

# 1. Einleitung

*Digital ist besser.* So proklamierte es bereits 1995 die deutsche Indierock-Band Tocotronic in ihrem gleichnamigen Debütalbum und markierte damit einen Zeitpunkt in der Geschichte der westlichen Welt, in der die digitale Revolution insbesondere durch die flächendeckende Verbreitung des Internets, rasant voranschritt. Heute, ein gutes Vierteljahrhundert später, ist nicht zuletzt aufgrund der gerade überstandenen Corona-Pandemie und dem mit ihr verbundenen vermehrten Einsatz von Home-Office sowie Home-Schooling die Diskussion um das Thema Digitalisierung größer denn je. Dabei gerät besonders das deutsche Bildungssystem verstärkt in den Fokus. Neben Debatten um die technische Ausstattung der Lernenden, die Verfügbarkeit von WLAN an den Schulen oder den sicheren Umgang mit personenbezogenen Daten geht es nicht selten um die ganz grundsätzliche Frage: Ist digital wirklich besser?

Bereits seit 2016 wird mit dem Strategiepapier „Bildung in der digitalen Welt“ das Lernen mit digitalen Medien und über digitale Medien von der Kultusministerkonferenz explizit gefordert. Für eine gelingende praktische Umsetzung ist jedoch die Ausarbeitung neuer Konzepte und Lernmaterialien sowie der Aufbau medienbezogener Kompetenzen sowohl auf Seiten der Lernenden als auch auf Seiten der Lehrenden vonnöten. Neben neuen Herausforderungen birgt der wachsende Einsatz digitaler Medien auch das Potenzial bereits bestehende Anforderungen besser bewältigen zu können (u.a. Bosse & Hasebrink, 2016; Fisseler, 2020). So können digitale Medien einen Beitrag dazu leisten, die Realisierung der individuellen Förderung einer\*s jeden Lernenden voranzubringen und den Umgang mit zunehmend heterogenen Lerngruppen zu unterstützen (z. B. Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2013). Damit dies umgesetzt werden kann, ist es jedoch erst einmal notwendig, jene häufig erwähnten „Mehrwerte“ digitaler Medien zu ermitteln, um sie anschließend gezielt für die Unterrichtspraxis nutzen zu können (u.a. Herzig, 2014; Hillmayr et al., 2020; Schaumburg, 2018).

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieses Projekts sowohl eine digitale als auch eine inhaltsgleiche analoge Lernumgebung zum Thema Stofftrennung für den Chemieanfängerunterricht entwickelt. Die Konzeption der Lerneinheiten erfolgt dabei nach den Prinzipien und Richtlinien des aus den USA stammenden Ansatzes *Universal Design for Learning* (UDL; CAST, 2018), welches ursprünglich einen Ansatz zur Gestaltung eines inklusiven Unterrichts darstellte, jedoch in einem weitergefassten Sinne ebenfalls für die Planung von Regelunterricht genutzt werden kann. Zum Zwecke der Evaluation wird insbesondere der Fachwissenszuwachs, die Attraktivität der Lernumgebungen sowie der *Cognitive Load* der Lernenden erfasst. Darüber hinaus werden die Arbeitsphasen videografiert, um das Arbeitsverhalten der Lernenden näher untersuchen zu können. Ziel dieser empirischen Studie ist es, die Wirkungen des Einsatzes einer digitalen Lernumgebung im Vergleich zu einer inhaltsgleichen analogen Lernumgebung zu ermitteln. Dazu erfolgte zunächst die Durchführung von zwei Voruntersuchungen. Die daran anschließende Hauptuntersuchung wurde mit zehn Gesamtschulen der Jahrgangsstufe 8 in Nordrhein-Westfalen realisiert

## 2. Theoretische Fundierung

Dieses Kapitel widmet sich der Darstellung der theoretischen Hintergründe sowie der empirischen Grundlagen des vorliegenden Projektes.

### 2.1 Lernen mit digitalen Medien

Ausgehend von einer kurzen Begriffsklärung (vgl. Kapitel 2.1.1) werden im Folgenden lernpsychologische Ansätze des digitalen Lernens (vgl. Kapitel 2.1.2) vorgestellt. Anschließend wird ein Überblick über aktuelle empirische Befunde zum Lernen mit digitalen Medien (vgl. Kapitel 2.1.3) gegeben.

