählten Bildelemente und Wörter werden im Arbeitsgedächtnis aufeinander bezogen zu einem kohärenten verbalen bzw. piktoralen Modell zusammengefügt (Organisation). Abschließend wird aus dem text- und dem bildbasierten Modell eine integrierte mentale Repräsentation unter Rückgriff auf das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis generiert (Integration).

Gemäß der *Cognitive Load Theory* (CLT, Sweller et al., 2019) kann die begrenzte Kapazität leicht zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses führen. Für die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer wird davon ausgegangen, dass Konzepte und Prozesse *per se* komplex sind, weil sie viele Querbezüge innerhalb eines Themas und zu wiederkehrenden übergeordneten Prinzipien aufweisen. Erschwerend kommt hinzu, dass durch die Struktur der Curricula und ihre geringe vertikale Vernetzung die meisten Inhalte bei vergleichsweise niedrigem Vorwissen in einer Jahrgangsstufe eingeführt bzw. erneut behandelt werden. Damit ist der *intrinsic cognitive load* eines Lernmaterials, d. h. diejenige kognitive Belastung, die allein durch den Lerninhalt verursacht wird, bereits hoch; er kann nach Sweller und Kollegen (2019) nur durch themenspezifisches Vorwissen verringert werden. Der Zusammenhang von domänenspezifischem Vorwissen und Auslastung des Arbeitsgedächtnis wird in der Expertiseforschung so erklärt, dass bekannte Gedächtnisinhalte im Langzeitgedächtnis als automatisierte Schemata gespeichert und bei Bedarf als eine einzige Einheit im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden. Die Integration neuer Lerninhalte erfolgt bei bestehenden Anknüpfungspunkten aus dem Langzeitgedächtnis damit leichter und schneller. Auf diese Weise beeinflussen Gedächtnisinhalte Leistung und Weiterlernen dramatisch (Tricot & Sweller, 2014). Zusätzlicher *extraneous cognitive load* wird durch die Gestaltung der Lernumgebung verursacht. Wenn z. B. eine mit ablenkendem Detailreichtum, unstrukturierte oder unschlüssige Instruktion präsentiert wird, führt diese dazu, dass weniger Kapazitäten für den *germane cognitive load* und damit für lernförderliche Prozesse zur Verfügung stehen.

Neben der kognitionspsychologischen Optimierung des Lernmaterials ermöglichen digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht auch die Durchführung von ansonsten gefährlichen, zeitintensiven oder kostspieligen Experimenten im Sinne der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (*inquiry learning*). Virtuelle Experimentierumgebungen bzw. *Simulationen* bieten eine Alternative zum Realexperiment und können der Untersuchung von Ursache-Wirkungsbeziehungen dienen (de Jong, Linn & Zacharia, 2013). Veränderungen können in Abhängigkeit von ausgewählten Parametern beobachtet werden und lassen bei Variablenkontrolle Schlussfolgerungen über den Einfluss eines Faktors auf das System zu (z. B. de Jong & van Joolingen, 1998). Durch diese Beeinflussung gestalten die Benutzer\*innen ihre Lernprozesse aktiv und regulieren sie (Leutner, 1993; Schnotz et. al., 1998). Während reale Experimente dazu beitragen, Epistemologie und die Schritte des naturwissenschaftlichen Arbeitens zu verstehen, führen Simulationen in Bezug auf den Konzepterwerb zu besseren Lernergebnissen (de Jong et al., 2013). Virtuelle Experimente können realen aber auch in Bezug auf das hypothetisch-deduktive Denken überlegen sein (Kapici, Akcay & de Jong, 2019).

Zur technischen Realisierung multimedialer Lernumgebungen im naturwissenschaftlichen Unterricht werden häufig mobile Geräte wie Tablets/Smartphones ggf.

mit geeigneten Sensoren und Apps verwendet. Mit diesen Geräten können Aufgaben u. a. an verschiedenen Lernorten bewältigt werden (Scheiter, 2015). Empirische Untersuchungen zum mobilen Lernen im naturwissenschaftlichen Kontext zeigen jedoch, dass Schüler\*innen durch ihre Lernaktivitäten nur wenig vertiefte Kenntnisse erwerben (Zydney & Warner, 2016). Entsprechend stellt sich die Frage nach der *Qualität der Lernaktivitäten* von Schüler\*innen bei der Nutzung digitaler Medien. Chi und Kollegen (Chi & Wylie, 2014; Chi et al., 2018) postulieren mit dem *ICAP-Modell* Lernaktivitäten, die wahrscheinlich mit unterschiedlichen kognitiven Aktivitäten zusammenhängen und die ihrerseits mit nicht direkt sichtbaren Lernprozessen verknüpft sind. Es geht damit zur Erklärung der Lernwirksamkeit über die kognitiven Prozesse der CTML und CLT hinaus und wendet zu diesem Zweck sichtbare Handlungen in unterschiedlichen Qualitätsstufen an. Damit eignet sich das ICAP-Modell insbesondere für das Lernen mit digitalen Medien, bei denen neben der Integration von visuellen und auditiven Darstellungen von naturwissenschaftlichen Inhalten die Manipulation der Lernumgebung explizit erforderlich ist, z. B. Anhalten/Wiederholen bei Animationen, Hypothesenbildung und Parameterauswahl bei Simulationen.

