

1. Einleitung

Die Digitalisierung des schulischen Lehrens und Lernens stellt nicht zuletzt aufgrund der Corona-Pandemie ein zentrales Thema aktueller Debatten im Bereich der Bildungspolitik und empirischen Bildungsforschung dar (z. B. Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF], 2019; Eickelmann & Gerick, 2020; Fraillon et al., 2014; van Ackeren et al., 2019; van Ackeren et al., 2020). Diese widmen sich der Herausforderung, Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen, welche Heranwachsende auf die Teilhabe in der fortschreitend digitalisierten Gesellschaft vorbereiten. Gleichzeitig wird dem Einsatz von Technologien eine hohe Lernwirksamkeit zugeschrieben (Hillmayr et al., 2020). Davon ausgehend ist es nicht nur zwangsläufig erforderlich, sondern ebenfalls gewinnbringend, digitale Medien mit einer zentralen Funktion in schulische Lehr- und Lernprozesse zu implementieren, gleichwohl es dafür wesentlicher Veränderungen von schulischen, infrastrukturellen und personellen Rahmenbedingungen bedarf (BMBF, 2019; Eickelmann, Bos & Labusch, 2019; KMK, 2016; van Ackeren et al., 2019).

Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass die lernwirksamen Potenziale digitaler Werkzeuge bisher nicht ausgeschöpft werden und dass die Mehrheit der Lehrkräfte Schwierigkeiten aufweist, die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen (Bos et al., 2016; Eickelmann, Bos & Labusch, 2019; U. Schmid et al., 2017). Dies wird insbesondere im internationalen Vergleich deutlich (Drossel et al., 2019). Demzufolge kommt der digitalisierungsbezogenen Aus-, Fort-, und Weiterbildung eine hohe Bedeutsamkeit zu (Lorenz & Endberg, 2019; Schiefner-Rohs, 2020; van Ackeren et al., 2019). Gleichzeitig fehlt es allerdings an ebensolchen Möglichkeiten, die notwendigen Kompetenzen im Rahmen der Lehrkräftebildung erlangen zu können. Zentrale limitierende Faktoren stellen dabei insbesondere die mangelnden Orientierungen und die fehlende Verankerung bzw. abgestimmte Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen in allen drei Phasen der Lehrkräftebildung dar (Lorenz et al., 2019; Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020).

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit bildet daher die Entwicklung und Evaluation eines Hochschulseminars zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen angehende(r) Chemielehrkräfte. Ziel ist es dabei neben der Evaluation der Wirksamkeit des Seminars, Implikationen für die Gestaltung der universitären Lehramtsausbildung herauszustellen. Thematischer Fokus des Seminars war daher der lernförderliche Einsatz digitaler Werkzeuge für das Lehren und Lernen im Chemieunterricht. Die Auswahl der Inhalte des Seminars erfolgte ausgehend von einer umfassenden Recherche zu theoretischen und empirischen Befunden aus der (fach-)didaktischen Forschung. Zur Beschreibung der digitalisierungsbezogenen Kompetenzen wird sich auf das *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) bezogen, welches neben der Funktion als theoretisches Rahmenkonzept auch für die Entwicklung von einigen Test- und Auswertungsinstrumenten herangezogen wird. Zur Analyse der Wirksamkeit des Seminars wird es in Anlehnung an Schlüter (2018) und Kirkpatrick (1979) in Hinblick auf die folgenden vier Evaluationsebenen untersucht: *Attraktivität, kognitive Veränderungen, unterrichtspraktische Umsetzung* und *Wirkung auf die Schüler*innen*. Neben der Einschätzung des Seminars und dem