#### 2.1.1 Digitale Medien – Eine Begriffsklärung

Ist heute von „Medien“ die Rede, können darunter gänzlich unterschiedliche Dinge verstanden werden. So kann es sich beispielsweise um Medienformate wie Zeitungen oder Videos, technische Endgeräte wie Smartphones, Tablets oder Computer, aber auch Software wie Computerspiele oder Office-Anwendungen handeln. Gleichzeitig können ebenso Personenkreise wie Redaktionen oder Autor\*innen gemeint sein (Kerres, 2018; Petko, 2014). Begründet werden kann diese Vielschichtigkeit des Begriffs zum einen durch die große Anzahl an Disziplinen, welche sich mit Medien befassen, zum anderen durch die rasante Entwicklung, mit der sich die Medienlandschaft heutzutage ausbreitet (Hickethier, 2010). Eine allgemeine Definition, welche alle Facetten berücksichtigt, ist daher nicht existent und vermutlich auch kaum konstruierbar. Für den Bereich der Mediendidaktik formuliert Petko (2014) jedoch eine Arbeitsdefinition, welche für diese Arbeit übernommen werden soll. Für ihn sind Medien „einerseits kognitive und andererseits kommunikative Werkzeuge zur Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von zeichenhaften Informationen.“ (Petko, 2014, S. 13) Demnach fokussiert die Definition zwei für die Didaktik essentielle Funktionen von Medien: So existieren zum einen kognitive Medien, welche dazu dienen Informationen aufzunehmen und weiterzuverarbeiten (u.a. Aebli, 1994), zum anderen kommunikative Medien, die es ermöglichen, Wissen mit anderen Menschen zu teilen (u.a. Ratzke, 1982). Dabei ist es zunächst egal, ob dies über analoge oder digitale Medien geschieht.

Während sich der traditionelle (analoge) Medienbegriff noch auf Sender-Empfänger-Modelle stützte (Shannon, 1948), brachte die Digitalisierung der Medien weitreichende Veränderungen hinsichtlich des Medienverständnisses mit sich (Gane & Beer, 2008). Als „digitale“ Medien können grundsätzlich alle elektronischen Informationsträger bezeichnet werden, die auf einer binären Kodierung basieren. Hierbei handelt es sich in der Regel um Computer bzw. Computer-gestützte Systeme sowie durch ihre Verknüpfung erzeugte Netzwerke wie insbesondere das Internet (Petko, 2014, S. 17). Durch die Digitalität der Medien werden frühere mediale Möglichkeiten fortgesetzt und erweitert bzw. gänzlich neu definiert (Puentedura, 2006). Nicht selten wird daher synonym zu digitalen Medien der Begriff „neue Medien“ verwendet. Mit Blick auf die temporeiche Entwicklung digitaler Formate und dem damit einhergehenden Umstand, dass sich das Neue von gestern schnell zum Alten von morgen wandelt, kann die Bezeichnung möglicherweise jedoch in die Irre führen (Zumbach, 2010) und soll aus diesem Grund folgend vermieden werden.

Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Einsatz digitaler Medien in der Schule wird häufig von einem multimedialen Lernen gesprochen. Mayer (2014, S. 2) versteht unter *Multimedialität* zunächst einmal die gleichzeitige Präsentation von Wörtern (gesprochen oder schriftlich) und Bildern (Illustrationen, Fotos, Animationen, Videos etc.). Dabei kann es sich bereits um die klassische Darstellung von geschriebenem Text und einer Abbildung in einem Schulbuch oder die mündliche Erklärung eines Tafelbildes durch die Lehrkraft handeln. Digitale Medien bieten jedoch vielfältige weitere Kombinationsmöglichkeiten, welche neue Perspektiven für die Unterrichtsgestaltung bereithalten. Im Folgenden werden lernpsychologische Ansätze präsentiert, welche sich mit der Gestaltung und Vermittlung multimedialer Informationen sowie der Verarbeitung dieser im menschlichen Gehirn beschäftigen.

### **2.1.2 Lernpsychologische Ansätze**

Digitale Medien bieten vielversprechende Möglichkeiten, um für das Lehren und Lernen in der Schule. Damit dieses Potential ausgeschöpft werden kann, sollte sich die Gestaltung multimedialer Lerninhalte an der Art und Weise orientieren, wie das menschliche Gehirn Informationen aufnimmt, verarbeitet und speichert. So werden im Folgenden ausgehend von der in der Kognitionspsychologie vorherrschenden Vorstellung des menschlichen Gedächtnisses als Mehrspeichermodell drei etablierte theoretische Ansätze dargestellt, welche sich mit dem Lernen mit Multimedia auseinandersetzen. Dabei handelt es sich um die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML), das *Integrated Model of Text and Picture Comprehension* (ITPC) sowie die *Cognitive Load Theory* (CLT). Anschließend werden aus den Theorien Gestaltungskriterien für den Einsatz digitaler Lernmaterialien in der Unterrichtspraxis extrahiert.