Mit dem ICAP-Modell werden drei Varianten von *aktivem* Lernverhalten unterschieden: *interaktiv (I)*, *konstruktiv (C)* und *aktiv (A)*. Das aktive Lernen wird vom *passiven (P)* Lernverhalten abgegrenzt. Beim *passiven* Lernen werden neuen Informationen nur aufmerksam beachtet. Wird z. B. ein Video angeschaut, werden Informationen gespeichert, ohne dass dabei Vorwissen aktiviert und mit den neuen Informationen verknüpft wird. Aktives Lernen geht darüber hinaus. Die Lerner\*in unternimmt zusätzliche manipulative Aktivitäten am Lernmaterial, z. B. Textstellen unterstreichen, relevante Themenaspekte aus einem Video notieren, Objekte analog oder virtuell rotieren. Beim aktiven Lernen werden relevantes Vorwissen aktiviert und Zusammenhänge mit neuen Informationen hergestellt. Passive und aktive Lernaktivitäten sind jedoch noch nicht ausreichend, um komplexe naturwissenschaftliche Probleme zu lösen. Dazu werden konstruktive und interaktive Lernaktivitäten benötigt, bei denen Lernende neue Ideen und Lösungsansätze produzieren, deren Informationen über das Lernmaterial hinausgehen. Concept Maps erstellen, Selbsterklären und Hypothesen formulieren sind geeignete Lernaktivitäten, um Neues aus gegebenen Instruktionen und dem eigenen Vorwissen zu schaffen. Interaktives Lernen im Kontext von ICAP bezieht darüber hinaus weitere Lerner\*innen, zumeist zwei Peers oder eine kleine Gruppe ein. Die Interaktionen vollziehen sich in Dialogen, wobei die Äußerungen beider Partner\*innen konstruktiv sein müssen, d. h. sie fügen neue Aspekte hinzu, gehen über die Darstellung im Lernmaterial hinaus und beziehen ferner die Diskussionsbeiträge des anderen Partners ein. Die vier Qualitätsstufen lassen sich in Bezug auf das Lernergebnis hierarchisch stufen. Befunde des systematischen Reviews von Metaanalysen von Stegmann (dieses Heft) unterstützen die Annahme, dass interaktives Lernen den größten Erfolg verspricht, während beim passiven Lernen die geringsten Lernergebnisse erwartet werden. Dabei subsumiert ein Modus den jeweils folgenden:  $I > C > A > P$  (Chi et al., 2018).

Mit Blick auf die Leitfrage 1 lässt sich zusammenfassend feststellen, dass digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht in großer Breite Möglichkeiten zum ak-

tiven Lernen bieten. Sie sind insbesondere auch geeignet, um konstruktive Lernaktivitäten anzuregen und damit komplexe Problemlösungen und naturwissenschaftliches Arbeiten zu fördern. Meta-Studien ermitteln für digitale Medien kleine bis mittlere positive Effekte (Hillmayr, Reinhold, Ziernwald & Reiss, 2017). Im Kapitel 3 wird daher reflektiert, inwieweit digitale Medien, die aktives Lernen ermöglichen, im Unterricht zum Einsatz kommen.

### **3. Aktueller Stand des digitalen Medieneinsatzes im naturwissenschaftlichen Unterricht in Schule und Lehrerbildung**

Betrachtet man den aktuellen Einsatz von digitalen Medien im Unterricht und in der Lehrerbildung fällt auf, dass diese bisher noch tendenziell selten und vor dem Hintergrund des ICAP-Modells suboptimal verwendet werden. In einer Studie von Kramer und Kolleg\*innen zeigte sich, dass in über der Hälfte der Unterrichtszeit der 85 videografierten Biologiestunden (9. Klasse, Neurobiologie) ein digitales Medium eingesetzt oder sich im on-Modus befand (Kramer, Förtsch, Aufleger & Neuhaus, 2019). Hierbei war die Lehrkraft jedoch meist der/die alleinige Akteur\*in und präsentierte Fachinhalte per Beamer. Die Schüler\*innen zeigten nach dem ICAP-Modell vor allem passive (d. h. rein rezeptive) Aktivitäten. Nur in insgesamt zwei Fällen wurde ein Tablet und nie ein Smartphone eingesetzt. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit anderen nationalen und internationalen Studien (Harris, Mishra & Koehler, 2009; Sung, Chang & Liu, 2016; Sailer, Murböck & Fischer, 2017). Digitale Medien dienen im Unterricht meist zur Präsentation von Inhalten und in einigen Fällen der Dokumentation bzw. Produktion. Auch in einer Telefonbefragung von 410 Lehrkräften an bayerischen Mittel- und Realschulen sowie Gymnasien zeigte sich, dass diese zwar digitale Medien durchaus häufig einsetzen, jedoch der Einsatz auch hier häufig der Präsentation von Inhalten durch die Lehrkraft dient (Sailer et al., 2017).