Lernzuwachs soll damit ebenfalls ermittelt werden, inwiefern die Seminarteilnehmer*innen dazu in der Lage sind, die Seminarinhalte in der Praxis umzusetzen. Daher wird das konzipierte Seminar von den Studierenden ein Semester vor ihrem Praxissemester belegt, um sie währenddessen begleiten zu können.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Konzeption und Evaluation des Seminars zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen angehender Chemielehrkräfte, welches anhand einer explanativen Feldstudie analysiert wird. Dazu wird einerseits die wahrgenommene Attraktivität des Seminars erfasst. Andererseits werden die kognitiven Veränderungen der Studierenden hinsichtlich ihrer Fähigkeiten, digitale Werkzeuge in die Unterrichtsplanung zu integrieren, ihre TPACK-Selbstwirksamkeit sowie ihre Einstellung über einen Pre- und Post-Vergleich ermittelt. Um den langfristigen Effekt des Seminars auf die TPACK-Selbstwirksamkeit und Einstellung zu untersuchen, werden diese zudem zum Abschluss des Praxissemesters erhoben. Durch die Hinzunahme einer Vergleichsgruppe mit Studierenden einer vergleichbaren Universität kann darüber hinaus die interne Validität der Studie erhöht werden. Des Weiteren wird im Rahmen der Untersuchung überprüft, inwiefern die Studierenden dazu in der Lage sind, die Seminarinhalte unterrichtspraktisch umzusetzen, indem sie im Rahmen des Praxissemesters ein Unterrichtsprojekt planen und durchführen, in welchem digitale Werkzeuge eine besondere Rolle einnehmen.

2. Theorie und Forschungsstand

In diesem Kapitel werden die theoretische und empirische Fundierung der vorliegenden Arbeit dargestellt. Dazu sollen in Kapitel 2.1 zunächst Grundlagen zur Digitalisierung des Lehrens und Lernens gelegt werden, indem neben den allgemeinen Anforderungen an die schulische Medienbildung auch die Potenziale des digital gestützten Lernens aufgeführt werden. Zudem wird auf Befunde aus der Schulpraxis eingegangen, welche vor dem Hintergrund des Projektes diskutiert werden. Des Weiteren widmet sich die theoretische Fundierung den professionellen Kompetenzen von Lehrkräften im Kontext der Digitalisierung, welche unter Bezugnahme verschiedener Modelle beleuchtet werden (vgl. Kapitel 2.2). Im Anschluss erfolgt eine Darstellung theoretischer und empirischer Befunde zum *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK), welches in dieser Arbeit als Rahmen zur Beschreibung und Analyse der digitalisierungsbezogenen Kompetenzen von Lehrer*innen dient (vgl. Kapitel 2.3).

Ausgehend von diesen empirischen Befunden und den daraus resultierenden Implikationen zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Lehramtsstudierenden werden schließlich die dieser Arbeit zugrundeliegenden Hypothesen abgeleitet (vgl. Kapitel 2.4).

2.1 Digitalisierung des Lehrens und Lernens

Die in der Einleitung beschriebenen Entwicklungen und Annahmen zugrunde legend sollen im ersten Teil dieses Kapitels zunächst die Anforderungen an die schulische Medienkompetenzvermittlung beleuchtet werden. Dabei wird nicht nur deren allgemeine Bedeutsamkeit in Betracht gezogen, sondern werden ebenfalls die für Lernende an Schulen in Deutschland formulierten Medienkompetenzen aufgeführt (vgl. Kapitel 2.1.1). Im anschließenden Abschnitt sollen dann die Potenziale digitaler Werkzeuge in schulischen Lehr- und Lernprozessen herausgestellt werden. In diesem Zuge erfolgt zunächst eine Vorstellung theoretischer Ansätze und Annahmen zum multimedialen Lernen (vgl. Kapitel 2.1.2.1), um danach empirische Studien zu ihrer Wirksamkeit zu diskutieren (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Ferner wird sich in diesem Kapitel mit aktuellen Befunden aus der Schulpraxis hinsichtlich der Umsetzung digital gestützten Lehrens und Lernens auseinandergesetzt (vgl. 2.1.3) sowie ein Blick auf die gegenwertige Lehrer*innenbildung geworfen (vgl. Kapitel 2.1.4). Abschließend werden in einem Fazit die Ausführungen dieses Kapitels zur Digitalisierung des Lehrens und Lernens zusammengefasst (vgl. Kapitel 2.1.5).

