

Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Bildungswissenschaften
Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie

Visualisieren naturwissenschaftlicher Sachverhalte

*Der Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als
Textverstehenshilfen beim Lernen aus naturwissenschaftlichen Sachtexten*

Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. phil.

vorgelegt von Dipl.-Psych. Annett Schmeck (geb. Schwamborn)

geboren am 25.03.1979 in Essen

Erstgutachter: Prof. Dr. Detlev Leutner, Universität Duisburg-Essen

Zweitgutachter: Prof. Dr. Joachim Wirth, Ruhr-Universität Bochum

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Oktober 2010

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Detlev Leutner für seine sehr gute fachliche Beratung und wertvollen Anregungen bei der Umsetzung dieser Arbeit sowie dafür, dass er mich für die empirische Bildungsforschung begeistert hat.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Hubertina Thillmann, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit in allen Phasen unterstützt hat. Ihre herausragende fachliche Kompetenz und freundschaftliche Hilfe waren von unverzichtbarem Wert. Vielen Dank!

Herrn Prof. Dr. Joachim Wirth aus Bochum danke ich herzlich, dass er sich dazu bereit erklärt hat, als externer Gutachter meiner Dissertation aufzutreten.

Darüber hinaus möchte ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken, dass sie diese Arbeit im Rahmen des Projekts „Visualisieren naturwissenschaftlicher Sachverhalte“ gefördert hat. Mein Dank gilt den Antragstellerinnen und Antragsstellern sowie Frau Dr. Claudia Leopold für die Anregung dieses Projektes als auch Frau Dr. Maria Opfermann für die gute Zusammenarbeit. Herrn Prof. Dr. Richard E. Mayer danke ich für zahlreiche anregende Gespräche, die im Kontext meines Auslandsaufenthaltes an der University of Santa Barbara stattgefunden haben. Für die zahlreichen fachlichen Diskussionen, Anregungen und Korrekturen bei der Entwicklung der Untersuchungsmaterialien danke ich besonders Frau Prof. Dr. Elke Sumfleth, Frau Dr. Sabine Fechner, Herrn Markus Emden sowie Herrn Dr. Hendrik Härtig.

In dem von der DFG geförderten interdisziplinären Graduiertenkolleg und Forschergruppe „Naturwissenschaftlicher Unterricht“ bot sich mir zudem die Möglichkeit meine Arbeit in einem gleichermaßen kompetenten wie auch freundschaftlichen Umfeld zu erstellen. Mein Dank gilt allen Mitgliedern! Ihr habt die letzten drei Jahre zu einer einzigartigen Erfahrung gemacht. Mein besonderer Dank gilt Alexandra, Anna, Christian, Cornelia, Hendrik, Irene, Jessica, Jill, Maria, Marion, Markus, Melanie und Sabine.

Frau Martina Hülsberg und Herrn Tobias Hülsken danke ich für ihre Hilfe bei der Erhebung und Eingabe der Daten. Ebenso möchte ich mich bei all den SchülerInnen für ihre Teilnahme an den in dieser Arbeit durchgeführten Studien bedanken. Für die Hilfe bei der Akquise dieser Teilnehmer und Teilnehmerinnen danke ich Frau Dr. Helene Kruse sowie Herrn Christian Reiß.

Abschließend möchte ich meinen Eltern Gitta und Helmut Schwamborn, meiner Schwester Kathrin Schwamborn und insbesondere meinem Mann Oliver Schmeck danken. Es ist Eure stetige Unterstützung und Euer Lachen, welche mir die notwendige Kraft geben.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Allgemeine Einführung	6
1.1 Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen	9
1.2 Lernen mit selbst generierten Visualisierungen.....	24
1.3 Struktur und zentrale Forschungsfragen der Arbeit.....	37
1.4 Literatur	41
2 Studie I und Studie II	51
2.1 Einleitung.....	51
2.2 Methode Studie I.....	58
2.3 Ergebnisse Studie I	63
2.4 Methode Studie II	66
2.5 Ergebnisse Studie II.....	67
2.6 Diskussion.....	70
2.7 Literatur	75
3 Study III	79
3.1 Introduction.....	79
3.2 Method.....	88
3.3 Results.....	93
3.4 Discussion.....	97
3.5 References.....	102
4 Study IV.....	105
4.1 Introduction.....	105
4.2 Method.....	107
4.3 Results.....	111
4.4 Discussion.....	113
4.5 References.....	116
5 Zusammenfassende Diskussion	118
5.1 Zentrale Ergebnisse.....	119
5.2 Theoretischer Ertrag.....	123
5.3 Praktischer Ertrag	127
5.4 Ausblick.....	128
5.5 Literatur	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Anteil korrekter Antworten im Behaltenstest, Transfertest und Zeichentest für die vier Versuchsbedingungen (Studie I)	65
Tabelle 2.2: Anteil korrekter Antworten im Behaltenstest, Transfertest und Zeichentest für die vier Versuchsbedingungen (Studie II)	69
Table 3.1: Text from the second paragraph of the washing lesson	90
Table 3.2: Mean proportion correct on the transfer test, retention test, and drawing test for the five groups.....	96
Table 3.3: Mean proportion correct on the transfer test, retention test, and drawing test by low- and high-accuracy drawers from all four drawing groups combined	97
Table 4.1: Mean proportion correct on retention, transfer and drawing for the four conditions	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Darstellung der Arten von Visualisierungen am Beispiel des Lernens aus einem Sachtext über chemische Inhalte	8
Abbildung 1.2: Darstellung multimedialen Lernmaterials am Beispiel der „ <i>book-based brake lesson</i> “ nach Mayer (2001, S. 31)	10
Abbildung 1.3: Zentrale Annahmen der CLT nach Gerjets & Scheiter (2006, S. 35)	13
Abbildung 1.4: Modell der Cognitive Theory of Multimedia Learning von Mayer (2005); nach Rey (2009, S. 52)	16
Abbildung 1.5: Das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz (2005); nach Höffler (2007, S. 14)	18
Abbildung 1.6: Modell der Generative Theory of Drawing Construction nach van Meter & Garner (2005); eigene Darstellung.....	29
Abbildung 1.7: Arten der Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen	34
Abbildung 2.1: Bilder zum Lehrtext (zur besseren Übersichtlichkeit der Bilder wurden verschiedene Modellvorstellungen integriert).....	59
Abbildung 2.2: Darstellung der <i>baseline</i> -Unterstützung (rechts) am Beispiel des fünften Textabschnittes (links).....	60
Figure 3.1: Illustration of the drawing prompt for the second paragraph in the drawing version of the learning booklet.....	91
Figure 4.1: Computer-based learning environment for the seventh paragraph: “Control” condition (1); “Provision” condition (2); “Generation” condition (3); “Generation + Provision” condition (4) (German version).....	108
Figure 4.2: Provided pictures illustrating the content of the science text on chemical processes of washing with soap and water (approximately 1000 words; divided into seven paragraphs)	109

1 Allgemeine Einführung

“Good reading, like effective writing, involves generative cognitive processes that create meaning by building relations (a) among the parts of the text and (b) between the text and what we know, believe, and experience.”