#### **2.1.2.1 Kognitionspsychologische Grundlagen**

In der Kognitionspsychologie existieren unterschiedliche Theorien zur Erklärung der komplexen Informationsverarbeitungs- sowie Speicherungsprozesse des menschlichen Gehirns. Eines der bekanntesten Modelle ist das Drei-Speicher-Modell von Atkinson und Shiffrin (1968). Dieses beruht auf der Annahme, dass das Gedächtnis über drei miteinander interagierende Speichersysteme verfügt: dem sensorischen Gedächtnis (auch Ultrakurzzeitgedächtnis genannt), dem Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

##### *Sensorisches Gedächtnis*

Wird eine neue Information über die Sinnesorgane aufgenommen, gelangt sie zunächst in das sensorische Gedächtnis. Hier angekommen wird sie für eine sehr kurze Zeit zwischengespeichert und gewissermaßen gefiltert. Ist die Information für die Weiterverarbeitung vorgesehen, wird sie an das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis weitergeleitet, andernfalls „zerfällt“ sie (Zoelch et al., 2019, S. 26–27). Das sensorische Gedächtnis kann nach Atkinson und Shiffrin (1968) weiter in das ikonische Gedächtnis zur Verarbeitung visueller Informationen sowie das echoische Gedächtnis zur Verarbeitung auditiver Informationen unterteilt werden. Hinsichtlich der weiteren Sinnesmodalitäten (Fühlen, Riechen, Schmecken) existieren Annahmen, dass diese über ähnliche sensorische Gedächtnissysteme verarbeitet werden, jedoch gibt es in der Literatur diesbezüglich weder empi-

rische Untersuchungen noch einschlägige Theorien (Zoelch et al., 2019, S. 27). Die Anforderungen, die bei der Verarbeitung von Informationen an das sensorische Gedächtnis gestellt werden, sind enorm. Es wird davon ausgegangen, dass das ikonische System etwa  $10^9$  bis  $10^{11}$  Bits pro Sekunde verarbeitet (eine Buchseite enthält etwa  $10^4$  Bits). Diese werden jedoch nicht lange gespeichert. So bleibt eine visuelle Information Schätzungen zufolge nur ca. 0,5 bis 1 Sekunde erhalten (Sperling, 1960), eine auditive Information ca. 2 Sekunden, wobei hier die Angaben abweichen (Baddeley et al., 2015). Durch die kurze Speicherdauer bei gleichzeitig nahezu unbegrenzter Speicherkapazität ist das sensorische Gedächtnis dazu in der Lage aus der Fülle an Informationen, die auf einen Menschen eingehen, die relevanten auszuwählen und für die weitere Verarbeitung weiterzuleiten. Dabei können grobe Merkmale wie Form und Farbe, aber auch bereits komplexere Informationen wie Buchstaben- oder Wortbedeutungen erfasst werden. Es ist jedoch hervorzuheben, dass an dieser Stelle noch keinerlei bewusste Verarbeitung oder Bewertung stattfindet (Zoelch et al., 2019, S. 27).

#### *Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis*

Nach Atkinson und Shiffrin (1968) übernimmt das Kurzzeitgedächtnis eine passive Mittlerrolle zwischen den ankommenden Informationen aus dem sensorischen Gedächtnis und dem Abrufen bekannter Informationen aus dem Langzeitgedächtnis. Dabei ist das Kurzzeitgedächtnis in seiner Speicherdauer sowie -kapazität jedoch beschränkt und kann Informationen nur für wenige Sekunden aufrechterhalten. Entgegenwirkt werden kann diesem Zerfall durch das häufige Wiederholen von Informationen. Wird beispielsweise eine Telefonnummer mehrfach im Geiste aufgesagt, verweilt diese länger im Kurzzeitgedächtnis und die Wahrscheinlichkeit der dauerhaften Speicherung im Langzeitgedächtnis wird erhöht. Dieser Mechanismus wird auch als *Rehearsal* bezeichnet. Die Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses umfasst etwa  $7 \pm 2$  Informationseinheiten, sogenannte *Chunks* (Miller, 1956). Dabei kann ein *Chunk* aus einer einfachen Information wie einer Zahl, einem Buchstaben oder einem Ton bestehen, welche jedoch ebenfalls zu komplexeren, bedeutungstragenden Einheiten zusammengefasst werden können. So kann beispielsweise eine Buchstabenreihe bestehend aus zehn Buchstaben „o-k-a-r-d-c-d-b-v-b“, welche das Kurzzeitgedächtnis ggf. überfordern würden, mithilfe der vier *Chunks* „OK – ARD – CD – BVB“ mit einer Bedeutung belegt und dadurch besser memoriert werden. Die Bildung der *Chunks* (auch *Chunking* genannt) erfolgt damit auf Grundlage von Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis sowie dessen Verarbeitung. Mit zunehmender Beforschung dieser kognitiven Verarbeitungsschritte wurde das Kurzzeitgedächtnis im Modell von Atkinson und Shiffrin (1968) aufgrund seiner Passivität vermehrt kritisiert, da die Zusammenarbeit mit dem Langzeitgedächtnis, beispielsweise beim *Chunking*, nicht hinreichend erklärt werden konnte (Cowan, 2001).

