

1 Einleitung

Der Lehrkräftemangel an deutschen Schulen stellt gegenwärtig eines der drängendsten und zentralen Probleme in den Bildungssystemen aller deutschen Bundesländer dar. In vielen Schulformen und Fächern, insbesondere in den MINT-Fächern, fehlen qualifizierte Lehrkräfte, was zunehmend zu Herausforderungen im Schulalltag führt (Robert Bosch Stiftung, 2023). Prognosen zufolge muss davon ausgegangen werden, dass dieses Problem noch für einen langen Zeitraum bestehen bleiben wird. Die Prognosen des Forschungsinstituts für Bildungs- und Sozialökonomie (FiBS) lassen den Schluss zu, dass sich der Lehrkräftemangel an allgemeinbildenden Schulen bis in die Mitte der 2030er-Jahre auf mindestens 115.000 Personen belaufen wird (Dohmen, 2024). Auch die Prognosen der Kultusministerkonferenz (KMK) auf Basis der Anzahl der Schüler:innen weisen mit Ausnahme des Primarbereichs auf einen großen Lehrkräftemangel hin (KMK, 2023). Der Mangel ist laut dem FiBS nicht nur auf die steigende Zahl der zu erwartenden Schüler:innen zurückzuführen. Von entscheidender Bedeutung ist die unzureichende Anzahl an nachrückenden Lehrkräften, die an die Stelle der aus dem Schuldienst ausscheidenden Lehrkräfte treten (Dohmen, 2024). Sondermaßnahmen wie Quer- oder Seiteneinsteiger sollen dabei helfen, dem Lehrkräftemangel entgegen zu wirken (Tillmann, 2020; Vairo Nunes, 2023). Diese Maßnahme dient jedoch lediglich dazu, den weiter fortschreitenden Mangel an nachrückenden Lehrkräften am Arbeitsmarkt auszubremsen. Das eigentliche Problem der sinkenden Anzahl an ausgebildeten Lehramtsstudierenden, die das Studium erfolgreich beenden und in den Beruf einsteigen, wird durch diese Maßnahme nicht behoben. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, bereits an den Hochschulen Maßnahmen zur Behebung des Lehrkräftemangels zu implementieren. Dies verdeutlichen auch die insbesondere in den Naturwissenschaften hohen Studienabbruchquoten an deutschen Universitäten.

Laut aktuellen Untersuchungen liegt die Studienabbruchquote in mathematisch-naturwissenschaftlichen Bachelorstudiengängen bei 50 % (Heublein et al., 2022). In diesen Fächergruppen lassen sich im Vergleich zu den Vorjahren gesteigerte Abbruchquoten feststellen. Im Hinblick auf die Abbruchquote im Lehramtsstudium wird ein Wert von 10 % berichtet, wobei sich diese Angabe auf das allgemeine Lehramtsstudium bezieht und keine Differenzierung nach Fächern vorgenommen wird (Heublein et al., 2022). In Anbetracht der hohen Anzahl von Studi-

enabbrecher:innen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern des Bachelorstudiums ist zu erwarten, dass sich dies in dem Studiengang des Lehramts widerspiegelt. Die Gründe des Studienabbruchs in Mathematik und den Naturwissenschaften liegen insbesondere an den Leistungsproblemen und am Prüfungsversagen der Studierenden (Fischer et al., 2021; Heublein et al., 2010). Dies führt zu höheren Studienabbruchquoten besonders in den Anfangssemestern des Studiums (Fischer et al., 2021; Freyer, 2013; Heublein et al., 2010).