Richtet man den Blick auf Lehramtsstudierende, zeigt sich in einer Studie von Vogelsang und Kollegen (2019), dass diese in ihrer Schulzeit und im Rahmen ihres Studiums kaum aktiv mit digitalen Medien gearbeitet haben. Lediglich 40 Prozent der 603 befragten Lehramtsstudierenden für naturwissenschaftliche Fächer haben digitale Texte während ihrer Schulzeit öfter selbst verfasst, alle andere Einsatzmöglichkeiten kamen seltener vor (Vogelsang, Finger, Laumann & Thyssen, 2019). Durchschnittlich im siebten Semester haben mehr als die Hälfte dieser Lehramtsstudierenden schon öfter digitale Texte verfasst, digitale Fachbücher und Lernvideos genutzt. Vermutlich fand dieser Einsatz aber außerhalb der universitären Seminare und Vorlesungen statt. Naturwissenschaftsspezifischere Einsatzmöglichkeiten wie Tabellenkalkulation, digitale Messwerterfassung, Smartphone-Experimente oder Modellierung und Simulation werden im Lehramtsstudium bisher kaum integriert (Vogelsang et al., 2019). Des Weiteren zeigen die Lehramtsstudierenden eine relativ geringe Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des Einsatzes digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht (Vogelsang et al., 2019).

Die hier berichteten Studien deuten an, dass der Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht in seiner aktuellen Form nur bedingt geeignet ist, konstruktive Lernaktivitäten zum Erwerb von fachlichen Kompetenzen anzuregen (vgl. Leitfrage 1) und darüber hinaus auch einen Beitrag zu den geforderten fachspezifischen und fachübergreifende Medienkompetenzen zu liefern (vgl. Leitfrage 2). Im Kapitel 4 wird daher an Beispielen für den naturwissenschaftlichen Unterricht illustriert, wie die Integration von digitalen Medien erfolgen kann, um fachspezifische und fachübergreifende Medienkompetenzen der Schüler\*innen zu fördern.

#### 4. Fachspezifische Medienkompetenzen in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern

In der Strategie der Kultusministerkonferenz *Bildung in der digitalen Welt* (KMK, 2016) werden fachübergreifende Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien benannt, die Schüler\*innen im Laufe ihrer Schulzeit erwerben sollen. Die Unterrichtsfächer sind aufgefordert, inhaltliche Schwerpunkte zu setzen und diese Kompetenzen fachspezifisch zu fördern. Die Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern (2017) schlägt sowohl für Schüler\*innen als auch für Lehrkräfte acht Medienkompetenzbereiche nach der KMK (2016) vor. In diesen Medienkompetenzbereichen lassen sich aktive, konstruktive und interaktive Lernaktivitäten nach dem ICAP-Modell anbieten (Chi & Wylie, 2014, vgl. Kap. 2), z. B. *Bedienen und Anwenden digitaler Medien; Suchen und Verarbeiten von Information mithilfe digitaler Medien; Kommunizieren und Kooperieren mit digitalen Medien; Produzieren und Präsentieren mit digitalen Medien* sowie *Erkennen von Lernpotenzialen und Entwickeln von Lernstrategien mit digitalen Medien*.

Unter fachübergreifenden Medienkompetenzen können solche Kompetenzen verstanden werden, die in verschiedenen inhaltlichen Kontext für Handlungen im Umgang mit (digitalen) Medien benötigt werden, z. B. das Wissen über Suchmaschinen und deren prinzipielle Handhabung. Fachübergreifende Medienkompetenzen können fachspezifisch umgesetzt werden, z. B. das Recherchieren zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen in Datenbanken.

Fachspezifische Medienkompetenzen werden hingegen als Kompetenzen definiert, die abhängig vom inhaltlichen Kontext für Handlungen im Umgang mit (digitalen) Medien und/oder beim Einsatz von fachspezifischen Arbeitsweisen benötigt werden und auch ein gewisses Maß an Fachwissen erfordern, z. B. der Einsatz von digitalen Sensoren beim Experimentieren und die Auswertung von Diagrammen mit Hilfe fachspezifischer Software.

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, um (natur)wissenschaftliches Denken und Arbeiten mit digitalen Medien einerseits (Quintana et al., 2004; Bell, Urhahne, Schanze & Ploetzner, 2010; Linn & Eylon, 2011) und Medienkompetenzen andererseits zu fördern. Wird zur Pflanzenbestimmung Geocaching genutzt, muss z. B. der Standort der Pflanzen geteilt werden. Auf diese Weise können fachspezifische Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien im Bereich *Bedienen und Anwenden* gefördert werden. So muss z. B.

die korrekte Anwendung der Pflanzenbestimmungsapp zur eindeutigen Identifizierung und Benennung Pflanzen erlernt werden (Groß, 2017).