(Wittrock, 1990, S. 347)

Ein aus der Schulpraxis bekanntes und nicht zu Letzt durch internationale Vergleichsstudien wie PISA (vgl. Baumert et al., 2001) in den letzten Jahren in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit gerücktes Problem ist, dass Schülerinnen und Schüler (kurz: Schüler) häufig Schwierigkeiten haben, komplexe und schwierige Texte verstehend zu lesen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass der Prozess des verstehenden Lesens hohe kognitive Anforderungen an die Schüler stellt. So liegt eine notwendige Voraussetzung des verstehenden Lesens darin, dass eine kohärente mentale Repräsentation (mentales Modell) der Textinhalte im Gedächtnis aufgebaut werden muss. Das heißt, der Lernende muss in der Lage sein, eine Folge von Textaussagen in einen kohärenten Zusammenhang zu bringen und diese in seine bestehenden Wissensstrukturen zu integrieren (vgl. die allgemeinen Modelle des Textverstehens, z. B. Gernsbacher, 1990; Kintsch & van Dijk, 1978; Schnotz, 1994, 2003; van Dijk & Kintsch, 1983). Hierbei spielt die Art des Textes eine relevante Rolle. So können Lernende bei narrativen Texten, wie z. B. einem Märchen oder einer Kurzgeschichte, bei der Bildung ihres mentalen Modells häufig auf ihr allgemeines Weltwissen zurückgreifen, während sie bei expositorischen Texten, wie z. B. naturwissenschaftlichen Sachtexten, häufig kein domänenspezifisches Wissen besitzen, so dass die Kohärenzbildung bei expositorischen Texten in der Regel schwieriger ist als bei narrativen Texten (vgl. Lorch, 1995; Schnotz, 1994).

Vor diesem Hintergrund wird der Förderung des Verstehens expositorischer Texte in der pädagogisch-psychologischen Forschung eine besondere Rolle beigemessen. Hierbei wurden in den letzten Jahren die verschiedensten empirischen Ansätze vorgestellt, die den Lernenden den Umgang mit den an sie gestellten hohen kognitiven Anforderungen erleichtern sollen.

Einen prominenten Ansatz zur Förderung des Textverstehens, der besonders im Rahmen des Wissenserwerbs mit Neuen Medien (= Forschung zum multimedialen Lernen) diskutiert wurde, stellt die Darbietung von Visualisierungen (kurz: Bildern) zu einem Sachtext dar (z. B. Mayer, 2001; Paivio, 1986; Schnotz, 2005; Schnotz & Bannert 1999; siehe Abbildung 1.1). Hierbei haben die Lernenden nicht nur den Text, sondern zudem auch ein Bild als Lernmaterial, das heißt sie lernen mit so genannten multiplen Repräsentationen (Ainsworth, 1999). Aus diesen unterschiedlichen Repräsentationsformaten lassen sich entsprechend unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten von Text und Bild ableiten. So können auf textueller Ebene komplexe Prozesse und Abläufe detailliert beschrieben werden, während auf der bildlichen Ebene relationale Beziehungen wie z. B. räumliche Beziehungen übersichtlich dargestellt werden können (Larkin & Simon, 1987). Bilder können demnach als eine Vereinfachung eines in einem Text beschriebenen komplexen Sachverhaltes dienen. Sie können demzufolge die kognitiven Anforderungen, die der Prozess des Verstehens des Lesens an einen Lernenden stellt, reduzieren und daher als Verstehenshilfe beim Lesen eines Textes dienen. Dies sollte sich besonders dann als nützlich erweisen, wenn Lernende mit einem schwierigen Sachverhalt konfrontiert werden, zu dem sie kein oder nur sehr geringes domänenspezifisches Wissen besitzen - eine in der Schulpraxis gängige Situation.

Einen weiteren Ansatz zur Förderung des Textverstehens stellt die Lernstrategie- und Selbstregulationsforschung dar, die darauf hinweist, dass durch die aktive Verarbeitung von Lernmaterialien ein besseres Verstehen erzielt werden kann (z. B. Boekaerts, 1997, 1999; Leutner & Leopold, 2006; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000; Zimmerman, 2001). Die aktive Verarbeitung von Texten kann durch den Einsatz kognitiver Strategien, wie Wiederholungsstrategien, Organisationsstrategien, Elaborationsstrategien, sowie metakognitiver Strategien der Überwachung und Regulation erzielt werden, wobei die Motivation der Lernenden unabdingbar ist, um die Anstrengung zur Nutzung der jeweiligen Strategie zu investieren (Leopold, 2009; Mandl & Friedrich, 2006; Mayer & Weinstein, 1986). Eine kognitive Lernstrategie zum Lernen mit Texten, die sich der Vorteile des multimedialen Lernens bedient, stellt die Strategie des selbstständigen Visualisierens dar, die das Generieren von Bildern zu Texten beschreibt (siehe Abbildung 1.1). Die Lernenden erstellen hierbei aus den in einem Text verbal kodierten räumlichen Informationen über Gegenstände oder Sachverhalte eine externale Visualisierung wie z. B. eine Zeichnung (van Meter & Garner, 2001). Im Gegensatz zum Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen ist der Lernende demnach nicht nur ein Rezipient von Text- und Bildmaterial, sondern nimmt durch

das selbstständige Generieren von Visualisierungen eine aktive Rolle im Lernprozess ein. Durch den Einsatz der Lernstrategie des selbstständigen Visualisierens lernen Lernende demzufolge mit verbalen und piktorialen Repräsentationen, während zugleich die aktive Verarbeitung des Lernmaterials angeregt wird (vgl. van Meter, 2001; van Meter & Garner, 2005).

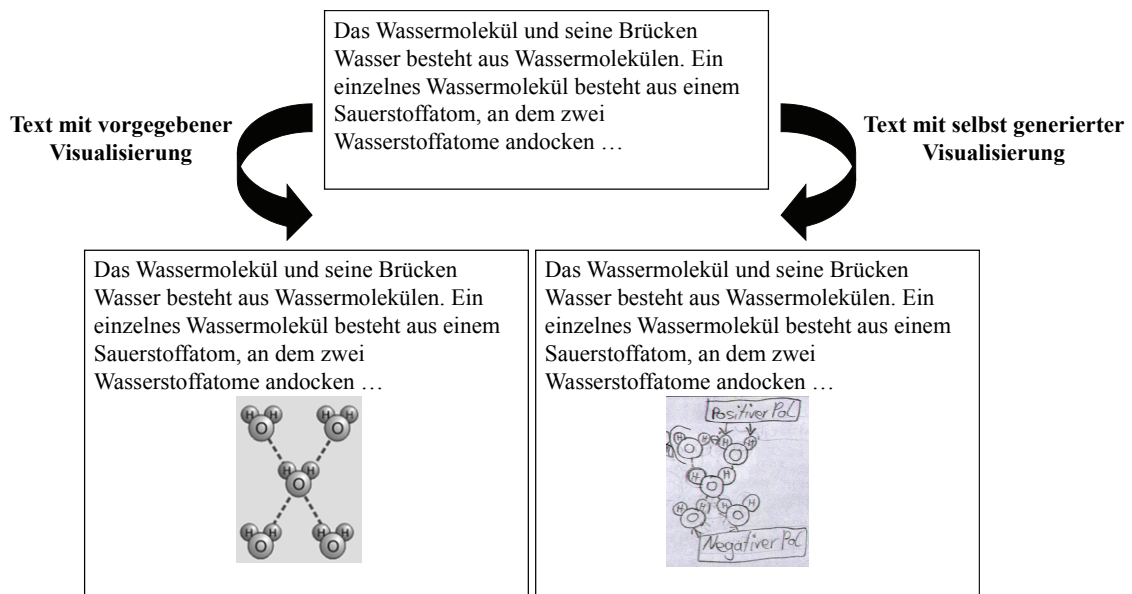


Abbildung 1.1: Darstellung der Arten von Visualisierungen am Beispiel des Lernens aus einem Sachtext über chemische Inhalte