Die hohen Abbruchquoten in der Studieneingangsphase im Fach Chemie sind Anlass, den Gründen für die Problematik nachzugehen. In mehreren Untersuchungen wurde dabei das Vorwissen als maßgeblicher Prädiktor für den Studienerfolg im Fach Chemie und gleichzeitig als entscheidende Ursache für den Studienabbruch identifiziert (u.a. Averbek et al., 2018; Fischer et al., 2021; Fleischer et al., 2019; Freyer, 2013; Hailikari & Nevgi, 2010). Averbek (2020) zeigte, dass Fachwissen sowohl in der Vorlesung „Allgemeine Chemie“ als auch im weiteren Studienverlauf den stärksten Prädiktor für den Studienerfolg von Chemiestudierenden darstellt. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, effektive Methoden zu finden, um den Wissenserwerb der Studierenden hinsichtlich der Einführungsveranstaltung nachhaltig zu fördern.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde vor dem Hintergrund der Förderung des Wissenserwerbs im Rahmen der Einführungsveranstaltung „Allgemeine Chemie“ an der Universität Regensburg ein Seminarkonzept entwickelt, welches zudem die Förderung der Erklärkompetenz angehender Chemie-Lehrkräfte zum Ziel hat. Dazu generierten die Studierenden zu Themen der analytischen und anorganischen Chemie entweder eigenständig Lernvideos oder schriftliche Erklärungen im Anschluss an fremderstellte Lernvideos. Dies erfolgte jeweils dreimal parallel zu den Vorlesungen der Einführungsveranstaltung „Allgemeine Chemie“. Zur Evaluierung der Effektivität des Studiendesigns wurde der Wissenszuwachs der Studierenden der Seminargruppen mit dem einer Kontrollgruppe verglichen, welche keine Förderung durch das Erstellen von Erklärungen erhielt. Zur Erfassung des kurzfristigen sowie langfristigen Wissenserwerbs wurde ein spezifisch für diese Studie entwickelter Fachwissenstest im Prä-Post-Follow-Up-Design eingesetzt. Die Messung der Erklärkompetenz der Chemie-Lehramtsstudierenden erfolgte anhand der Bewertung der schriftlichen Erklärungen. Dazu wurde ein Kodiermanual unter Berücksichtigung empirisch untersuchter Qualitätskriterien guter Erklärungen entwickelt und eingesetzt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich in *Kapitel 2* zunächst mit dem theoretischen Hintergrund, auf welchem das Seminarkonzept basiert. Dabei werden ausgehend

von den Theorien zum multimedialen Lernen (2.1) lernförderliche Aspekte hinsichtlich der Gestaltung von Lernvideos ausgearbeitet. Die inhaltliche Gestaltung einer Erklärung (2.2) wird anschließend insbesondere mit Fokus auf die Qualitätskriterien von Erklärungen dargelegt. Abschließend werden unter besonderer Berücksichtigung empirischer Arbeiten theoretische Grundlagen des Lernens mit Erklärvideos (2.3) und Video-Modeling-Examples (2.4) erörtert. Aus den theoretischen Grundlagen werden die Ziele der Studie abgeleitet, welche in *Kapitel 3* dargestellt werden. Die entsprechenden Forschungsfragen sind teilweise explorativ formuliert und teilweise mit Hypothesen begleitet. In *Kapitel 4* wird die Methodik des Studiendesigns erläutert, wobei das Design der Arbeit (4.1), die eingesetzten Erhebungsinstrumente (4.2) sowie das Kodiermanual (4.2.2) vorgestellt werden. Zudem werden die inhaltsanalytischen Auswertungsverfahren (4.2.4) und die Gütekriterien dargelegt (4.3), welche der Arbeit zu Grunde liegen. Die zur Beantwortung der Forschungsfragen dienlichen Ergebnisse werden in *Kapitel 5* vorgestellt. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der Voranalysen im Rahmen der Präpilot- sowie Pilot-Studie dargelegt. Anschließend erfolgt der Bericht der Ergebnisse der Hauptstudie (5.3) hinsichtlich des Wissenszuwachses (5.3.1) sowie des Einflusses erfasster Kovariablen auf den Wissenszuwachs (5.3.2). Ergänzend werden die Daten in Bezug auf die Erklärkompetenz der Studierenden präsentiert (5.3.3). Die Ergebnisse sowie forschungsmethodische Aspekte der Studie werden in *Kapitel 6* diskutiert und reflektiert. Abschließend erfolgt in *Kapitel 7* eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.