2.1.1 Anforderungen an die schulische Medienkompetenzvermittlung

Aufgrund der stetig zunehmenden Digitalisierung in sowohl beruflicher, privater und gesellschaftlicher Hinsicht, ist es für die berufliche und gesellschaftliche Teilhabe mittlerweile entscheidende Voraussetzung, unterschiedlichste Technologien anwenden zu können (BMBF, 2016; Fraillon et al., 2014; Honegger, 2016; Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein [IQSH], 2018; KMK, 2012, 2016;

Landesregierung NRW, 2016). So konstatiert beispielsweise auch die Landesregierung Nordrhein-Westfalens (NRW), dass sich aufgrund des digitalen Wandels „Digitale Schlüsselkompetenzen“ als weitere Kulturtechnik zusätzlich zum Schreiben, Lesen und Rechnen etablieren werden (Landesregierung NRW, 2016). Zudem scheint die Nutzung von Internet, Smartphone, Tablets und anderen Technologien für Kinder und Jugendliche selbstverständlich zu sein. Dementsprechend stellen digitale Medien für sie einen festen und nicht wegzudenkenden Bestandteil des Alltags dar, welche wiederum die Ansichten und Gewohnheiten dieser bedeutsam prägen (Autorengruppe Bildungsberichterstattung, 2020; Honegger, 2016; Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018a, 2018b, 2019): Während 99 % der 12- bis 19-jährigen Zugriff auf ein Smartphone haben, steigt die Nutzung digitaler Medien allgemein mit zunehmendem Alter an (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2019). Ferner spiegeln sich die digitalisierungsbezogenen Entwicklungen auch im Freizeitverhalten der Jugendlichen wider, da sich Kinder und Jugendliche in ihrer Freizeit zunehmend häufiger mit unterschiedlichen Medien beschäftigen (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018a, 2018b, 2019).

Folglich wird aufgrund des beschriebenen Medienverhaltens der heranwachsenden Generationen und ihrer Mediensozialisation häufig geschlussfolgert, dass sie für die kompetente Anwendung von Technologien nicht explizit gefördert werden müssen. Deshalb werden sie häufig auch als „*digital natives*“ bezeichnet, da digitalisierungsbezogene Kompetenzen von Heranwachsenden in der digitalen Welt als selbstverständlich angenommen werden (Prensky, 2001). Dies steht allerdings im Widerspruch zu den Ergebnissen empirischer Untersuchungen, wie der *International Computer and Information Literacy Study* (ICILS), die einen internationalen Vergleich der computer- und informationsbezogenen Kompetenzen von Schüler*innen der 8. Jahrgangsstufe zogen (Bos, Eickelmann & Gerick, 2014; Eickelmann, Bos, Gerick, Goldhammer et al., 2019; Eickelmann, Bos & Labusch, 2019). Hier stellte sich beispielsweise heraus, dass weniger als ein Viertel der teilnehmenden Schüler*innen in Deutschland dazu in der Lage ist, „selbstständig und reflektiert digitale Medien in unterschiedlichen Fähigkeitsbereichen zu nutzen“, obwohl sie so gut wie alle über ein Smartphone oder ähnliche digitale Endgeräte verfügen (Eickelmann, Bos & Labusch, 2019, S. 13). So werden die computer- und informationsbezogenen Kompetenzen von einem Drittel der Schüler*innen in Deutschland als rudimentär und basal beschrieben (ebd.).

Die Bedeutsamkeit der Digitalisierung für die schulische Bildung wurde von der Kultusministerkonferenz (KMK) erkannt, sodass diese mit ihrer Strategie zur Bildung in der digitalen Welt einen verbindlichen Rahmen zum Lernen *mit* und *über* digitale Medien geschaffen haben. Dabei standen folgende beiden Fragen im Zentrum der KMK: „Über welche Kompetenzen müssen Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene verfügen, um künftigen Anforderungen der digitalen Welt zu genügen? Und welche Konsequenzen hat das für Lehrpläne, Lernumgebungen, Lernprozesse oder die Lehrerbildung?“ (KMK, 2016, S. 5) Entsprechend wurden mit dieser Erweiterung des Bildungsauftrages um die Digitalisierung konkrete Kompetenzen formuliert, über welche alle Schüler*innen mit