Angesichts der zu Anfang beschriebenen Problematik, dass Schüler häufig Probleme haben, schwierige Sachtexte verstehend zu lesen, können Visualisierungen in Form von Bildern demnach als eine potentielle Verstehenshilfe beim Lernen naturwissenschaftlicher Sachtexte angesehen werden. Hierbei kommen zwei Arten von Visualisierungen - vorgegebene und selbst generierte Visualisierungen - als Verstehenshilfe in Frage. Betrachtet man die bisherige Forschung zur Wirksamkeit von Visualisierungen auf das Textverstehen, zeigt sich, dass der Fokus vor allem auf dem Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen liegt (für einen Überblick siehe Carney & Levin, 2000; Levie & Lentz, 1982; Mayer, 2001). Die bisherige Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen ist hingegen begrenzt und liefert bisher keinen eindeutigen Beleg für oder gegen die Wirksamkeit selbst generierter Visualisierungen auf das Textverstehen (für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005).

Im Folgenden werden zunächst der theoretische Hintergrund beider Arten von Visualisierungen, die jeweilige empirische Befundlage sowie potentielle Einflussfaktoren auf die Wirksamkeit beider Visualisierungsarten näher erläutert. Daraus abgeleitet werden zum Abschluss dieses Kapitels die Struktur sowie die zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit dargestellt.

1.1 Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen

“Students learn better from words and pictures than from words alone.”

(Mayer, 2001, S. 63)

“However, simply adding pictures to words does not guarantee an improvement in learning - that is, all multimedia presentations are not equally effective.”

(Mayer, 2005, S. 31)

Das Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext fällt unter das so genannte multimediale Lernen, welches aus instruktionspsychologischer Perspektive definiert ist als das Lernen mit gesprochenem oder geschriebenem Text kombiniert mit Bildern wie z. B. Illustrationen, Grafiken, Photographien oder Animationen. Ein Schulbuchtext mit dazugehörigen Bildern fällt demzufolge unter diese Definition. Den zentralen Aspekt des multimedialen Lernen stellt das von Mayer (2001) formulierte *Multimedia Principle* dar. Dieses Prinzip besagt, dass Lernende mit einer Kombination aus Bild und Text besser lernen als mit Text allein (sog. Multimediaeffekt). Es wird allerdings angenommen, dass nicht jedes Bild eine Verbesserung des Lernerfolges bewirkt, sondern dass nur sinnvolle Text-Bildkombinationen die beschriebenen Lernvorteile erbringen (Schnotz & Bannert, 2003). So werden in multimedialen Lernumgebungen vor allem solche Bilder erfolgreich eingesetzt, die von Carney und Levin (2002) als „*interpretational pictures*“, von Schnotz (2002) als „realistische Bilder“, oder von Weidenmann (2002) auch als „Abbilder“ bezeichnet werden. Als wohl eines der bekanntesten Beispiele können die von Mayer in zahlreichen Studien verwendeten multimedialen Lernmaterialien zur Entstehung eines Gewitters oder der Funktionsweise einer Bremse genannt werden (sog. *Lightning Lesson* bzw. *Brake Lesson*; für einen Überblick siehe Mayer, 2001; vgl. Abbildung 1.2).

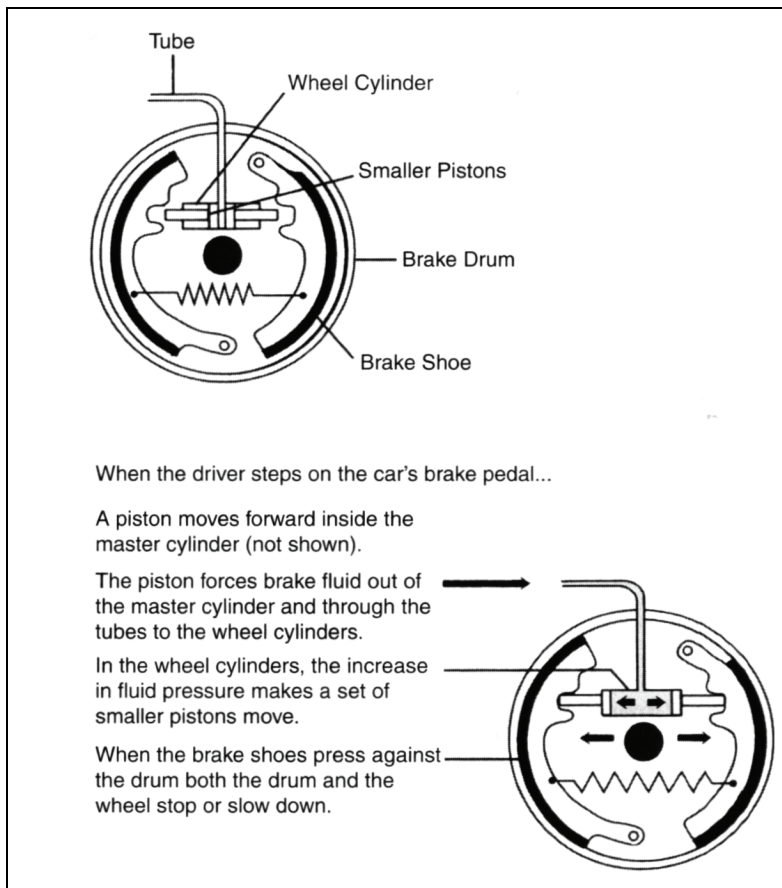


Abbildung 1.2: Darstellung multimedialen Lernmaterials am Beispiel der „book-based brake lesson“ nach Mayer (2001, S. 31)

Den theoretischen Hintergrund des multimedialen Lernens bilden vor allem die *Cognitive Load Theory* von Sweller und Kollegen (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998), die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von Mayer (2001, 2005) sowie das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz (2005; vgl. auch Schnotz & Bannert, 2003). Der zentrale Unterschied zwischen diesen drei Ansätzen besteht vor allem darin, dass die Cognitive Load Theory sich nur auf die Prozesse bezieht, die beim Verarbeiten von Text und Bild im Arbeitsgedächtnis erfolgen, wohingegen die beiden anderen Ansätze versuchen, den gesamten Verstehensprozess vom sensorischen Register über das Arbeitsgedächtnis bis hin zum Langzeitgedächtnis zu beschreiben. Das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens führt den Verstehensprozess in einigen Aspekten differenzierter aus als die Cognitive Theory of Multimedia Learning.

Im Folgenden werden diese drei theoretischen Ansätze zum multimedialen Lernen näher erläutert. Im Hinblick auf die zentrale Thematik dieser Arbeit - inwiefern vorgegebene sowie selbst generierte Visualisierungen als eine geeignete Verstehenshilfe beim Lesen eines Sachtextes dienen können - steht vor allem das Lernen mit geschriebenem Text und Bildern im Fokus. Im Anschluss werden die für diese Arbeit zentralen Prinzipien zur optimalen Gestaltung multimedialer Lernmaterialien erläutert. Abschließend wird die Wirksamkeit des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen anhand der bestehenden empirischen Befunde dargestellt und im Hinblick auf offene Forschungsfragen diskutiert.