2 Theoretischer Hintergrund

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Gestaltung digitaler Medien unter der Berücksichtigung von Theorien zum multimedialen Lernen diskutiert, bevor instruktionale Erklärungen im Zusammenhang mit entsprechenden Qualitätskriterien näher betrachtet werden. Dabei wird die Wirksamkeit der Rezeption von instruktionalen Erklärungen mit Studien zur Generierung von instruktionalen Erklärungen verglichen. Unter dem Aspekt des Rezipierens instruktionaler Erklärungen wird das Medium Erklärvideo als Unterstützung im Lernprozess fokussiert. Als alternatives Unterstützungsmedium werden abschließend Video-Modeling-Examples in den Fokus vorgestellt. Sowohl das instruktionale als auch das beispielbasierte Lernvideoformat werden darüber hinaus als Methode für das Lernen durch eigenständiges Gestalten betrachtet.

2.1 Theorien zum multimedialen Lernen

Die Lernwirksamkeit von digitalen Medien beruht nicht auf dem Medium an sich, sodass nicht der Einsatz jedes digitalen Mediums zur Verbesserung von Lernprozessen beiträgt. Vielmehr ist es erforderlich, kognitive Verarbeitungsprozesse der Lernenden durch digitale Medien anzuregen. Dies sollte bei der Entwicklung wie auch beim Einsatz dieser berücksichtigt werden (Böhme & Munser-Kiefer, 2020). Um dies zu ermöglichen, sollten Erkenntnisse aus den Theorien des multimedialen Lernens einbezogen werden. Diese werden im Folgenden genauer erläutert.

Die *Dual Coding Theory* nach Paivio (1986) bildet die Grundlage vieler darauffolgender Theorien zum multimedialen Lernen. In dieser Theorie wird zwischen zwei Subsystemen unterschieden, in welchen verbale und nonverbale Informationen getrennt voneinander aufgenommen und verarbeitet werden (Paivio, 1990). Aufgrund der Separation der Informationssysteme sind diese funktionell unabhängig, wodurch entweder nur eines der Systeme oder beide parallel aktiviert werden können. Dennoch kann durch Interaktion zwischen den Subsystemen Informationsaustausch erfolgen (Paivio, 1990). Durch die Verknüpfung verbaler und nonverbaler Informationen wird der Lernprozess unterstützt (Paivio, 1990). Dies bietet die Möglichkeit zur Entwicklung effektiver Lernumgebungen.

2.1.1 Cognitive Load Theory

Eine differenziertere Theorie des multimedialen Lernens stellt die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) dar. In einer multimedialen Lernumgebung präsentierte Informationen werden zunächst im Arbeitsgedächtnis aufgenommen und dort verarbeitet. Die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) stützt sich auf der Annahme einer begrenzten Kapazität der Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis. Das Langzeitgedächtnis, in welches die verarbeiteten Informationen des Arbeitsgedächtnisses übertragen werden, besitzt hingegen eine annähernd uneingeschränkte Kapazität. Somit hat das Arbeitsgedächtnis eine entscheidende Schlüsselfunktion inne, da dieses den limitierenden Faktor darstellt. Im Langzeitgedächtnis wird Wissen in Form von Schemata gespeichert, welche als kognitive Konstrukte mehrere Elemente von Informationen als ein einzelnes Element betrachten (Paas et al., 2003; Sweller, 2003; Sweller et al., 1998). Die im Langzeitgedächtnis gespeicherten Schemata können die Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis unterstützen, indem sie zur Verarbeitung komplexer Informationen eingesetzt werden. Je automatisierter die Schemata angewendet werden, desto stärker wird die kognitive Überlastung des Arbeitsgedächtnisses reduziert (Paas et al., 2003; Sweller et al., 1998). Die Automatisierung entsteht durch Einübung und dem vermehrten Einsatz der Schemata, welches infolgedessen zu effizienteren und exakteren Problemlösevorgängen führt (Sweller et al., 1998).

Das Vorhandensein von Schemata grenzt Experten von Novizen ab. Experten sind in der Lage, mithilfe der Schemata Problemstellungen zu kategorisieren, um diese nachfolgend zu lösen (Cooper, 1990). Den Novizen fehlen demnach diese kognitiven Fähigkeiten, sodass sie Probleme langsamer und fehlerbehafteter lösen. Damit sich aus Novizen Experten entwickeln, müssen entsprechende Schemata erworben werden (Cooper, 1990). Dies setzt jedoch die Verfügbarkeit kognitiver Ressourcen im Arbeitsgedächtnis voraus.