Abschluss ihrer Schulzeit verfügen sollen, damit ihnen ein erfolgreicher Bildungs- und Berufsweg ermöglicht werden kann. Diese benannten Kompetenzen sollen wiederum als Basis für die Überarbeitung, Erweiterung und Präzisierung von Rahmen-, Lehr- und Bildungsplänen sowie Bildungsmedien dienen. Dabei sollen die formulierten Kompetenzen nicht innerhalb eines Curriculums eines eigenständigen Faches erworben werden, sondern in den Fachcurricula aller Unterrichtsfächer integriert und umgesetzt werden. So werden sowohl fachspezifische Zugänge bei der Inhaltsvermittlung berücksichtigt als auch fachbezogene Anwendungen digitaler Werkzeuge eingeschlossen. Neben dem Lernen *mit* Technologien beinhaltet die schulische Medienkompetenzvermittlung ebenfalls das Lernen *über* digitale Medien. Darunter wird in schulischen Lehr- und Lernkontexten die kritisch-reflektierende Auseinandersetzung mit medialen Inhalten bzw. Medien im Allgemeinen verstanden (z. B. Lorenz, Bos et al., 2017). Letztendlich wird betont, dass die Bildung in der digitalen Welt „daher eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung [sei], die ein abgestimmtes und koordiniertes Handeln aller Akteure im Themenfeld Bildung erfordert.“ (KMK, 2016, S. 51)

Die schulischen Anforderungen im Bereich der Digitalisierung von Lehr- und Lernprozessen werden von der KMK (2016) als „Kompetenzen in der digitalen Welt“ in sechs Kompetenzbereiche strukturiert, die jeweils zusätzliche Unterkategorien mit weiteren Kompetenzfacetten umfassen. Die benannten Kompetenzen stützen sich auf dem *Digital Competence Framework for Citizens* (DigComp) der Europäischen Union, in welchem ebenfalls Schlüsselkompetenzen identifiziert wurden, welche Schüler*innen während ihrer Schullaufbahn aufbauen sollen, um angemessen auf die Anforderungen der digitalisierten Welt vorbereitet zu sein. Diese lauten wie folgt: Informations- und Datenkompetenz, Kommunikation und Kooperation, Erstellung digitaler Inhalte, Sicherheit sowie Problemlösung (Vuorikari et al., 2016). Dementsprechend decken sie sich mit den für Deutschland bundesweit gestellten Anforderungen. Diese sechs übergeordneten Kompetenzbereiche lassen sich zusammenfassend folgendermaßen beschreiben (KMK, 2016):

- (1) *Suchen, Verarbeiten und Aufbewahren*: Hierunter wird neben dem zweckmäßigen Auswählen adäquater Quellen auch die Analyse und kritische Auseinandersetzung mit recherchierten Informationen verstanden. Zusätzlich umfasst dieser Kompetenzbereich die Fähigkeit, gesammelte Informationen strukturiert und sicher speichern sowie abrufen zu können.
- (2) *Kommunizieren und Kooperieren*: Mit diesem Bereich wird eine Bandbreite an unterschiedlichen Aspekten zusammengefasst, die auf eine zielgerichtete und verantwortungsvolle Kommunikation und Zusammenarbeit mit und über Medien zielen. Beispielsweise fallen hierunter sowohl die Verständigung über digitale Kommunikationsmedien beim gleichzeitigen Einhalten von Umgangsregeln als auch das Erstellen gemeinsamer Dokumente.
- (3) *Produzieren und Präsentieren*: Diese Kompetenz beschreibt das Gestalten von unterschiedlichen medialen Formaten, dementsprechend also die Fähigkeit, Informationen mithilfe unterschiedlicher digitaler Werkzeuge darstellen bzw. präsentieren zu können sowie (digitale) Inhalte modifizieren und erweitern zu können.

Dies soll unter Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgen, was zum einen beinhaltet, Nutzerrechte wie das Urheberrecht entsprechend zu beachten, und zum anderen die Berücksichtigung von Persönlichkeitsrechten einschließt.

- (4) *Schützen und sicher Agieren*: Hiermit wird einerseits das Wissen zum sicheren und reflektierten Handeln unter Schutz der persönlichen Daten beim Gebrauch von Technologien verankert; andererseits umfasst dieser Bereich die Wahrnehmung des Medienkonsums zum Schutz der Gesundheit sowie möglicher Auswirkungen der Nutzung von Technologien auf die Umwelt.
- (5) *Problemlösen und Handeln*: Unter diesem Bereich werden zunächst die technischen Fähigkeiten, verschiedene digitale Werkzeuge bedienen und anwenden zu können sowie bei technischen Schwierigkeiten problemorientiert agieren zu können, gefasst. Ferner wird sich hier auch auf Facetten der informatischen Grundbildung, wie dem Erkennen und der Formulierung von Algorithmen, bezogen.
- (6) *Analysieren und Reflektieren*: Neben der Fähigkeit, die Vielfalt von Technologien zu kennen sowie beurteilen zu können, wird auch die kritische Reflexion des eigenen Medienverhaltens und das Erkennen der Bedeutung von Technologien für die Gesellschaft bzw. deren Einfluss auf unterschiedlichste gesellschaftliche Aspekte vorausgesetzt.