Die Cognitive Load Theory (CLT)

Mithilfe der Cognitive Load Theory (kurz: CLT; vgl. Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005; Sweller et al, 1998) können Annahmen über die kognitive Belastung während des Lernens getroffen und entsprechend instruktionale Gestaltungsempfehlungen erschlossen werden. Als zentrale kognitive Strukturen werden in der CLT das Langzeitgedächtnis und das Arbeitsgedächtnis angenommen. Für das Langzeitgedächtnis wird eine nahezu unbegrenzte Kapazität postuliert, während für das Arbeitsgedächtnisse von einer begrenzten Kapazität ausgegangen wird (vgl. Baddeley, 1992; Miller, 1956). Der Begriff Cognitive Load bezeichnet hierbei die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Verarbeitung neuer Informationen, wie sie z. B. das multimediale Lernen an einen Lernenden stellt. Verständnis wird als Fähigkeit des Lernenden definiert, die zu verstehenden Informationselemente simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeiten zu können (Sweller, 2005). In der CLT wird in diesem Zusammenhang angenommen, dass die kognitive Kapazität des Arbeitsgedächtnisses durch drei verschiedene Belastungsformen beansprucht werden kann: den *Intrinsic Cognitive Load*, den *Extraneous Cognitive Load* sowie den *Germane Cognitive Load* (Sweller et al., 1998, vgl. Abbildung 1.3):

- (1) Der *Intrinsic Cognitive Load* ergibt sich aus der Lernaufgabe selbst. Er bezeichnet die Art der Belastung, welche durch Charakteristika verursacht wird, die dem Lernmaterial als solches inhärent sind, wie z. B. dessen Umfang, Komplexitäts- sowie Schwierigkeitsgrad, bedingt durch die so genannte Interaktivität der Elemente. Diese ergibt sich aus der Menge an Wissensinhalten (Elementen), die ein Lernender simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeiten muss, um den zu lernenden Sachverhalt vollständig zu verstehen. Muss ein Lernender demnach z. B. einen komplexen Sachtext verstehend lesen, für dessen Verständnis viele unterschiedliche miteinander verknüpfte Wissensinhalte

(Schemata) erforderlich sind, sollte dies in einem entsprechend erhöhten Intrinsic Cognitive Load münden. Es wird angenommen, dass der Intrinsic Cognitive Load nicht direkt durch instruktionales Design, das heißt durch die Gestaltung und Kombination von Lehrmaterialien und somit auch durch die Art und Qualität der damit einhergehenden Bilder, beeinflusst werden kann. Allerdings ist der Intrinsic Cognitive Load vom inhaltspezifischen Vorwissen des Lernenden abhängig, und zwar in der Art, dass je mehr Vorwissen ein Lernender besitzt, desto geringer der Intrinsic Cognitive Load ausfällt (Sweller, 2005; Sweller et al., 1998). Entsprechend konnte gezeigt werden, dass der Intrinsic Cognitive Load durch eine geeignete Aufgabenschwierigkeit (Gerjets & Scheiter, 2003) sowie dynamisch an das Wissen der Lernenden angepasste Lernmaterialien (Camp, Paas, Riekers & van Merriënboer, 2001; Kalyuga, 2006; Salden, Paas & van Merriënboer, 2006; Tuovinen & Paas, 2004) optimiert werden kann.

- (2) Der *Extraneous Cognitive Load* ergibt sich aus der Art des instruktionalen Designs. Er beschreibt die durch das instruktionale Design verursachte kognitive Belastung. So führt z. B. beim verstehenden Lesen eines Sachtextes die Darbietung redundanter Informationen dazu, dass der Lernende verstärkt kognitive Anstrengungen aufbringen muss, um die relevanten Informationen aus dem Lernmaterial zu extrahieren, was entsprechend in einem erhöhtem Extraneous Cognitive Load mündet. Ein zu hoher Extraneous Cognitive Load behindert jedoch das Lernen und führt zum so genannten *Cognitive Overload*, das heißt zur Überforderung des Lernenden auf Grund seiner begrenzten Arbeitsgedächtniskapazität. Gutes instruktionales Design sollte demnach darauf abzielen, diese Form der Belastung zu minimieren (Sweller, 2005).
- (3) Der *Germane Cognitive Load* stellt die dritte Art der kognitiven Belastung dar; er wird häufig als lernerbezogene Belastung aufgefasst. Germane Cognitive Load bezeichnet den Anteil der kognitiven Belastung, der für das eigentliche verstehende Lernen notwendig ist, wie z. B. die kognitive Belastung, die das Auswählen lernrelevanter Information aus einem Text an den Lernenden stellt. Der Germane Cognitive Load ist wie der Extraneous Cognitive Load von der Art des instruktionalen Designs abhängig.

Diese drei Arten kognitiver Belastung addieren sich zum gesamten Cognitive Load. Verstehendes Lernen kann dann nicht mehr auftreten, wenn die kognitive Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses überschritten wird, das heißt, wenn der Lernende die zu verstehenden Informationselemente nicht mehr simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeiten kann. Um dies zu verhindern, sollten multimediale Lerninhalte demnach so gestaltet sein, dass Extraneous

Cognitive Load weitgehend vermieden und so ausreichend Kapazität im Arbeitsgedächtnis für Germane Cognitive Load frei gehalten wird.

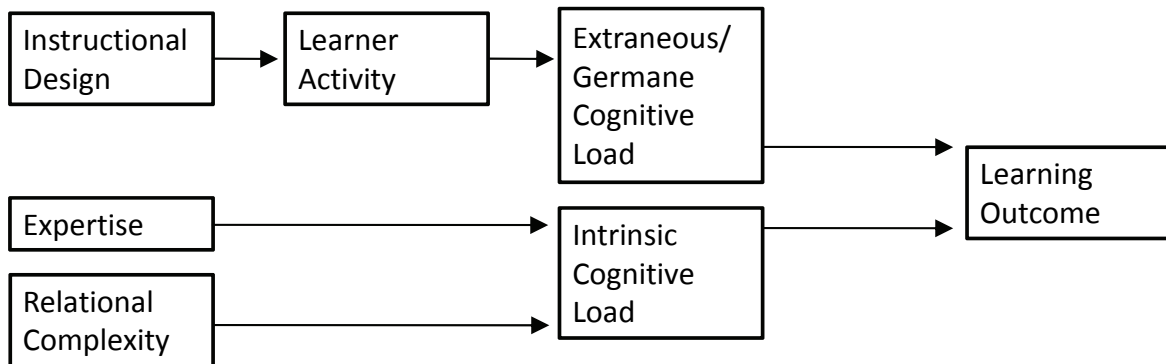


Abbildung 1.3: Zentrale Annahmen der CLT nach Gerjets & Scheiter (2006, S. 35)

Die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML)

Ausgehend von der dualen Kodierungstheorie von Paivio (1986), den Modellen des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1992; siehe auch Baddeley & Hitch, 1974), der CLT (z. B. Sweller & Chandler, 1991) sowie der *Generative Theory of Learning* von Wittrock (1974, 1990) hat Mayer (2001, 2005) die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (kurz: CTML) formuliert. In Abbildung 1.4 wird das Modell der CTML grafisch dargestellt. Im Wesentlichen bezieht sich die CTML auf drei zentrale Annahmen:

(1) Die Informationsverarbeitung erfolgt über zwei separate Kanäle (*Dual-Channel Assumption*).

