

1. Einleitung

Weltweite Vernetzung, digitale Kommunikation, soziale Netzwerke, *digital natives*, mobile Endgeräte, künstliche Intelligenz – die Welt wird bzw. ist digital. Die Digitalisierung in unserer Gesellschaft ist präsenter denn je und insbesondere in Zusammenhang mit der Corona-Pandemie nicht mehr wegzudenken. Damit verbunden erlangen digitale Medien auch im Schulalltag und im Unterricht eine zunehmende Bedeutung. Neben der Vermittlung von fachlichen Inhalten ist die Aufgabe der Schule und des Unterrichts zudem, die Schüler*innen auf diese digitale Welt vorzubereiten (Hurrelmann, 2021). So fordert das Strategiepapier der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2016) die Ausbildung von Medienkompetenzen bei den Lernenden in jedem Unterrichtsfach. Daran setzt auch der Medienkompetenzrahmen NRW (Medienberatung NRW, 2018) an. So werden verschiedene Schlüsselqualifikationen formuliert, welche die Schüler*innen in jedem Unterrichtsfach erlangen sollen, um einen verantwortungsvollen und produktiven Umgang mit digitalen Medien zu erlernen. Auch die aktuellen Kernlehrpläne in Nordrhein-Westfalen greifen diese Thematik auf, sodass durch diese und den Medienkompetenzrahmen NRW eine „verbindliche Grundlage dafür geschaffen [wurde], dass das Lernen und Leben mit digitalen Medien zur Selbstverständlichkeit im Unterricht aller Fächer wird und alle Fächer ihren spezifischen Beitrag zur Entwicklung der geforderten Kompetenzen liefern“ (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019b).

Vor diesem Hintergrund stellt sich nicht mehr die Frage, ob digitale Medien in den Schulalltag integriert werden können, sondern wie dies lernförderlich gelingen kann. Dabei sollten die digitalen Medien nicht nur als Mittel zum Zweck eingesetzt, sondern vielmehr die sich dadurch ergebenden Potenziale sinnvoll genutzt werden (Bastian, 2017; Puente-dura, 2006). Dafür müssen jedoch die Vorteile und Potenziale des unterrichtlichen Einsatzes digitaler Medien ermittelt und erprobt werden, sodass die digitalen Medien von den Lehrkräften zielführend im Unterricht eingesetzt werden können.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Sie legt den Fokus auf verschiedene, praxisnahe Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien, wobei die Vermittlung und Sicherung von chemiespezifischen Fachinhalten im Vordergrund stehen. In diesem Projekt wird daher eine tablet-basierte Lernumgebung zur Einführung in das Basiskonzept *Chemische Reaktion* entwickelt. Dafür wird sich an lernpsychologischen Theorien und Gestaltungsprinzipien für digitale Unterrichtsmaterialien orientiert. Neben der Wissensvermittlung soll die digitale Lernumgebung auch zwei Möglichkeiten zur Sicherung des erlernten Fachwissens aufzeigen und diese miteinander vergleichen. So bieten digitale Medien die Möglichkeit, bewährte Unterrichtsformate, wie die Bearbeitung von Aufgaben, zu erweitern. Darüber hinaus sind durch den unterrichtlichen Einsatz digitaler Medien auch neue und innovative Formate, wie die Erstellung von Erklärvideos durch die Schüler*innen, möglich. Die Evaluation der digitalen Lernumgebung und der Vergleich beider Sicherungsmaßnahmen sollen insbesondere hinsichtlich des Lernzuwachses, der Einschätzung der Lernumgebung und der kognitiven Belastung der Schüler*innen erfolgen.

Ziel dieser empirischen Arbeit ist es demnach, die Wirkung des Tablet-Einsatzes bei der Vermittlung und Sicherung von Fachinhalten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I

zu analysieren. Dafür erfolgten zunächst eine Pre-Pilotierung und zwei weitere Voruntersuchungen. Die anschließende Hauptuntersuchung wurde mit sieben Gesamtschulklassen am Ende der achten bzw. zu Beginn der neunten Jahrgangsstufe in Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

2. Theoretische Fundierung

In diesem Kapitel werden die theoretischen und empirischen Grundlagen des Forschungsprojektes dargestellt. Dazu wird zunächst auf das digital-gestützte Lernen eingegangen. Im Anschluss wird der Fokus auf die Bearbeitung von Aufgaben mit Hilfe von digitalen Medien und den Einsatz von Erklärvideos im Unterricht gelegt. Zum Abschluss des Kapitels werden die Hypothesen der in dieser Arbeit vorgestellten Studie formuliert.

2.1 Digital-gestütztes Lernen

Nachfolgend werden auf Grundlage von zwei lernpsychologischen Theorien (vgl. Kapitel 2.1.1) verschiedene Gestaltungsprinzipien von digitalen Unterrichtsmaterialien abgeleitet (vgl. Kapitel 2.1.2). Daran anknüpfend werden verschiedene Möglichkeiten zum Einsatz von digitalen Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht thematisiert (vgl. Kapitel 2.1.3), bevor empirische Befunde zum Lernen mit digitalen Medien präsentiert werden (vgl. Kapitel 2.1.4).