Ein Kennzeichen der Naturwissenschaften ist der Einsatz von Repräsentationen, wie Diagramme, Modelle, Animationen und Simulationen, um Ergebnisse oder abstrakte naturwissenschaftliche Konzepte und Phänomene abzubilden (vgl. Kap. 2; Lund, Furberg, Bakken & Engelsen, 2014). Solche fachspezifischen Repräsentationen können im naturwissenschaftlichen Unterricht *produziert und präsentiert* werden. Beispielsweise können bei Experimenten, wie z. B. der Ermittlung des Sauerstoffgehalts in Abhängigkeit von der Lichteinstrahlung bei der Fotosynthese, mittels digitaler Sensoren Messwerte erfasst werden (zur Messtechnik vgl. Kuhn, 2017). Eine Software erstellt hierbei automatisch ein Diagramm aus den gemessenen Werten. Das Diagramm kann in ein digitales Ergebnisprotokoll eingefügt und der Lehrkraft oder Klasse mit Interpretation präsentiert werden.

Beim *Suchen und Verarbeiten von Information mithilfe digitaler Medien* können fachspezifische Inhalte recherchiert werden. Beispielsweise kann im Unterrichtsfach Biologie in einer Gendatenbank die genetische Information von Organismen recherchiert werden, um Verwandtschaftsverhältnisse zwischen verschiedenen Spezies zurückzuerfolgen. Durch den Einsatz von Lernsoftware kann das Forschende Lernen spielerisch geübt werden. Dabei werden naturwissenschaftliche Experimente und Phänomene simuliert, bei denen die Lernenden eingreifen, Variablen verändern und deren Auswirkung analysieren müssen (vgl. Kap. 2). Durch diese Anwendungen können *Lernpotenziale von digitalen Medien erkannt und Lernstrategien entwickelt werden*. Auch fachübergreifende Angebote wie Apps zur Erstellung von Concept Maps können fachspezifisch umgesetzt werden. So können Concept Maps dabei helfen, komplexe naturwissenschaftliche Inhalte strukturiert darzustellen (zur Lernwirksamkeit vgl. auch Amadiou et al., 2015). Durch die digitale Umsetzung besteht der weitere Vorteil, diese stetig erweitern bzw. verändern zu können.

Zur Leitfrage 2 wurden in diesem Kapitel Möglichkeiten für den Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt, um fachspezifisch und fachübergreifend Medienkompetenz gemäß KMK-Strategie (2016) zu fördern und um Impulse für eine veränderte Unterrichtspraxis zu geben. Da die (digitale) Medienbildung fachspezifisch in allen Unterrichtsfächern erfolgen soll, muss auch Lehrerbildung die benötigten fachübergreifenden und fachspezifischen medienbezogenen Kompetenzen verbindlich berücksichtigen; dies wird abschließend in Kap. 5 ausgeführt.

## **5. Fachspezifische medienbezogene Wissenskomponenten von Lehrkräften**

Es stellt sich die Frage, welche Kompetenzen Lehrkräfte benötigen, um einen naturwissenschaftsspezifischen Einsatz von digitalen Medien im Unterricht umsetzen zu können. Studien weisen vermehrt auf eine Diskrepanz zwischen den in der Lehrerbildung vermittelten Medienkompetenzen und den für die Praxis benötigten Kompetenzen hin (u. a.

Lund et al., 2014). Neben Defiziten im Bereich der Medienpädagogik (u. a. Blömeke 2003; Herzog, Martin, Schaper & Ossenschmidt, 2015) liefern Studien zudem Hinweise darauf, dass Lehramtsstudierende besonders gegenüber digitalen Medien wenig aufgeschlossen sind (Kleimann, Özkilic & Göcks, 2008; Schmid, Goertz, Radomski, Thom & Behrens, 2017). In einer aktuellen Befragung von aktiv tätigen Lehrkräften schätzten sie hingegen ihr medienbezogenes Wissen, besonders ihr medienbezogenes fachdidaktisches Wissen, sehr hoch ein (Sailer et al., 2017). Dies scheint jedoch etwas fragwürdig, da die Bereiche medienbezogenes Fachwissen, medienbezogenes informatische Wissen und medienbezogenes pädagogisch-psychologisches Wissen, Voraussetzungen für das medienbezogene fachdidaktische Wissen darstellen (s. u.).