Entsprechend der dualen Kodierungstheorie (Paivio, 1986) sowie des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley (1992) werden zwei kognitive Systeme zur Informationsverarbeitung angenommen. Hierbei wird zwischen einem verbalen System (auditiver / verbaler Kanal) und einem non-verbalen System (visueller / piktorialer Kanal) unterschieden. Zur näheren Beschreibung beider Systeme muss zwischen dem Modus, in dem die zu lernenden Informationen präsentiert werden, und der Modalität, in der die zu lernenden Informationen verarbeitet werden, unterschieden werden (vgl. Abbildung 1.4): Der Präsentationsmodus bezieht sich darauf, wie die Lernmaterialien dargeboten werden - verbal wie z. B. gesprochene oder gedruckte Sätze bzw. Wörter oder non-verbal wie z. B. Abbildungen oder Animationen (Paivio, 1986). Die sensorische Moda-

lität bezieht sich hingegen darauf, wie die dargebotenen Lernmaterialien durch den Lernenden aufgenommen und im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden - auditiv oder visuell. Dabei werden im visuellen System z. B. gedruckte Wörter, Bilder oder Animationen verarbeitet, während im auditiven System z. B. gesprochene Wörter oder Musik verarbeitet werden (Baddeley, 1992). Nach der CTML läuft die Informationsverarbeitung in beiden Systemen nicht getrennt voneinander ab, sondern es bestehen zwischen den beiden Systemen Wechselwirkungen, das heißt die in einem System verarbeitete Information kann zur Weiterverarbeitung in den jeweils anderen Kanal übertragen werden (*cross-channel representations*). So wird z. B. geschriebener Text zunächst über das non-verbale System aufgenommen und verarbeitet, dann jedoch im Arbeitsgedächtnis in das verbale System übertragen, das heißt der geschriebene Text wird nicht in Form eines Bildes, sondern quasi als gesprochene Lautfolge bzw. gesprochener Text weiterverarbeitet (Mayer & Moreno, 2002).

- (2) Das Arbeitsgedächtnis kann nur eine begrenzte Menge an Informationen verarbeiten (*Limited Capacity Assumption*).

Entsprechend dem Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1992; Baddeley & Hitch, 1974) sowie der CLT (Sweller, 1999; Sweller & Chandler, 1991) ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt, das heißt die Anzahl an Informationen, die zur selben Zeit bearbeitet werden kann, ist beschränkt. Dementsprechend können Lernende komplexe Lernmaterialien nur sequentiell bearbeiten und nicht zur selben Zeit. Diese Kapazitätsgrenzen variieren intraindividuell sowie interindividuell, da sie zudem vom Vorwissen der Lernenden abhängen. So kann ein Lernender mit umfangreichem Vorwissen mehr Informationen gleichzeitig aktiv verarbeiten, weil er einzelne übergeordnete Einheiten bilden kann (sog. *Chunking*), als ein Lernender, der auf kein bestehendes Vorwissen zurückgreifen kann (vgl. Miller, 1956).

- (3) Der Lernende ist aktiv an der Informationsverarbeitung beteiligt (*Active Processing Assumption*).

Entsprechend Wittrocks *Generative Theory of Learning* (Wittrock, 1974, 1990) wird in der CTML der Lernende nicht als passiver Rezipient von Informationen, sondern als aktiver, den Lernprozess bestimmender Teilnehmer angesehen. Um Wissen zu erwerben, muss der Lernende aktiv ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes konstruieren. Hierzu sind drei verschiedene kognitive Prozesse notwendig: (a) die Selektion von relevanten Wörtern sowie von relevanten Bildern, (b) die Organi-

sation der ausgewählten Wörter sowie der ausgewählten Bildelemente und (c) die Integration des verbalen und bildhaften mentalen Modells mit dem Vorwissen des Lernenden. Diese Prozesse müssen nicht linear in fester Reihenfolge ablaufen. Ihre adäquate Umsetzung ist jedoch für das verstehende Lernen entscheidend (vgl. Mayer, 2005; siehe Abbildung 1.4):

- (a) *Selektion von relevanten Wörtern und Bildelementen*: Durch die begrenzte Arbeitsgedächtniskapazität wird der Lernende förmlich gezwungen, seine Aufmerksamkeit auf ausgewählte Wörter und Bildelemente zu richten. Diese Auswahl ist nicht unwillkürlich, sondern wird vom Lernenden aktiv gesteuert. Auf diese Weise wird sowohl eine erste oberflächliche verbale Repräsentation („Töne“) als auch eine erste oberflächliche piktoriale Repräsentation („Bilder“) im Arbeitsgedächtnis abgebildet. Bei der Darbietung von geschriebenem Text muss der Lernende den geschriebenen Text zusätzlich aus dem visuellen System in das verbale System übertragen, um eine auditive Repräsentation des geschriebenen Textes im Arbeitsgedächtnis abzubilden.
- (b) *Organisation der ausgewählten Wörter und Bildelemente*: Um ein kohärentes verbales Modell im Arbeitsgedächtnis abzubilden, muss der Lernende Verbindungen zwischen den selegierten Wörtern herstellen. Um ein kohärentes bildhaftes (piktoriales) Modell im Arbeitsgedächtnis abzubilden, muss er zudem Verbindungen zwischen den selegierten Bildelementen herstellen. Auch bei diesen Prozessen unterliegt der Lernende den Kapazitätsgrenzen des Arbeitsgedächtnisses, das heißt er muss zur Erstellung der kohärenten verbalen sowie bildhaften Modelle einfache sinnstiftende Verbindungen auswählen.
- (c) *Integration des verbalen und bildhaften Modells mit dem Vorwissen*: Bei diesem letzten, wahrscheinlich dem wichtigsten kognitiven Prozess, muss der Lernende Verknüpfungen zwischen dem verbalen Modell und dem bildhaften Modell unter Einbezug des gegebenenfalls vorhandenen Vorwissens aus dem Langzeitgedächtnis erstellen. Diese Prozesse erfordern hohe kognitive Ressourcen seitens des Lernenden. Vorhandenes Vorwissen kann den Integrationsprozess erleichtern und den Lernenden entsprechend kognitiv entlasten. Ziel dieses Integrationsprozesses ist es, dass der Lernende ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes im Langzeitgedächtnis abspeichert.