Neben der Art der Informationsverarbeitung kann auch die Art der Informationsdarstellung zum *Cognitive Load* beitragen. Dabei wird zwischen drei Arten der kognitiven Belastung unterschieden (Chandler & Sweller, 1991; Paas et al., 2003). Die intrinsische kognitive Belastung, die extrinsische kognitive Belastung und die lernrelevante kognitive Belastung (Nerdel, 2017; Paas et al., 2003). Die Beanspruchung kognitiver Ressourcen im Arbeitsgedächtnis durch das Lernmaterial selbst wird als intrinsische kognitive Belastung bzw. *Intrinsic Cognitive Load* bezeichnet.

net. Diese hängt von der Komplexität des Inhaltes und dem Vorwissen des Lernenden ab (Paas & Sweller, 2021). Hierbei helfen im Langzeitgedächtnis verankerte Schemata und ihr automatisierter Einsatz, den *Cognitive Load* zu reduzieren, um die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zum Verständnis des neu zu lernenden Bereichs zu nutzen. Die lernrelevante kognitive Belastung bzw. der *Germane Cognitive Load* resultiert aus dem Aufwand, Schemata zu erlernen und ihren Einsatz zu automatisieren. Kognitive Belastung, die dem Lernen hinderlich ist, wird als extrinsische Belastung bzw. *Extraneous Cognitive Load* bezeichnet. Dies kann durch die Art der Darstellung neuer Informationen und erforderlicher Lernaktivitäten beeinflusst werden. So können die mentalen Kapazitäten durch Lernmaterialien überlastet werden, welche ihrerseits mit Informationen überladen sind und nicht lernrelevante Elemente beinhalten (Paas et al., 2003). Um den Wissenserwerb und das Verständnis zu erleichtern, sollte die extrinsische Belastung durch eine effektive Gestaltung des Lernmaterials möglichst gering gehalten werden. Die Reduktion von extrinsischer Belastung erlaubt die Erhöhung der lernrelevanten kognitiven Belastung, welches die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zur Aneignung von Schemata bereitstellt. Dies kann dann optimalen Lernerfolg bewirken (Chandler & Sweller, 1991). Der *Cognitive Load* bedingt sich demnach aus den drei Arten der kognitiven Belastung, wobei die intrinsische Belastung die Grundlage bildet, da diese abhängig von den Inhalten und dem Vorwissen ist. Die weiteren Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses werden dann für die extrinsische und lernrelevante Belastung aufgewendet (Paas et al., 2003).

2.1.2 Cognitive Theory of Multimedia Learning

Die *Cognitive Load Theory* nach Chandler und Sweller (1991) lässt sich auch auf das Lernen in multimedialen Lernumgebungen beziehen. Mayer (1997) kategorisiert den Begriff „Multimedia“ im Rahmen seiner *Cognitive Theory of Multimedia Learning* nach Art der medialen Übertragung, der Präsentation und der Sinnesmodalität. Die Art der medialen Übertragung bezieht sich auf das gewählte technische Medium, etwa analoge oder digitale Formen der Darstellung. Das Präsentationsformat hingegen beschreibt, in welcher Darstellungsform Informationen präsentiert werden, beispielsweise in Textformat oder durch Bilder. Sinnesmodalität spricht den betroffenen Sinneskanal an, wie den Hör- oder Sehsinn (Mayer, 1997). Multimediales Lernen zeichnet sich dabei dadurch aus, dass Informationen auf mehr als eine Darstellungsweise angeboten werden, wie beispielsweise als Text