Der KMK (2016) zufolge sollen diese formulierten Kompetenzen Ausgangspunkt für zielgerichtete Entwicklungen auf Bundesländerebene dienen, um die Anforderungen bundesweit umsetzen zu können. So hat NRW beispielsweise als erstes Bundesland mit der Neufassung des „Medienkompetenzrahmens NRW“ die Medienkompetenzvermittlung für die gesamte Bildungskette systematisiert und neu festgesetzt. Daneben diene dieser ebenfalls als Orientierung und Leitfaden für die entsprechende Anpassung und Konkretisierung aller fachspezifischen Bildungspläne (Medienberatung NRW, 2018).

Mit Blick auf diese Entwicklungen steht der schulische Unterricht nun vor der Herausforderung, zuvor praktizierte Lehr- und Lernmethoden umzustellen. Da die bloße Forderung, eine digital gestützte Lehr- und Lernkultur zu schaffen, allein nicht ausreicht, wird zusätzlicher Handlungsbedarf in Bereichen der technischen-infrastrukturellen, inhaltlichen und personellen Rahmenbedingungen hervorgehoben (Becker & Nerdel, 2017; KMK, 2016; U. Schmid et al., 2017). Daher wird auch auf Bundesebene über mögliche Maßnahmen zur Realisierung der veränderten Anforderungen diskutiert. So publizierte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die „Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft“ (BMBF, 2016). Im Rahmen dieser Bildungsoffensive sollen vom BMBF über den „DigitalPakt Schule“ Mittel von fünf Milliarden Euro für den Zeitraum von 2019 bis 2024 bereitgestellt werden, um so eine zeitgemäße digitale Infrastruktur nicht nur auszubauen, sondern auch nachhaltig verbessern zu können. Damit soll insbesondere in notwendige Voraussetzungen, wie zum Beispiel WLAN-Anschlüsse oder Endgeräte, investiert werden. Gleichzeitig verpflichten sich die Länder dazu, eigene Maßnahmen zur Qualifizierung angehender und unterrichtender Lehrkräfte zu ergreifen sowie pädagogische Lehr- und Lernkonzepte für den effektiven Einsatz digitaler Werkzeuge zu

entwickeln (BMBF, 2019; BMBF & KMK, 2017; Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2020).

2.1.2 Potenziale digitaler Werkzeuge für Lehr- und Lernprozesse

Neben der Bedeutsamkeit der schulischen Vermittlung von Medienkompetenzen mit dem Ziel der beruflichen und gesellschaftlichen Teilhabe spricht auch aus pädagogischer Sicht Vieles für die gezielte Nutzung digitaler Medien zur Gestaltung von schulischen Lehr- und Lernprozessen. So werden in ihnen große Potenziale hinsichtlich Bildung und Partizipation gesehen (z. B. Baumann & Melle, 2019; Hillmayr et al., 2017; Kieserling & Melle, 2019; Miesenberger et al., 2012). Da Medien laut Definition nach Petko (2014) „einerseits kognitive und andererseits kommunikative Werkzeuge zur Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von zeichenhaften Informationen“ darstellen, kommt ihnen in schulischen Lehr- und Lernkontexten eine sehr bedeutsame Rolle zu (ebd., S. 13). Sie stehen damit als Vermittler zwischen Lernenden und Lerngegenstand und dienen zugleich der Veranschaulichung von Inhalten (Kuhn et al., 2017; Reiners, 2017; Ropohl et al., 2018). Dabei sind sowohl digitale als auch analoge Medien eingeschlossen. Dennoch bieten digitale Bildungsmedien zusätzlich besondere Potenziale, wenn sie gewinnbringend in den Unterricht integriert werden. Diese finden sich in unterschiedlichen theoretischen und didaktisch-methodischen Ansätzen sowie in Erkenntnissen aus dem Bereich der Lernpsychologie, welche verschiedene Aspekte zur bestmöglichen Unterstützung von Lernprozessen und zur Gestaltung digital gestützter Unterrichtsmedien beleuchten. Entsprechend wird zunächst das theoretische Verständnis über lernwirksame sowie lernbeeinträchtigende Faktoren beim multimedialen Lernen dargestellt, bevor auf empirische Befunde zu den Potenzialen digitaler Werkzeuge eingegangen wird.