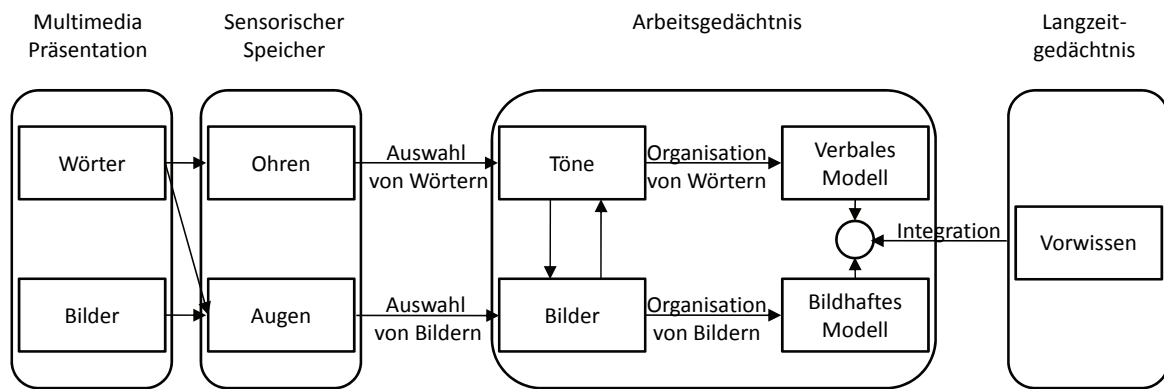


Abbildung 1.4: Modell der Cognitive Theory of Multimedia Learning von Mayer (2005); nach Rey (2009, S. 52)

Das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens

Einen weiteren Ansatz zum multimedialen Lernen stellt das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz (2005; vgl. auch Schnotz & Bannert, 2003; vgl. Abbildung 1.5) dar. Aufgrund der großen Überschneidung mit der CTML von Mayer (2001, 2005) soll im Folgenden vor allem auf die Unterschiede zwischen diesen beiden Modellen eingegangen werden.

Zunächst wird im Integrierten Modell wie in der CTML angenommen, dass beim multimedialen Lernen die kognitiven Prozesse der Selektion und Organisation von Informationen sowie auch der Integration von Informationen unter Einbezug des vorhandenen Vorwissens ablaufen. Hierbei werden auch im Integrierten Modell zwei kognitive Systeme der Informationsverarbeitung postuliert, deren Verarbeitungskapazität begrenzt ist. Während Mayer (2001, 2005) in Bezug auf den Präsentationsmodus zwischen Wörtern und Bildern unterscheidet, differenziert Schnotz (2005) zwischen dem Text als deskriptionaler Repräsentation - aus Symbolen bestehend - und dem realistischen Bild als depiktionaler Repräsentation, einer konkreten Form ikonischer Zeichen. Während die Symbole Zeichen mit arbiträren Strukturen sind, die durch konventionelle Regeln mit dem Bezeichneten verknüpft sind, sind ikonische Zeichen so genannte analoge Repräsentationen, die gemeinsame Struktureigenschaften mit dem Bezeichneten besitzen. Laut Schnotz liegt genau in dieser Differenzierung der besondere Vorteil von realistischen Bildern begründet. Indem diese Bilder den repräsentierten Gegenstand in einer Funktions- oder Strukturanalogie abbilden, basieren sie auf den gleichen Repräsentationsprinzipien wie mentale Modelle. Diese Analogie des Repräsentationsmodus zwischen Bild und mentalem Modell kann dann im Ver-

gleich zu einem über textuelle Informationen gewonnenen mentalen Modell zu einem schnelleren und ökonomischeren Aufbau des auf Bildern basierenden mentalen Modells führen.

Im Vergleich zur CTML beschreibt das Integrierte Modell darüber hinaus den Integrationsprozess von verbalem und bildhaftem Modell zu einem gemeinsamen mentalen Modell wesentlich differenzierter. So laufen nach dem Integrierten Modell die mentalen Transformationsprozesse nicht wie in der CTML auf der ersten Repräsentationsebene im Arbeitsgedächtnis ab, sondern finden auf einer zweiten Repräsentationsebene im Arbeitsgedächtnis zwischen zwei Subsystemen - der propositionalen Repräsentation und dem mentalen Modell - statt. Beide Subsysteme erhalten Informationen sowohl aus dem verbalen Kanal als auch aus dem piktorialen Kanal und stehen in enger Interaktion zueinander. Der Prozess des Verstehens von geschriebenem Text mit vorgegebenen Bildern stellt sich demnach im Integrierten Modell wie folgt dar (vgl. Abbildung 1.5):

Der geschriebene Text wird zunächst über die Augen, das visuelle Register sowie den visuellen Kanal zum visuellen Arbeitsgedächtnis weitergeleitet, wo dann eine oberflächliche Repräsentation der Textmerkmale (Textoberflächenrepräsentation) erzeugt wird. Über den verbalen Filter werden im Anschluss die relevanten Textmerkmale selektiert und über den verbalen Kanal in eine propositionale Repräsentation überführt. Diese propositionale Repräsentation wird dann unter Einbezug vorhandener themenspezifischer Schemata aus dem Langzeitgedächtnis sowie vorhandener Repräsentationen aus dem bildhaften Kanal zum mentalen Modell ausgebaut (= Prozess der Modellkonstruktion).

Die Bilder werden zunächst über die Augen aufgenommen, die relevanten Bildelemente werden dann im visuellen Register vorselektiert und anschließend über den visuellen Kanal zum visuellen Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Über den visuellen Filter werden im Anschluss die relevanten Bildinformationen selektiert, welche schließlich die Bildung des mentalen Modells anregen. Das mentale Modell kann seinerseits durch vorhandene themenspezifische Schemata aus dem Langzeitgedächtnis sowie durch relevante Informationen, welche die propositionale Repräsentation eines dazugehörigen Textes liefert, ergänzt werden (= Prozess der Modellkonstruktion). Zudem erlaubt das mentale Modell das Ablezen von Informationen und Inferenzprozessen, dessen Ergebnisse der propositionalen Repräsentation als neue Informationen wieder hinzugefügt werden können (= Prozess der Modellinspektion).

Die propositionale Repräsentation kann demnach zum Aufbau eines mentalen Modells (Prozesse der Modellkonstruktion) und das mentale Modell zum Aufbau einer propositionalen Repräsentation (Prozess der Modellinspektion) genutzt werden. Im Gegensatz zur CTML, in der davon ausgegangen wird, dass Lernende ein separates verbales Modell und ein separates bildhaftes Modell aufbauen, wird im Integrierten Modell angenommen, dass Lernende eine gemeinsame Repräsentation von Text und Bild erstellen. Während die CTML demnach die Integration des verbalen und des piktorialen Modells betont, hebt das Integrierte Modell stärker die Interaktion zwischen propositionaler Repräsentation und mentalem Modell hervor.