Das Modell der Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt beschreibt die Kompetenzen, die Voraussetzung für einen erfolgreichen und zeitgemäßen Unterricht in einer von Digitalisierung geprägten Welt darstellen (Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern, 2017). Dieses Rahmenmodell besteht aus zwei Dimensionen: neben den eigenen Medienkompetenzen benötigt eine Lehrkraft medienbezogene Lehrkompetenzen (von Kotzebue, Franke, Aufleger, Schultz-Pernice, Neuhaus, & Fischer, eingereicht). Diese unterteilen sich in eine Handlungs- und eine Wissenskomponente. Erstgenannte bezieht sich auf unterrichtsrelevante Phasen der Lehrerhandlung: *Planung, Realisierung, Evaluation* von mediengestütztem Unterricht sowie die *Anschlusskommunikation bzw. das Sharing*. Die Wissenskomponente bezieht sich auf die technikbezogenen Bereiche des TPACK-Modells, die sich in fächerübergreifenden (TK, TPK) und fachspezifischen (TCK, TPACK) Kenntnisbereiche aufteilen lassen (Koehler & Mishra, 2009). Eine Möglichkeit, das medienbezogene fachdidaktische Wissen (Technological Pedagogical Content Knowledge, TPACK) zu entwickeln besteht darin, vom fachdidaktischen Wissen auszugehen und dieses auf technologische Anwendungen zu erweitern (Koehler, Mishra, Kereliuk, Shin & Graham, 2014). Die genannten Wissensbereiche stellen damit eine Erweiterung der ursprünglich von Shulman (1986) postulierten Wissensbereiche Fachwissen (Subject Matter Content Knowledge, CK) und fachdidaktisches Wissen (Pedagogical Content Knowledge, PCK) um das technologische Wissen (Technological Knowledge, TK) dar. Unter dem Bereich *Fachwissen* wird fundiertes Fachwissen verstanden, was über die zu vermittelten Inhalte hinausgeht (u. a. von Kotzebue & Neuhaus, 2015). Lehrkräfte benötigen dies für inhaltliche Schwerpunktsetzungen und zur Erklärung von Zusammenhängen. Das *medienbezogene Fachwissen* (TCK) der Lehrkräfte umfasst entsprechend Kenntnisse über fachbezogenen Technologien und darüber, wie sich Technologie und Fachwissen gegenseitig beeinflussen. Mitunter entstehen sogar wissenschaftliche Disziplinen erst aufgrund eines bestimmten technologischen Fortschritts, z. B. Gentechnik.

Unter *fachdidaktischem Wissen* versteht man Wissen zum Lehren von Fachinhalten. Ausgehend von Shulmans Definition (1986) werden hierzu Kenntnisse über Instruktions- und Vermittlungsstrategien sowie über Schülerkognitionen gezählt. Das *medienbezogene fachdidaktische Wissen* (TPACK) umfasst Kenntnisse zu den fachdidaktischen Konzepten, die unter Berücksichtigung eines effektiven Einsatzes digitaler Medien im Fachunterricht zur Anwendung kommen. Hierzu gehören u. a. das Wissen über alterna-

tive Darstellungswege der Fachinhalte unter Verwendung von Repräsentationen, Beispielen und Demonstrationen. Am Beispiel des Biologieunterrichts werden drei unterschiedliche Darstellungswege mit aufsteigender Schwierigkeit sowie die angeregten Lernaktivitäten nach ICAP skizziert. Der genannte Schwerpunkt bezieht sich auf die Bildungsstandards der Biologie (KMK, 2005):

- 1) Erarbeitung der alkoholischen Gärung mit E-Books (aktiv/konstruktiv; Schwerpunkt Fachwissen): digitaler Text zur alkoholischen Gärung mit Bildmaterial (auch Video und Animationen) und Hyperlinks (z. B. zum Glossar), mit dem sich Schüler\*innen den Prozess der alkoholischen Gärung selbstständig anhand vorgegebener Aufgabenstellungen erarbeiten können.
- 2) Erstellung eines Erklärvideos zur alkoholischen Gärung (konstruktiv/interaktiv; Schwerpunkt Kommunikation): Schüler\*innen erstellen anhand von Bildmaterial ein Erklärvideo zum Prozess und den Bedingungen der alkoholischen Gärung mithilfe der Legetechnik.
- 3) Digital unterstütztes Forschendes Lernen (konstruktiv/interaktiv; Schwerpunkt Erkenntnisgewinnung): Schüler\*innen planen aussagekräftige Experimente (Variablenkontrolle!) zu den Bedingungen der alkoholischen Gärung (ggf. mit gestuften Hilfen) und führen sie selbstständig durch. Messgrößen werden mit digitalen Sensoren erfasst und am Tablet direkt als Diagramm dargestellt. Die Protokollierung der Experimente erfolgt ebenfalls am Tablet in schriftlicher oder mündlicher Form.