und als Bild (Mayer, 1997). Mayers (2001) *Theorie des multimedialen Lernens* befasst sich mit Prinzipien zur Gestaltung effektiver multimedialer Lernumgebungen. Dabei geht er von drei zentralen Annahmen aus: Entsprechend der *Dual Coding Theory* nach Paivio (1986) nimmt er einen sprachlichen und einen visuellen Sinneskanal zur Informationsverarbeitung an, die voneinander getrennt sind. Die Annahme einer begrenzten Kapazität zur Informationsaufnahme basiert auf Baddeley (1992), welche auch die Grundlage der *Cognitive Load Theory* von Chandler und Sweller (1991) bildet. Als dritte Annahme legt Mayer (2001) fest, dass bedeutungsvolles Lernen die aktive Verarbeitung aufgenommener Informationen voraussetzt. Dabei finden drei Prozesse statt: Selektieren relevanter Informationen, Organisieren der ausgewählten Informationen und Integrieren in bereits bestehendes Wissen.

In Abbildung 2-1 wird das Modell der Informationsverarbeitung nach der Theorie des multimedialen Lernens dargestellt. Diese wird im Folgenden genauer erläutert.

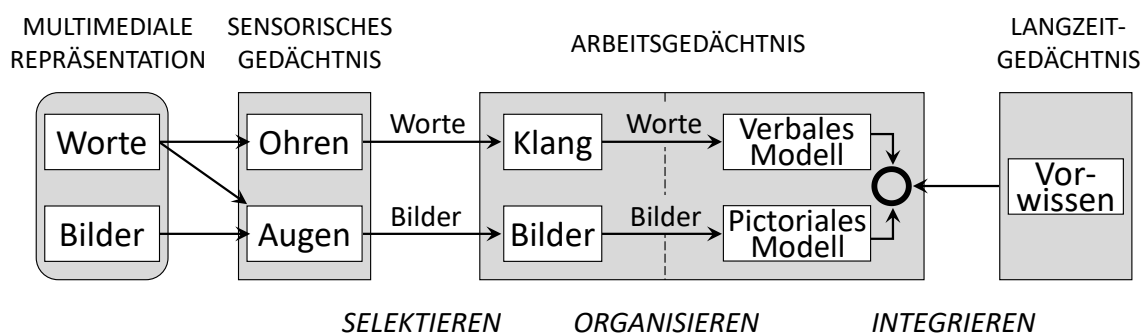


Abbildung 2-1: Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (2009). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwidz (2018, S. 179)

Multimediale Repräsentationen in Form von Worten oder Bildern erreichen das sensorische Gedächtnis über die Ohren oder Augen. Ankommende Bilder werden kurzzeitig im visuellen sensorischen Gedächtnis exakt abgebildet, während Worte abhängig ihrer Darstellungsform entweder im visuellen oder echoischen sensorischen Gedächtnis exakt aufgenommen werden. Die Informationen werden anschließend in getrennten Kanälen selektiert. Im Arbeitsgedächtnis werden die relevanten Informationen in ihren Kanälen weiterverarbeitet, wobei Informationen aus Klang und Bild miteinander abgeglichen werden, bevor diese durch Organisieren in verbale und bildliche Modelle überführt werden (Schanze & Girwidz, 2018). Die Informationen werden abschließend ineinander und in das Vorwissen

aus dem Langzeitgedächtnis integriert. Das Zusammenwirken aus Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis ermöglicht dabei die Herstellung von Zusammenhängen (Mayer, 2009).

Unter Berücksichtigung dieser Theorie legt Mayer (2009) auf Basis empirischer Untersuchungen zwölf multimediale Gestaltungsprinzipien fest.

Das *Kohärenzprinzip* besagt, dass diejenigen Informationen, welche nicht zum Lernprozess beitragen, ausgelassen werden sollen. Dadurch würden keine weiteren Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses zur Verarbeitung irrelevanter Informationen gebraucht werden. Um die Aufmerksamkeit der Lernenden auf wesentliche Informationen zu lenken, sollten diese qua *Signalisierungsprinzip* hervorgehoben werden. Mit Beachtung des *Redundanzprinzips* soll vermieden werden, dass Informationen redundant präsentiert werden. So bedarf es zum gesprochenen Text keinen zusätzlich geschriebenen (Mayer, 2009). Nach dem *räumlichen bzw. zeitlichen Kontiguitätsprinzip* sollten zueinander gehörende Text- und Bildinformationen sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Nähe zueinander präsentiert werden (Schanze & Girwidz, 2018). Dadurch wird sichergestellt, dass zusammenhängende Informationen im Arbeitsgedächtnis parallel verarbeitet werden (Mayer, 2009). Die bisher genannten Prinzipien dienen der Minimierung irrelevanter Prozesse, die nicht zum Lernen der wesentlichen Inhalte beitragen.