2.1.1 Lernpsychologische Theorien

Damit multimediale Unterrichtsmaterialien lernförderlich in den Unterricht integriert werden können, sollten verschiedene Aspekte bei deren Gestaltung berücksichtigt werden. Dabei wird sich oft auf lernpsychologische Theorien gestützt, um die Materialien auf Grundlage von Erkenntnissen bezüglich der Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen im menschlichen Gehirn zu gestalten. Aus diesem Grund werden im Folgenden zwei lernpsychologische Theorien zum Lernen mit digitalen Medien vorgestellt: die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) und die *Cognitive Load Theory* (CLT).

Cognitive Theory of Multimedia Learning

Die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von Mayer (2009, 2014) umfasst die Multimodalität und die Multicodalität von digitalen Medien und stellt eine Theorie zur Verarbeitung von multimedialen Inhalten dar. Unter Multimodalität ist das Ansprechen von mehreren sensorischen Systemen (Sinneskanälen) mit digitalen Medien zu verstehen (Schanze & Girwidz, 2018, S. 178). Dies ist beispielsweise der Fall, wenn ein Text sowohl schriftlich vorliegt als auch in einer auditiven Version angeboten wird. Im Vergleich dazu werden im Sinne der Multicodalität verschiedene Symbol- und Repräsentationsformate durch die digitalen Medien genutzt, beispielsweise Texte, Bilder und Animationen (Weidenmann, 1997, 2002).

Die Grundlage dieser Theorie bilden zum einen Studien, die die Lernförderlichkeit von verschiedenen Aspekten beim Lernen mit digitalen Medien untersuchten (Schanze & Girwidz, 2018). Zum anderen stützt sich die Theorie von Mayer (2009, 2014) auf das Mehrspeichermodell von Atkinson und Shiffrin (1968) und das Arbeitsgedächtnis-Modell von Baddeley und Hitch (1974). Beiden Modellen zur Folge finden die Verarbeitung und Speicherung von Informationen in drei verschiedenen Bereichen statt: dem sensorischen Gedächtnis, dem Arbeitsgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis.

Die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* geht von drei Grundannahmen aus, die sich mit der Verarbeitung von multimedialen Informationen beschäftigen (Mayer, 2014):

1. *Zwei Kanäle:* Menschen verfügen über einen bildbasierten und einen sprachbasierten Informationskanal. Die Verarbeitung der eingehenden Informationen erfolgt anschließend – je nach Präsentationsform – in einem der beiden Kanäle. Diese Annahme basiert auf der *Dual Coding Theory* von Paivio (1990).
2. *Begrenzte Kapazität:* Sowohl der bildbasierte als auch der sprachbasierte Informationskanal verfügt über eine begrenzte Verarbeitungskapazität. So können beispielsweise von einer präsentierten Illustration nur einige wenige Bilder im visuellen Kanal verarbeitet und gespeichert werden. Jedoch kann die Gesamtkapazität durch die Kombination beider Kanäle vergrößert werden. Die Grundlage dieser Annahme bildet die *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011), welche weiter unten (siehe Abschnitt *Cognitive Load Theory*) genauer betrachtet wird.
3. *Aktive Verarbeitung:* Zum Verarbeiten und Verstehen von neuen Inhalten müssen sich die Lernenden aktiv mit den Lerninhalten auseinandersetzen. Dazu zählt die Auswahl wichtiger Informationen (selektieren), die Aufarbeitung in eine mentale Repräsentation (organisieren) und die Verknüpfung mit dem Vorwissen (integrieren). Für diese Annahme wird auf die *Generative Theorie des Lernens* von Wittrock (1974, 1989) zurückgegriffen.

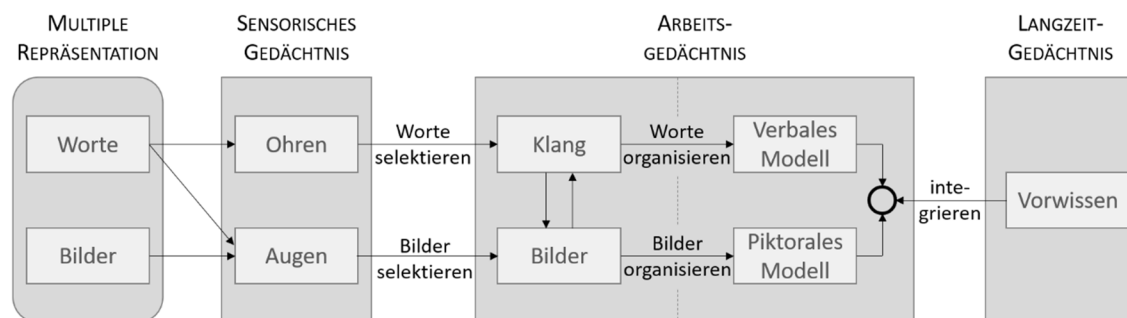


Abbildung 2-1: Multimediales Lernen nach Mayer (2009, 2014) (entnommen aus¹ Schanze & Girwidz, 2018, S. 179).