2.1.2.1 Theoretische Ansätze zum multimedialen Lehren und Lernen

Im Rahmen der theoretischen Auseinandersetzung des Einflusses von Technologien auf das Lernen soll zunächst auf das Potenzial der *Multimedialität* eingegangen werden. Dieser Begriff umfasst die Kombination aus sprachlichen und bildhaften Darstellungsformaten von Informationen bzw. unterschiedlichen Informationsträgern und stellt damit zunächst ein Merkmal von sowohl digitalen als auch analogen Unterrichtsmedien dar (Girwidz & Hoyer, 2018; Mayer, 2002; Scheiter et al., 2018; Scheiter & Richter, 2015; Weidenmann, 1997, 2002). Hinsichtlich der bildhaften Darstellungen kann es sich dabei um statische Repräsentationen, beispielsweise Diagramme und Abbildungen, oder dynamische Formen, wie Animationen, Videos und gesprochenen Text, handeln. Multimedial dargestellte Informationen besitzen aufgrund der damit erhöhten Veranschaulichung ein besonderes Lernpotenzial (Mayer, 2002, 2014; Scheiter & Richter, 2015). Zudem liegt eine besondere Stärke multimedialer Unterrichtsmaterialien in der *Multimodalität* und der *Multicodalität*. Informationen werden multimodal dargestellt, wenn sie unterschiedliche sensorische Systeme ansprechen und damit mehrere Sinne (z. B. auditiv und visuell)

gleichzeitig aktiviert werden, während sich multicodale Informationen durch die Nutzung unterschiedlicher Symbolsysteme (z. B. Text und Bild) auszeichnen. Auch wenn sich mit diesen Begrifflichkeiten ebenfalls auf analoge Bildungsmedien bezogen werden kann, wird der Begriff *Multimedia* meistens dennoch mit der Verwendung mehrerer Technologien zur Informationsvermittlung in Verbindung gebracht. Dabei liegt das besondere Potenzial digitaler Medien darin, die verschiedenen Darstellungsformate flexibel und dynamisch miteinander kombinieren zu können, sodass verschiedene Informationen gleichzeitig oder direkt nacheinander aufgenommen werden können. Damit kann sowohl die Zugänglichkeit der Informationen als auch deren langfristige Verankerung erleichtert werden. Digital und multimedial dargestellte Informationen bieten damit mehr Chancen und Vorteile für das schulische Lehren und Lernen als vergleichsweise analoge Unterrichtsmaterialien (Girwidz & Hoyer, 2018; Scheiter et al., 2018, 2020; Weidenmann, 2002).

Ein theoretischer Ansatz, der die Prozesse der Informationsverarbeitung beim Lernen mit multimedialen Unterrichtsmaterialien in denen Inhalte multimodal und multicodal angeboten werden fokussiert, ist die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) nach Mayer (2002). Diese beruht auf folgenden drei Annahmen:

- (1) Die Verarbeitung visueller und akustischer bzw. bildlicher und verbaler Informationen erfolgt über zwei unterschiedliche Kanäle. Demzufolge wird Verbales entweder über den auditiven oder visuellen Kanal verarbeitet, während Piktoriales den visuellen Kanal beansprucht.
- (2) Die Kapazität der beiden Kanäle bzw. des Arbeitsgedächtnisses ist begrenzt; bei Kombination beider Kanäle wird jedoch die Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses vergrößert.
- (3) Das Lernen wird als ein aktiver Prozess verstanden, bei dem es entscheidend ist, dass sich Lernende fokussiert mit neuen Inhalten anhand eines spezifischen Lerngegenstands auseinandersetzen, um so neues mit bestehendem Wissen verknüpfen zu können.