Die folgenden drei Prinzipien befassen sich mit der Repräsentation essenzieller Prozesse im Arbeitsgedächtnis (Mayer, 2009). Das *Segmentierungsprinzip* besagt, dass eine Unterteilung der Lerninhalte in Lernabschnitte, die für die Lernenden geeignet sind, lernförderlicher ist als ihre kontinuierliche Präsentation. Nach dem *Vortrainingsprinzip* sollten vor Nutzung multimedialer Lernumgebungen die wichtigsten Begriffe und Konzepte bekannt sein. Die anschließende Nutzung des multimedialen Angebots führt zu einem höheren Lernerfolg (Mayer, 2009). Das *Modalitätsprinzip* adressiert die Art des Textes, welches zusätzlich zu grafischen Darstellungen mit hoher Informationsdichte angeboten wird (Schanze & Girwidz, 2018). Dabei sind gesprochene Texte hilfreicher als geschriebene, da diese im echoischen Gedächtnis verarbeitet werden und die Kapazitäten im visuellen Gedächtnis allein für die Darstellungen aufgewendet werden können (Mayer, 2009). Die weiteren Gestaltungsprinzipien nach Mayer (2009) dienen der Förderung generativer Prozesse. Nach dem *Multimediaprinzip* ist Lernen erfolgreicher, wenn Informationen in Form von Worten und Bildern präsentiert werden und nicht allein durch Wörter. Mit dem *Personalisationsprinzip* wird verdeutlicht, dass eine di-

rekte Anrede der Lernenden hilfreicher ist als die Verwendung einer formalen Ansprache (Schanze & Girwidz, 2018). Zusätzlich sollte der Klang der verwendeten *Stimme* in multimedialen Lernumgebungen möglichst natürlich wirken und nicht maschinell erscheinen. Ein vorhandenes *Sprecherbild* führt des Weiteren nicht zu höherem Lernerfolg (Mayer, 2009; Schanze & Girwidz, 2018).

Die Berücksichtigung der Gestaltungsprinzipien vermeidet eine Überlastung der Verarbeitungskapazität des kognitiven Systems. Diese kognitive Überlastung wird in der Literatur als *Cognitive Overload* bezeichnet und stellt in Bezug auf die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen eine zentrale Herausforderung dar (Mayer & Moreno, 2003). Neben der Vermeidung eines *Cognitive Overloads* ist es für den Gestaltenden eines Lernmediums zusätzlich von Bedeutung, wie Verarbeitung von Text- und Bild Darstellungen seitens der Lernenden zu verstehen. Dies wird nachfolgend dargestellt.

2.1.3 Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses

Das *Integrated Model of Text and Picture Comprehension* nach Schnotz und Bannert (2003) bietet eine Erklärung dafür, wie Darstellungen von Text und Bild verarbeitet und verstanden werden (Abbildung 2-2).

In dem Modell wird dabei zwischen zwei Repräsentationsformen unterschieden. Textbasierte Repräsentationen beruhen auf Symbolen, wie beispielsweise Buchstaben, während bildbasierte Darstellungen durch analoge Modelle abgebildet werden (Schanze & Girwidz, 2018). Wie Abbildung 2-2 zu entnehmen ist, werden Texte und Bilder zunächst getrennt voneinander verarbeitet und über mehrere Organisationsprozesse in mentale Repräsentationen umgewandelt. Hierbei sind die textbasierten kognitiven Repräsentationen an der Sprache orientiert, wogegen die visuellen mentalen Repräsentationen den Bildern komparabel vorliegen (Schanze & Girwidz, 2018). Diese werden zu mentalen Modellen weiterverarbeitet, während die textbasierten Repräsentationen in propositionale Repräsentationen überführt werden. Über Modellkonstruktion und Modellinspektion findet eine wechselseitige Verknüpfung zwischen mentalen Modellen und Propositionen statt (Schnotz & Bannert, 2003).