Das Modell des multimodalen Lernens nach Mayer (2009, 2014) ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Generell wird in dem Modell zwischen dem verbalen (obere Reihe in der Abbildung) und dem piktoralen (untere Reihe in der Abbildung) Informationskanal unterschieden. Die multimodalen Lerninhalte können den Schüler*innen durch Worte oder Bilder präsentiert werden. Die Aufnahme dieser Inhalte erfolgt anschließend im sensorischen Gedächtnis. Dabei können Worte sowohl mit den Ohren (auditive Informationen) als auch mit den Augen (visuelle Informationen) verarbeitet werden. Bilder gelangen durch den visuellen Kanal ins sensorische Gedächtnis.

Die eigentliche Verarbeitung der Inhalte erfolgt nach dem Modell allerdings erst im Arbeitsgedächtnis. Demnach müssen die Informationen vom sensorischen Gedächtnis in das Arbeitsgedächtnis überführt werden. Da beide Kanäle des Arbeitsgedächtnisses eine begrenzte Kapazität aufweisen, muss eine Selektion der Inhalte durch die Schüler*innen

¹ Bei der Bezeichnung „entnommen aus“ handelt es sich um Abbildungen bzw. Tabellen, die in einer äquivalenten Fassung in der entsprechenden Quelle vorzufinden sind und für diese Arbeit lediglich hinsichtlich der Schriftart, Farbgestaltung, etc. verändert wurden.

erfolgen. Diese Auswahl geschieht, wenn der*die Lernende die Aufmerksamkeit auf bestimmte Wörter bzw. Bilder im Ausgangsmaterial richtet. Im Arbeitsgedächtnis selbst kann ein Wechsel des Kanals durch die Lernenden erfolgen, indem beispielsweise geschriebene Wörter mental verbalisiert werden (Mayer, 2014).

Anschließend müssen die so ins Arbeitsgedächtnis gelangten Klänge und Bilder organisiert werden. Dafür werden von den Schüler*innen strukturelle Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen im Sinne einer Sinnstiftung aufgebaut. An dieser Stelle ist wiederum die begrenzte Kapazität zu berücksichtigen. Für die Lernenden ist es demnach nicht möglich, unendlich viele Verbindungen zwischen den einzelnen Elementen zu ziehen. Je nach verwendetem Informationskanal entsteht so im Arbeitsgedächtnis ein verbales oder ein piktorales Modell (Mayer, 2014).

In einem letzten Schritt werden die Informationen aus dem verbalen und dem piktoralen Bereich miteinander kombiniert. Dabei werden entsprechende Elemente und Beziehungen von dem einen Bereich auf den anderen abgebildet. Die so entstehende Kombination der verbalen und piktoralen Informationen wird anschließend mit dem bereits vorhandenen Vorwissen verknüpft. Dafür muss das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert und ins Arbeitsgedächtnis integriert werden. Das integrierte Modell muss zum Abschluss in die bereits bestehenden Wissensstrukturen des*der Lernenden überführt werden, sodass eine dauerhafte Speicherung der Informationen im Langzeitgedächtnis erfolgt (Mayer, 2014).

Cognitive Load Theory

Insbesondere multimediale Lerninhalte verfügen meist über eine hohe Informationsdichte und können dadurch schnell überfordernd und ablenkend wirken (Girwidz & Hoyer, 2021). Aus diesem Grund lohnt ein Blick auf die *Cognitive Load Theory*. Dieser Theorie liegt ebenfalls die Annahme zugrunde, dass das Arbeitsgedächtnis eine begrenzte Kapazität aufweist (Sweller et al., 1998). Die Kapazität wird als *Cognitive Load* (kognitive Belastung) bezeichnet. Anfänglich unterschieden Sweller et al. (1998, 259 ff.) zwischen drei verschiedenen Belastungsarten: *Intrinsic Cognitive Load* (intrinsische Belastung), *Extraneous Cognitive Load* (extrinsische Belastung), *Germane Cognitive Load* (lernbezogene Belastung). Auf der Grundlage neuerer empirischer Studien wurde diese Einteilung allerdings korrigiert. Demnach geht die *Cognitive Load Theory* nunmehr davon aus, dass sich die kognitive Belastung nur aus dem *Intrinsic Cognitive Load* und dem *Extraneous Cognitive Load* zusammensetzt und der *Germane Cognitive Load* nicht zur Gesamtbelastung des Arbeitsgedächtnisses beiträgt. Vielmehr wird der *Germane Cognitive Load* als übergeordnete lernbezogene Ressource (*German Resource*) angesehen (Sweller et al., 2011, S. 57; Sweller et al., 2019, S. 264). Im Folgenden werden die beschriebenen Bereiche der Theorie detailliert betrachtet.

Unter dem *Intrinsic Cognitive Load* wird die kognitive Belastung durch den Lerninhalt selbst verstanden, also die Belastung, welche durch die Komplexität der vermittelten Informationen entsteht. Diese Belastung ist abhängig von der Anzahl der gleichzeitig zu verarbeitenden Elemente, welche wiederum stark von der Interaktivität der Elemente abhängt (Sweller et al., 1998; Sweller et al., 2011). Beispielsweise können Schüler*innen