Zum *medienbezogenen fachdidaktischen Wissen* gehören auch Kenntnisse über Fachinhalte und Methoden, bei denen Schüler\*innen Fehlvorstellungen haben, sowie Kenntnisse bzgl. der Überwindung ebendieser Fehlvorstellungen. Dies können im oben skizzierten Beispiel beim dritten Darstellungsweg Wissen über typische Fehler beim Experimentieren sein, z. B. fehlerhaftes Aufstellen von Hypothesen, die beispielsweise nicht revidiert werden können oder die gleichzeitige Variation von mehreren Variablen. Auch bei der Darstellung und Interpretation der Ergebnisse tauchen spezifische Schwierigkeiten auf (de Jong & van Joolingen, 1998; von Kotzebue, Gerstl & Nerdel, 2015). Beim obigen Beispiel können digitale Medien unterstützend wirken. So könnten die Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten vorher mit Hilfe entsprechender Software an virtuellen Experimenten geübt werden. Lernende haben die Möglichkeit, die Simulation zu pausieren oder in diese einzugreifen, in dem sie einzelne Faktoren, z. B. die Temperatur oder das Substrat für die Hefe, verändern. Hierbei werden Hinweise gegeben, wenn mehr als eine Variable verändert wird.

Mit Blick auf die Leitfrage 3 liefern das Rahmenmodell der Kernkompetenzen von Lehrkräften in einer digitalisierten Welt (Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern, 2017) und die an dem TPACK-Modell angelehnte Wissenskomponente wertvolle Hinweise, welche technologiebezogenen fachspezifischen und fachübergreifenden Kompetenzen im Rahmen der Lehrerbildung und -fortbildung vermittelt werden sollten, um Lehrkräfte in die Lage zu versetzen, Unterricht mit digitalen Medien zu gestalten und die Kompetenzen der Schüler\*innen zu fördern.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Multimediale digitale Lernumgebungen können in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern dazu beitragen, sowohl Wissenserwerb zu Konzepten und Arbeitsweisen als auch den Erwerb von Medienkompetenzen an Beispielen aus dem Biologie-, Chemie-, und Physikunterricht zu unterstützen. Dabei sollten die digitalen Lernumgebungen an den fachlichen Vorkenntnissen der Schüler\*innen ausgerichtet sein und ihre Gestaltungsmerkmale die Lernenden nicht überfordern, um ausreichend kognitive Ressourcen für fruchtbare Lernprozesse in Bezug auf die naturwissenschaftlichen Konzepte und Prozesse zur Verfügung zu haben. Der aktuelle Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht hat jedoch noch stark instruktiven Charakter, bei dem der Gebrauch der digitalen Werkzeuge auf die Lehrkraft beschränkt ist. Entsprechend entfaltet auch z. B. das mobile Lernen mit Tablets oder Smartphones noch nicht sein volles Potential im naturwissenschaftlichen Unterricht. Eine aktuelle Herausforderung besteht damit in der Lehrerbildung und -fortbildung, um den Anforderungen für die Vermittlung von naturwissenschaftlichen und Medienkompetenzen gerecht zu werden und (angehende) Lehrkräfte beim Technologiegebrauch sowie dem damit einhergehenden fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzerwerb zu unterstützen. National hat das BMBF beispielsweise mit der Qualitätsoffensive Lehrerbildung von 2018 sowie weiteren Forschungs- und Entwicklungsprojekten zur Digitalisierung einen Rahmen geschaffen, um mit unterschiedlichen Akteuren aus Forschung, Bildungsadministration und Schulpraxis und unter Berücksichtigung der aktuellen Forschungsbefunde gemeinsam die Aufgaben des technologischen Wandels in Unterricht und Lehrerbildung mitzugestalten.

### Literatur

- Amadiou, F., Salmerón, L., Cegarra, J., Paubel, P. V., Lemarié, J., & Chevalier, A. (2015). Learning from concept mapping and hypertext: An eye tracking study. *Educational Technology & Society*, 18(4), 100–112.
- BayStMUK (2016). *Digitale Bildung in Schule, Hochschule und Kultur: Die Zukunftsstrategie der Bayerischen Staatsregierung*. Abrufbar unter [https://www.km.bayern.de/epaper/Digitale\\_Bildung\\_in\\_Schule\\_Hochschule\\_Kultur/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.km.bayern.de/epaper/Digitale_Bildung_in_Schule_Hochschule_Kultur/files/assets/common/downloads/publication.pdf) [07. 12. 2019]
- Becker, S., & Nerdel, C. (2017). Gelingensbedingungen für die Implementation digitaler Werkzeuge im Unterricht. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit Digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 46–62). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377.
- Berney, S., & Betrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 101, 150–167.
- Blömeke, S. (2003). Erwerb medienpädagogischer Kompetenz in der Lehrerbildung. Modell der Zielqualifikation, Lernvoraussetzungen der Studierenden und Folgerungen für Struktur und Inhalte des medienpädagogischen Lehramtsstudiums. In B. Bachmair, P. Diepold & C. De Witt (Hrsg.), *Jahrbuch Medienpädagogik 3* (S. 231–244). Opladen: Leske + Budrich.