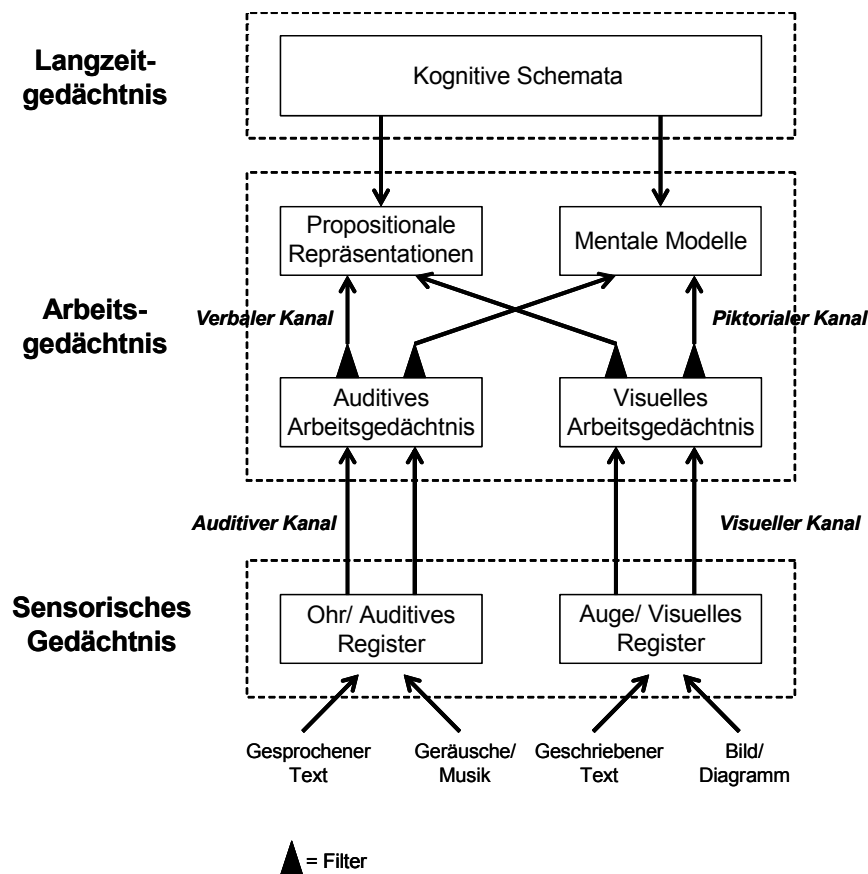


Abbildung 1.5: Das Integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz (2005); nach Höffler (2007, S. 14)

Gestaltungsprinzipien zum Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen

Fasst man die zentralen Aspekte der oben beschriebenen Theorien zum Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen zusammen, kann man schließen, dass Lernende von multimedialen Lernmaterialien profitieren können, wenn sie in der Lage sind, ohne sich kognitiv zu überlasten, ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes zu erstellen (vgl. Brünken, Plass & Leutner, 2004; Seufert, 2003a, 2003b). Dementsprechend wurden verschiedene Gestaltungsempfehlungen formuliert, welche beim multimedialen Lernen berücksichtigt werden sollten, um eine möglichst optimale kognitive Belastung zu erzeugen. Von zentraler Bedeutung sind in diesem Kontext die von Mayer (2001, 2005; vgl. Mayer & Moreno, 2002) formulierten Gestaltungsprinzipien zum multimedialen Lernen (sog. *Principles of Multimedia Learning*). Im Folgenden werden die Gestaltungsprinzipien erläutert, welche für das im Fokus dieser Arbeit stehende Lernen mit geschriebenem Text und vorgegebenen Bildern relevant sind. Das Modalitätsprinzip und das Redundanzprinzip¹ beziehen sich auf das Lernen mit Animationen bzw. gesprochenem Text und vorgegebenen Bildern, und werden daher nicht näher erläutert:

- (a) *Kontiguitätsprinzip*: Dieses Prinzip besagt, dass inhaltlich zusammengehörige Text- und Bildpassagen möglichst in räumlicher und zeitlicher Nähe zueinander dargeboten werden sollten (sog. *räumliches und zeitliches Kontiguitätsprinzip*). Im Sinne der CLT liegt dieses Prinzip darin begründet, dass eine fehlende Zusammengehörigkeit von Informationen den Extraneous Cognitive Load erhöht, weil der Lernende kognitive Kapazitäten für das Suchen der zusammengehörigen Elemente einsetzen muss (sog. Split-Attention-Effekt; vgl. Ayres & Sweller 2005; Chandler & Sweller 1992). Das Prinzip konnte in zahlreichen Untersuchungen bestätigt werden (räumliches Kontiguitätsprinzip: z. B. Chandler & Sweller, 1991; Mayer, 1989; Moreno & Mayer, 1999; Tindall-Ford, Sweller & Chandler, 1997; zeitliches Kontiguitätsprinzip: Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Sims, 1994).
- (b) *Kohärenzprinzip*: Dieses Prinzip besagt, dass ablenkende, für das Verständnis der präsentierten Sachverhalte nicht erforderliche zusätzliche Informationen (z. B. irrelevante Textteile oder Bilder, irrelevante Töne oder Musik) den Lernerfolg beeinträchtigen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom so genannten

¹ Das Modalitätsprinzip besagt, dass Lernende besser mit Animationen und gesprochenem Text lernen als mit Animationen und geschriebenem (on-screen) Text. Das Redundanzprinzip besagt, dass Lernende besser mit Animationen und gesprochenem Text lernen als mit Animationen, gesprochenem Text und geschriebenem (on-screen) Text (vgl. Mayer, 2001).

„seductive details“- Effekt (Mayer, 2005; Sweller, 2005). So zeigt sich vor allem bei dekorativen Visualisierungen, welche keinen inhaltlichen Bezug zum zu lernenden Textmaterial aufweisen, dass diese nur bedingt lernförderlich sind, z. B. für Lernende mit geringem Vorwissen (Lenzner, Horz, Schnotz & Müller, 2008). Im Sinne der CLT kann dieses Prinzip damit begründet werden, dass die zusätzlichen Informationen die ohnehin schon begrenzte Arbeitsgedächtniskapazität überlasten, so dass zu wenig Kapazität für die eigentlichen Verstehensprozesse verfügbar ist. Die empirische Befundlage zum Kohärenzprinzip ist jedoch nicht eindeutig (für einen Überblick siehe Mayer, 2005; Rey, 2009). Während einige Studien Belege für die Gültigkeit dieses Gestaltungsprinzips finden (z. B. Garner, Gillingham & White, 1989; Harp & Mayer, 1997, 1998), gibt es auch zahlreiche Studien, die kein eindeutiges Ergebnis aufzeigen (z. B. DeWestelinck, Valcke, De Craene & Kirschner, 2005; Garner, Alexander, Gillingham & Brown, 1991; Moreno & Mayer, 2000).

- (c) *Prinzip individueller Unterschiede*: Dieses Prinzip besagt, dass individuellen Differenzen im Vorwissen und den räumlichen Fähigkeiten sich auf die Wirksamkeit der übrigen Gestaltungsprinzipien zum multimedialen Lernen auswirken können. So wird bezogen auf das inhaltspezifische Vorwissen angenommen, dass sich die Wirksamkeit der Gestaltungsprinzipien bei Lernenden mit niedrigem Vorwissen deutlicher zeigt als bei Lernenden mit hohem Vorwissen. Entsprechend dem aus der Cognitive Load Forschung bekannten *Expertise Reversal*-Effekt zeichnen Experten sich dadurch aus, dass sie im Vergleich zu Novizen bereits inhaltspezifisches Vorwissen (gespeicherte Schemata) besitzen (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Dieses ermöglicht es ihnen, schlechtes instruktionales Design wie es z. B. durch eine fehlende räumliche Kontiguität von Text und Bild erzeugt wird, besser zu kompensieren, während dies bei Novizen zu einem Cognitive Overload führen kann. Umgekehrt kann durch gutes, im Sinne von verarbeitungsanregendem instruktionales Design, wie es durch die Einhaltung der Gestaltungsprinzipien ermöglicht werden kann, der Cognitive Load bei Novizen reduziert werden, während er bei Experten auf diese Weise sogar erhöht wird. So benötigt ein Lernender zum Verständnis eines Lerninhaltes, zu dem er bereits Vorwissen besitzt, z. B. nicht, wie durch das Multimediaprinzip postuliert, die zusätzliche Darbietung eines Bildes zu einem Text. Die duale Informationsdarbietung stellt hierbei redundante Information dar, die der Lernende nicht vollständig ignorieren kann, und erzeugt daher eine

zusätzliche kognitive Belastung, welche sich wiederum negativ auf das Verständnis auswirken sollte (Kalyuga et al, 2003; Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998, 2000). Dieser Effekt bezüglich des Vorwissens konnte in zahlreichen empirischen Studien belegt werden (z. B. Cooper, Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 2001; Kalyuga et al., 1998, 2000; Kalyuga, Chandler & Sweller, 2001; Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001; Leahy & Sweller, 2005; Lee, Plass & Homer, 2006; Mayer & Gallini, 1990; Mayer, Steinhoff, Bower & Mars, 1995; McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996; Pollock, Chandler & Sweller, 2002; Tuovinen & Sweller, 1999; Yeung, Jin & Sweller, 1998).