Basierend auf diesen theoretischen Annahmen und dem Verständnis der kognitiven Prozesse des Arbeitsgedächtnisses können wiederum Implikationen für die optimale Repräsentation und Aufnahme von Informationen abgeleitet werden. Entsprechend wird davon ausgegangen, dass insbesondere multimedial bzw. multimodal oder multicodal dargebotene Informationen eine tiefer gehende Verarbeitung fördern können (Mayer, 2002, 2014). Für die Darbietung eines solchen vielschichtigen Angebots an Informationen werden insbesondere digitalen oder digital gestützten Lernmaterialien große Potenziale zugesprochen (Dorgerloh & Wolf, 2019; Hillmayr et al., 2017; Schanze & Girwidz, 2018; Scheiter et al., 2020).

Dennoch verfügt das menschliche Informationsverarbeitungssystem nur über eine begrenzte Aufmerksamkeitsspanne und Speicherkapazität. Daher besteht insbesondere bei Multimedia-Anwendungen das Risiko einer hohen kognitiven Belastung des Arbeitsge-

dächtnisses, wodurch das Lernen erschwert werden kann (Mayer, 2005). Diese beschränkte Verarbeitungskapazität kann mit der *Cognitive Load Theory* beschrieben werden (Sweller, 2005; Sweller et al., 2011; van Merriënboer & Sweller, 2005). In dieser wird davon ausgegangen, dass sich die kognitive Belastung beim Erlernen einer Fähigkeit, aus den folgenden drei Bereichen zusammensetzt (Jong, 2010; Leppink et al., 2013; Paas et al., 2003; Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019):

- *Intrinsic Cognitive Load*: beruht auf der Komplexität und dem Umfang des Lerninhalts
- *Extraneous Cognitive Load*: resultiert aus der Gestaltung des Lerninhalts
- *Germane Resources*: sind die lernbezogenen Ressourcen, welche zum Verstehen des Lerninhalts und damit für die Bewältigung des *Intrinsic Cognitive Load* genutzt werden

Ziel der kognitiven Belastung beim Lernen ist es Sweller et al. (2011) zufolge, den *Extraneous Cognitive load* möglichst gering zu halten. Da insbesondere digital aufbereitete Unterrichtsinhalte häufig eine höhere Informationsdichte und Komplexität in der Gestaltung des Lerninhalts beinhalten, besteht die Gefahr der Überlastung des Arbeitsgedächtnisses. Deshalb sollte bei der Gestaltung von multimedialem Arbeitsmaterial darauf geachtet werden, dass den Lernenden Material zur Verfügung gestellt wird, welches sie so effizient und effektiv wie möglich nutzen können. Dafür gibt es verschiedene Empfehlungen für die Text- und Bildgestaltung, welche dazu dienen, die Überlastung des Arbeitsgedächtnisses der Lernenden zu vermeiden. Diese gelten für sowohl analoge als auch digitale Medien gleichermaßen (R. C. Clark & Mayer, 2011; Hartley, 2014; Mayer, 2014; Meier et al., 2016).

Die höhere Lernwirksamkeit multimedialer gegenüber monomedialer Unterrichtsmaterialien (z. B. ausschließlich über Text) konnte durch verschiedene empirische Untersuchungen bestätigt werden (R. C. Clark et al., 2006; z. B. R. C. Clark & Mayer, 2011). Dieser vorteilhafte Effekt multimedialer Lehr- und Lernmaterialien wird häufig als *Multimediaeffekt* beschrieben (Mayer, 2009). Damit wird wiederum hervorgehoben, dass die Lernförderlichkeit von Multimedia stark von deren Gestaltung sowie zentralen Lernmerkmalen abhängig ist. Der Multimediaeffekt umfasst damit eine Kombination aus Effekten der *Multimedialität* und *Multicodalität*, aus denen folgende Gestaltungskriterien abgeleitet werden können (R. C. Clark et al., 2006; R. C. Clark & Mayer, 2011; Fleischer & Nerdel, 2017; Mayer, 2014; Seery & O'Connor, 2015):

- *Multimedia-Prinzip*: Die Lernförderlichkeit wird durch eine gleichzeitige Darbietung von Worten und Bildern stärker erhöht als durch einen Text allein.
- *Modalitäts-Prinzip*: Zum Erläutern von Grafiken, Animationen oder Videos eignen sich gesprochene Texte besser als geschriebene.
- *Redundanz-Prinzip*: Die gleichzeitige Darbietung von geschriebenem und gesprochenem Text kann das Lernen beeinträchtigen, sodass beispielsweise Animationen mit gesprochenen und geschriebenen Erläuterungen weniger lernwirksam sind als Animationen mit ausschließlich gesprochenen Erläuterungen.