Die Art der Konstruktion von Wissen durch Organisation und Integration wesentlicher Informationen in multimedialen Lernumgebungen zeigt Ähnlichkeit zur *Cognitive Theory of Multimedia Learning* nach Mayer (1997) auf.

Das Verständnis darüber, wie Wissen in multimedialen Lernumgebungen konstruiert wird, ist Grundlage für die lernförderliche Gestaltung auf multimedialer

Ebene. Zusätzlich ist es von Bedeutung, die inhaltliche Erklärung entsprechend zu gestalten, welche im Folgenden thematisiert wird.

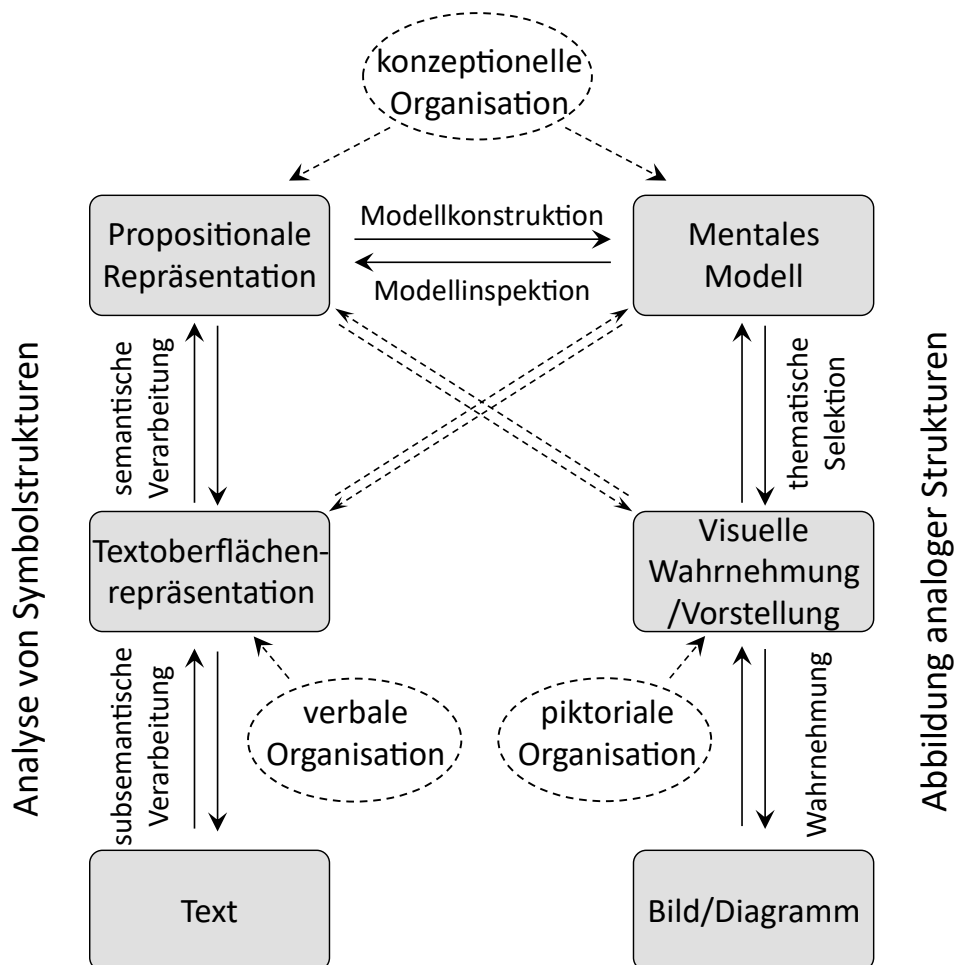


Abbildung 2-2: Integriertes Modell des Text- und Bildverständnisses nach Schnotz und Bannert (2003). Eigene Darstellung in Anlehnung an Schanze und Girwidz (2018, S. 181)