Aufbauend auf der Idee des Kurzzeitgedächtnisses entwickelten Baddeley und Hitch (1974) das Modell des Arbeitsgedächtnisses. Dieses umfasst nicht nur das Zwischenspeichern von neuen Informationen und Aktivieren von Vorwissen, sondern berücksichtigt ebenfalls das aktive Verarbeiten und Manipulieren von Informationen. Damit fokussiert das Modell des Arbeitsgedächtnisses komplexe kognitive Prozesse, welche auch bewusste Denkopoperationen beinhalten (Zoelch et al., 2019, S. 27–30). Das Arbeitsgedächtnis lässt sich wiederum in die vier Instanzen phonologische Schleife, räumlich-visueller

Notizblock, episodischer Puffer und zentrale Exekutive unterteilen (vgl. Abbildung 2-1). Beginnend mit der phonologischen Schleife ist diese für die Speicherung und kurzfristige Verarbeitung phonologischer Informationen verantwortlich. Dabei handelt es sich also um akustische Informationen wie Sprache oder musikbezogene Inhalte wie rhythmische oder melodische Informationen. Der räumlich-visuelle Notizblock ist dagegen, wie der Name bereits andeutet, für die Speicherung und Verarbeitung von räumlichen und visuellen Informationen verantwortlich. Diese umfassen alle Merkmale wie Farbe, Form, Struktur etc. (visuell) sowie die Verortung von Reizen im Raum und deren Relation zueinander (räumlich). Der episodische Puffer steht bildlich gesprochen zwischen den beiden genannten Instanzen und hat die Funktion der Integration von phonologischen sowie räumlich-visuellen Informationen. Gesteuert und kontrolliert werden alle Verarbeitungsprozesse des Arbeitsgedächtnisses dabei von der zentralen Exekutive (Baddeley, 2000). Das Arbeitsgedächtnis wird heute als einer der entscheidendsten Bedingungsfaktoren für kurz- und langfristige Lernprozesse gesehen (Kyllonen, 1996) und spielt insbesondere beim Lernen über unterschiedliche Sinnesmodalitäten eine wichtige Rolle.

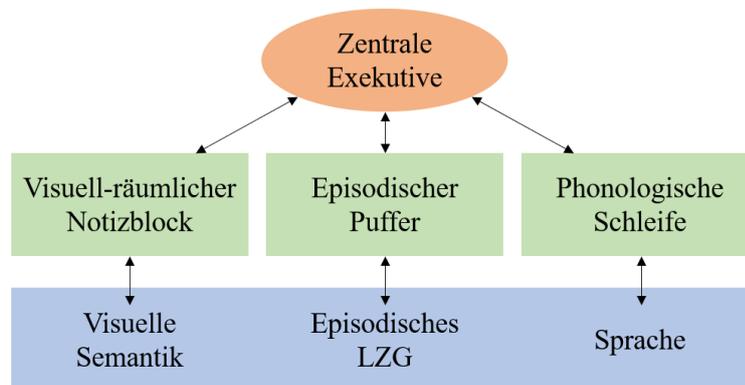


Abbildung 2-1: Aufbau des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley 2000, übersetzt von Zoelch et al., 2019)