- *Kontiguitäts-Prinzip*: Zusammengehörige Informationen wie Texte und Bilder sollten in räumlicher und zeitlicher Nähe positioniert werden.
- *Kohärenz-Prinzip*: Es sollte auf überflüssige und irrelevante Informationen und Materialien verzichtet werden.

Aus diesen kognitionspsychologischen Ansätzen kann insgesamt abgeleitet werden, dass die adäquate Gestaltung von Medien als Informationsträger und Basis kommunikativer Prozesse entscheidend für die Informationsverarbeitung ist. Dabei bieten allerdings insbesondere digital aufbereitete Materialien eine Reihe an weiteren Möglichkeiten, welche die Zugänglichkeit der Lerninhalte erhöhen können. Jene zusätzlichen Vorteile liegen insbesondere in der *Adaptivität* digital aufbereiteter Inhalte, da die Verarbeitung oder Bearbeitung dieser häufig individuell und flexibel von den Lernenden angepasst werden kann (Greitemann & Melle, 2020; Huwer et al., 2018; Kieserling & Melle, 2019; Miesenberger et al., 2012). Damit verfügen Informations- und Kommunikationstechnologien über das für schulische Lehr- und Lernprozesse gewinnbringende Potenzial, individuelle Zugangswege und Beteiligungsmöglichkeiten eröffnen zu können (Buchem, 2013; Jennings et al., 2011; Meier et al., 2016; Schanze et al., 2018). Des Weiteren werden zusätzliche Potenziale digitaler Unterrichtsmaterialien in der Möglichkeit der *Interaktivität* gesehen, da sich diese motivierend und aktivierend auf die Lernenden auswirken kann (Girwidz & Hoyer, 2018; Petko, 2014; Ulrich, 2017a; Ulrich & Huwer, 2017). Nicht zuletzt begünstigen digitale Medien nicht nur das Verarbeiten von Informationen, sondern bieten ihre technischen bzw. automatisierten Merkmale auch Vorteile beim Ordnen, Speichern, (Weiter-)Verarbeiten und Verbreiten von Inhalten, sodass gewisse Verfahren und Abfolgen effizienter gestaltet werden können (Aufenanger, 2014; Bastian, 2017; Honegger, 2016; Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020; Petko, 2014). Auch wenn die bloße Verwendung digitaler Unterrichtsmedien keine grundsätzliche Lernwirksamkeit erwarten lässt, bieten sie damit zumindest grundsätzlich eine Vielzahl an Potenzialen für die Gestaltung schulischer Lehr- und Lernprozesse, welche mit vergleichbaren analogen Unterrichtsmedien nicht nutzbar gemacht werden könnten (Hillmayr et al., 2017).

2.1.2.2 Empirische Befunde zur Lernwirksamkeit digitaler Lehr-Lern-Formate

Neben theoretischen, kognitionspsychologischen Arbeiten zum multimedialen Lernen liegen auch unterschiedliche empirische Untersuchungen vor, welche die lernförderlichen Potenziale digitaler Werkzeuge bestätigen konnten (Hillmayr et al., 2017; Hillmayr et al., 2020; Schaumburg, 2018). Die zentrale Frage ist dabei, welche jeweiligen Rahmenbedingungen entweder lernwirksam oder lernhinderlich sind. Jedoch variieren die Ergebnisse unterschiedlicher Studien diesbezüglich, weshalb die Lernwirksamkeit digitaler Werkzeuge wissenschaftlich noch nicht vollständig geklärt ist (z. B. Al-Balushi et al., 2017; Drijvers et al., 2014; Koedinger et al., 2010; Özyurt et al., 2014; Perry & Steck, 2015). In diesem Kontext bietet sich daher insbesondere die Betrachtung von Metastudien an, da die darin gezogenen Rückschlüsse und herausgestellten lernförderlichen Aspekte