- BMBF (2019a). *DigitalPakt Schule*. Abrufbar unter [https://www.bmbf.de/files/VV\\_DigitalPakt\\_Schule\\_Web.pdf](https://www.bmbf.de/files/VV_DigitalPakt_Schule_Web.pdf) [07. 12. 2019]
- BMBF (2019b). *Digitale Zukunft: Lernen. Forschen. Wissen. Die Digitalstrategie des BMBF*. Abrufbar unter [https://www.bildung-forschung.digital/files/BMBF\\_Digitalstrategie.pdf](https://www.bildung-forschung.digital/files/BMBF_Digitalstrategie.pdf) [07. 12. 2019]
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, *49*, 219–243.
- Chi, M. T. H., Adams, J., Bogusch, E. B., Bruchok, C., Kang, S., Lancaster, M. et al. (2018). Translating the ICAP theory of cognitive engagement into practice. *Cognitive Science*, *42*, 1777–1832.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, *68*(2), 179–201.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, *340*(19), 305–308.
- Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern: Schultz-Pernice, F., von Kotzebue, L., Franke, U. et al. (2017). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. *merz – medien + erziehung, Zeitschrift für Medienpädagogik*, *61*(4), 65–74.
- Groß, J. (2017). Digitale Bestimmungshilfen – Digitale Medien zur Vermittlung von Artenkenntnis. *Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht* 5–10, *19*, 22–25.
- Hackett, M., & Proctor, M. (2016). Three-dimensional display technologies for anatomical education: A literature review. *Journal of Science Education and Technology*, *25*, 641–654
- Harris, J., Mishra, P., & Koehler, M. J. (2009). Teachers' technological pedagogical content knowledge and learning activity types: Curriculum-based technology integration reframed. *JRTE*, *41*(4), 393–41.
- Herzig, B., Martin, A., Schaper, N., & Ossenschmidt, D. (2015). Modellierung und Messung medienpädagogischer Kompetenz – Grundlagen und erste Ergebnisse. In B. Koch-Priewe, A. Köker, J. Seifried & E. Wuttker (Hrsg.), *Kompetenzerwerb an Hochschulen: Modellierung und Messung. Zur Professionalisierung angehender Lehrer\*innen sowie frühpädagogischer Fachkräfte* (S. 153–176). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Hillmayr, D., Reinhold, F., Ziernwald, L., & Reiss, K. (2017). *Digitale Medien im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe. Einsatzmöglichkeiten, Umsetzung und Wirksamkeit*. Münster: Waxmann.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, *22*(6), 392–404.
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, *123*, 109–123.
- Jeong, H., & Hmelo-Silver, C. E. (2016). Seven affordances of computer-supported collaborative learning: How to support collaborative learning? How can technologies help? *Educational Psychologist*, *51*(2), 247–265.
- Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together – which works better for acquiring knowledge and skills? *Journal of Science Education and Technology*; online first. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0>.
- Kleimann, B., Özkilic, M., & Göcks, M. (2008). Studieren im Web 2.0. Studienbezogene Web und E-Learning-Dienste. *HISBUS Kurzinformation Nr. 21*. HIS Projektbericht, Hannover.
- KMK (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/Strategie\\_neu\\_2017\\_datum\\_1.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/Strategie_neu_2017_datum_1.pdf) [07. 12. 2019].
- KMK (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. München: Wolters Kluwer Deutschland GmbH.

- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology & Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Koehler, M. J., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. S., & Graham, C. R. (2014). The technological pedagogical content knowledge framework. In J. M. Specter, M. D. Merrill, J. Elen & M. J. Bishop (Hrsg.), *Handbook of research on educational communications and technology* (pp. 101–111). New York: Springer.
- Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M. & Neuhaus, B. J. (2019). Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00096-5>.
- Kuhn, J. (2017). Physik lehren und lernen mit mobilen Kommunikationsmedien von heute und morgen. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & Groß, J. (Hrsg.), *Lernprozesse mit Digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 125–142). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3(2), 113–132.
- Linn, M. C., & Eylon, B.-S. (2011). *Science learning and Instruction: Taking advantage of technology to promote knowledge integration*. New York: Routledge.
- Lowe, R. K. & Schnotz, W. (2014). Animation principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*, (2. Aufl., S. 513–546). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lund, A., Furberg, A., Bakken, J., & Engeliën, K. L. (2014). What does professional digital competence mean in teacher education? *Nordic Journal of Digital Literacy*, 9(4), 281–299.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 43–71). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2017). Using multimedia for e-learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33, 403–423.
- Oliver-Hoyo, M., & Babilonia-Rosa, M. A. (2017). Promotion of spatial skills in Chemistry and Biochemistry education at the college level. *Journal of Chemical Education*, 94, 996–1006.
- Petko, D. (2014). *Einführung in die Mediendidaktik*. Weinheim: Beltz.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G. & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337–386.
- Sailer, M., Murböck, J., & Fischer, F. (2017). Digitale Bildung an bayerischen Schulen – Infrastruktur, Konzepte, Lehrerbildung und Unterricht. Abrufbar unter: [https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2017/Downloads/Bi-0146-001\\_vbw\\_Studie\\_Digitale-Bildung-an-bayerischen-Schulen.pdf](https://www.vbw-bayern.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2017/Downloads/Bi-0146-001_vbw_Studie_Digitale-Bildung-an-bayerischen-Schulen.pdf) [07. 12. 2019]
- Scheiter, K. (2015) Besser lernen mit dem Tablet? Praktische und didaktische Potenziale sowie Anwendungsbedingungen von Tablets im Unterricht. In H. Buchen, L. Horster & H.-G. Rolff (Hrsg.), *Schulleitung und Schulentwicklung*, (3. Aufl. S. 1–14). Stuttgart: Raabe-Verlag.
- Schmid, U., Goertz, L., Radomski, S., Thom, S., & Behrens, J. (2017). *Monitor Digitale Bildung – Die Hochschule im digitalen Zeitalter*. Abrufbar unter: [https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSSt/Publikationen/GrauePublikationen/DigiMonitor\\_Hochschulen\\_final.pdf](https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSSt/Publikationen/GrauePublikationen/DigiMonitor_Hochschulen_final.pdf) [30. 10. 2019].
- Schnotz, W. (2014). Integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 72–103). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., Boeckheler, J., Grzondziel, H., Gaertner, I., & Waechter, M. (1998). Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12(2/3), 135–145.

- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Sung, Y.-T., Chang, K.-E., & Liu, T.-C. (2016). The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance. A meta-analysis and research synthesis. *Computers & Education*, 94, 252–275.
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296
- Sweller, J., van Merriënboer, J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>.
- Thyssen, C. (2017). Augmented Reality (AR) im praktischen Unterricht. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit Digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 234–253). Hamburg: Joachim Herz Stiftung Verlag.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368,
- Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational Psychology Review*, 26, 265–283.
- Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., & Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>.
- von Kotzebue, L., Franke, U., Aufleger, M., Schultz-Pernice, F., Neuhaus, B.J., & Fischer, F. (eingereicht). Modelle zu Kernkompetenzen von angehenden Lehrkräften für das digitale Lehren und Lernen veranschaulicht am Beispiel des Biologieunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)*.
- von Kotzebue, L., & Neuhaus, B.J. (2016). Was macht einen guten Unterricht und einen guten Lehrer aus? Trends der Unterrichtsqualitäts- und Lehrerprofessionalitätsforschung aus fachdidaktischer Perspektive. In A. Sandmann & P. Schmiemann (Hrsg.), *Biologie Lehren und Lernen* (Bd. 1, S. 117–142.). Berlin: Logos.
- von Kotzebue, L., Gerstl, M., & Nerdel, C. (2015). Common mistakes in the construction of diagrams in biological contexts. *Research in Science Education*, 45(2), 193–213.
- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Informationen und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis* (S. 45–64). Weinheim: PVU-Beltz.
- Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Mäeots, M., Siiman, L., & Tsourlidak, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: A literature review. *Education Technology Research and Development*, 63, 257–302.
- Zydney, J. M., & Warner, Z. (2016). Mobile apps for science learning: Review of research. *Computers & Education*, 94, 1–17.

**Abstract:** Digital technologies are applied in STEM (science, technology, engineering and mathematics) classes as learning- or future working tools for the scientific-technological professional fields. These innovative techniques are a component part of the scientific way of thinking and working, e. g. for genome sequencing or automatic measured value acquisition and data analysis of scientific experiments. Furthermore, digital technologies promote a stronger constructivist focus and allow an active and reflexive learning process in STEM classes. By putting increasing requirements on students, the use of digital technologies not only promises success but may also lead to worse learning results when proper instruction is missing. Based on these subject-specific competences of students in dealing with digital technologies, further requirements for a contemporary teacher training and professional development to integrate digital technologies in science education are indicated. These requirements are discussed in the context of current models for professional competences of (prospective) teachers.

**Keywords:** Multiple Representations, M-Learning with Digital Media, Cognitive Theory of Multimedia Learning, TPACK, Science Teacher Education

### **Anschrift der Autor\_innen**

Prof. Dr. Claudia Nerdel, Technische Universität München,  
Professur für Fachdidaktik Life Sciences,  
Arcisstraße 21, 80333 München, Deutschland  
E-Mail: [claudia.nerdel@tum.de](mailto:claudia.nerdel@tum.de)

Ass.-Prof. Dr. Lena von Kotzebue, Paris Lodron Universität Salzburg,  
Didaktik der Bio- und Geowissenschaften, School of Education,  
Hellbrunner Straße 34, 5020 Salzburg, Österreich  
E-Mail: [lena.vonkotzebue@sbg.ac.at](mailto:lena.vonkotzebue@sbg.ac.at)