### *Langzeitgedächtnis*

Das Langzeitgedächtnis ist für die dauerhafte Speicherung von Informationen zuständig. So gehen verschiedene Modelle davon aus, dass das Langzeitgedächtnis theoretisch über eine nahezu unbegrenzte Kapazität sowie Behaltensdauer verfügt. Dabei wird angenommen, dass insbesondere der Grad der Verarbeitungstiefe für die langfristige Sicherung im Langzeitgedächtnis entscheidend ist. Auch das Langzeitgedächtnis kann weiter unterteilt werden in die beiden Bereiche des deklarativen und nicht-deklarativen Gedächtnisses. Im deklarativen Gedächtnis erfolgt die Speicherung von erlebten, autobiografischen Ereignissen sowie Faktenwissen, weshalb einige Autor\*innen auch von „Weltwissen“ sprechen (z. B. Squire, 1992). Bei den dabei abgespeicherten Wissensseinheiten kann es sich um Begriffe sowie semantische Zusammenhänge handeln, welche zu komplexen Konstrukten wie Netzwerken, hierarchischen Schemata oder mentalen Modellen zusammengesetzt werden können. Das nicht-deklarative Gedächtnis ist dagegen für die Speicherung von prozeduralem Wissen verantwortlich, welches nicht oder kaum zu verbalisieren ist. Dies umfasst Verhaltensweisen, aber auch automatisch ablaufende kognitive sowie motorische Fertigkeiten, wie das automatisierte Anwenden komplexer mathematischer Rechenoperationen oder das Spielen eines Musikinstruments (Zoelch et al., 2019, S. 30–31).

### 2.1.2.2 *Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML)*

Aufbauend auf den dargestellten kognitionspsychologischen Erkenntnissen haben sich nach Mayer (2014) die folgenden drei Grundannahmen der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) entwickelt.

#### *Grundannahmen der CTML*

Duale Kanäle: Die erste Annahme gründet auf der dualen Kodierungstheorie von Paivio (1986) und besagt, dass der Mensch über zwei Kanäle zur Informationsverarbeitung verfügt: Einem Kanal für visuell-räumlich repräsentierte Informationen und einem Kanal für auditiv-verbale Informationen. Werden demnach Informationen für die Augen, wie Text, Bilder, Animationen oder Videos, präsentiert, erfolgt die kognitive Verarbeitung über den visuellen Kanal. Sind die Informationen für die Ohren bestimmt, wie Erzählungen oder nonverbale Töne, findet die Verarbeitung über den auditiven Kanal statt. Trotz der Aufnahme über einen der beiden Kanäle ist es möglich, die Informationen für die Verarbeitung in den jeweils anderen Kanal zu konvertieren. Beispielsweise kann eine Illustration zunächst über den visuell-räumlichen Kanal aufgenommen werden, jedoch in eine äquivalente auditiv-verbale Beschreibung umgewandelt werden, bevor daraus ein mentales Modell konstruiert wird (Mayer, 2014, S. 47–49).

Begrenzte Kapazität: Die zweite Annahme geht davon aus, dass das menschliche Gehirn hinsichtlich der Menge an Informationen, welche in jedem Kanal gleichzeitig verarbeitet werden kann, begrenzt ist. Wird beispielsweise eine Animation oder ein Video präsentiert, kann die\*der Lernende stets nur einige wenige Bilder im visuellen Kanal des Arbeitsgedächtnisses festhalten. Somit kann nie eine vollständige Kopie des dargestellten Inhalts, sondern es können lediglich Teilstücke wiedergegeben werden. Gleiches gilt ebenso für den auditiven Kanal. Aufgrund der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, ist das menschliche Gehirn dazu gezwungen, zu entscheiden, auf welche Informationen es seine Aufmerksamkeit richtet, inwieweit Verbindungen und Relationen zwischen diesen ausgewählten Informationen hergestellt werden sollen und ob Verbindungen zwischen den ausgewählten Informationen und dem Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis aufgebaut werden sollen. Um dies koordinieren und kontrollieren zu können, benötigt es bestimmte Techniken, die sogenannten metakognitiven Strategien (Mayer, 2014, S. 49–50). Im bereits oben dargestellten Modell zum Arbeitsgedächtnis von Baddeley (1999) werden jene metakognitiven Strategien der zentralen Exekutivive zugeordnet. Mit den Grenzen der kognitiven Belastung setzt sich insbesondere noch eine weitere Theorie, die *Cognitive Load Theory* (u.a. Sweller et al., 2011), auseinander, welche mit Verlauf dieses Kapitels noch ausführlich dargestellt wird.

Aktive Verarbeitung: Die dritte und letzte Grundannahme besagt, dass für die dauerhafte Speicherung von Informationen im Langzeitgedächtnis eine aktive kognitive Verarbeitung dieser Informationen vonnöten ist. Diese erfolgt durch folgenden Dreischritt: die Auswahl bzw. Fokussierung von Informationen, die Organisation der Informationen zu einem kohärenten mentalen Modell sowie die Integration dieses Modells in das vorhandene Wissensnetzwerk (Vorwissen). Damit ist der Mensch laut Mayer (2014, S. 50–52) nicht passiver Konsument, der versucht alle ihm dargebotenen Informationen ungefiltert aufzunehmen, sondern aktiver Verarbeiter, welcher die für ihn relevantesten Informationen des ihm präsentierten Inhalts in eine Struktur bringt und in Beziehung setzt.