Bezogen auf das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden wird angenommen, dass Lernende mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen stärker von den Gestaltungsprinzipien profitieren als Lernende mit einem niedrigen räumlichen Vorstellungsvermögen. Mayer (1999) begründet dies damit, dass Lernende mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen Bilder besser im Arbeitsgedächtnis behalten können als Lernende mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen, so dass sie stärker von dem multimedialen Lernmaterial profitieren können. Allerdings ist die empirische Befundlage bezogen auf diesen Effekt des räumlichen Vorstellungsvermögens nicht eindeutig. Während einige Studien den angenommenen Effekt aufzeigen konnten (sog. *ability-as-enhancer*-Hypothese; ChanLin, 2000; Höffler, 2007; Huk, 2006; Mayer & Sims, 1994; Moreno & Mayer, 1999), belegen andere Studien hingegen den umgekehrten Effekt des räumlichen Vorstellungsvermögens in die Richtung, dass Lernende mit einem niedrigen räumlichen Vorstellungsvermögen stärker profitieren als Lernende mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen (sog. *ability-as-compensator*-Hypothese; Blake, 1977; Cohen, 2005; Hays, 1996; Hegarty & Sims, 1994; Höffler, 2007; Winn, 1982).

Wirksamkeit des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen

Das von Mayer formulierte Multimediaprinzip, nach welchem Lernende mit einer Kombination aus Text und Bild besser lernen als mit Text allein (sog. Multimediaeffekt), konnte in zahlreichen empirischen Studien sowohl in traditionellen papierbasierten Kontexten (z. B. Mayer, 1989; Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Gallini, 1990; Moreno & Mayer, 1999; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998; für einen Überblick siehe auch Carney & Levin, 2002; Levie & Lentz, 1982; Mayer, 2001) als auch im Rahmen computerbasierter

Lernumgebungen (z. B. Schmidt-Weigand, 2006; Mayer & Moreno, 2002; Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001) belegt werden. Diese Befunde belegen, dass solange multimediale Lernmaterialien instruktional so verwendet werden, dass angemessene kognitive Verarbeitung stattfindet, der Multimediaeffekt unabhängig vom eingesetzten Medium auftritt (sog. *method-affects-learning hypothesis*; Mayer, 2003; Moreno, 2006).

Allerdings zeigt der Forschungsstand zum multimedialen Lernen auch, dass Lernende, vor allem solche mit einem geringen Vorwissen, trotz Berücksichtigung der beschriebenen Gestaltungsprinzipien nicht immer von multimedialen Lernmaterialien profitieren (vgl. Brünken, Seufert & Zander, 2005; Cox & Brna, 1995; de Jong et al., 1998; Gerjets, Scheiter & Schuh, 2005; Kozma & Russell, 1997; Müller-Kalthoff & Möller, 2005; Scanlon, 1998; Seufert, 2003a; Tabachneck, Leonardo & Simon, 1994; Tabachnek & Simon, 1992; Yerushalmy, 1991; für einen Überblick siehe Ainsworth, 1999; Seufert, 2003b).

Eine mögliche Erklärung dieser inkonsistenten Befunde zum multimedialen Lernen bietet die Forschung zur Kohärenzbildung (vgl. Bodemer, 2004; Brünken, Seufert & Zander, 2005; Plötzner, Bodemer & Feuerlein, 2001; Seufert, 2003a, b). Sie basiert auf der zentralen Annahme, dass die bloße Darbietung von multimedialen Lernmaterialien nicht immer ausreicht, um die notwendigen kognitiven verstehensförderlichen Prozesse des multimedialen Lernens anzuregen. Bezogen auf die von Mayer (2001) formulierten Gestaltungsprinzipien wird angenommen, dass diese zwar den mentalen Aufwand der Lernenden über eine Verringerung des Extraneous Cognitive Load beim multimedialen Wissenserwerb reduzieren, jedoch nicht direkt bedeutungsvolles Wissen über eine Förderung von Germane Cognitive Load induzieren. Dies hat zur Folge, dass Lernende den zentralen Prozess der Bildung eines kohärenten mentalen Modells des zu lernenden Sachverhaltes nicht adäquat ausführen und entsprechend nicht vom multimedialen Lernmaterial profitieren. Gestützt wird diese Annahme durch Befunde, die zeigen, dass sich Lernende oft nur auf eine der dargebotenen Repräsentationen, das heißt entweder nur auf den Text oder nur auf das Bild konzentrieren (Cox & Brna, 1995; Herrlinger, Höffler, Opfermann & Leutner, 2009; Scanlon, 1998), und dass sie nur bei Schwierigkeiten auf weitere Repräsentationen zurückgreifen (Tabachnek & Simon, 1998). Entsprechend wurden in verschiedenen Studien erfolgreich unterschiedliche Ansätze zur Förderung der Kohärenzbildung getestet. Eine Möglichkeit bietet z. B. das so genannte „color coding“, welches eine farbliche Markierung der in Text und Bild korrespondierenden Strukturen darstellt (z. B. Kalyuga et al, 1998). Eine weitere Alternative stellt das sogenannte „dynamic linking“ dar (vgl. Bodemer,

Plötzner, Feuerlein & Spada, 2004). So konnten Bodemer und Kollegen (2004) zeigen, dass es lernwirksam ist, wenn die Lernenden angeregt werden, per drag-und-drop referentielle Verknüpfungen zwischen Text und Bild herzustellen, indem sie Begriffe auf dem PC-Monitor an die entsprechende Stelle im Bild ziehen. Darüber hinaus konnten Brünken und Kollegen (2005) die Lernwirksamkeit von sogenannten inter-textuellen Hyperlinks aufzeigen. Hierbei werden Begriffe im Text mit Hyperlinks hinterlegt und durch Unterstreichung hervorgehoben. Beim Anklicken dieser Begriffe mit der Maus erscheinen entsprechende Hinweispeile, die vom Begriff auf die korrespondierenden Teile der Grafik verweisen. Allen Kohärenzbildungshilfen gemein ist, dass sie über die instruktionale Unterstützung von Aufmerksamkeitsprozessen den Lernenden bei der Durchführung der für erfolgreiches multimediales Lernen notwendigen Verarbeitungsschritte fördern und auf diese Weise Germane Cognitive Load induzieren. Allerdings haben sich nicht alle instruktionale Kohärenzbildungshilfen als lernwirksam erwiesen (Plötzner & Härder, 2001; Seufert, 2003a, b; Stiller, 2001). Einen Grund sehen Brünken und Kollegen (2005) darin, „dass jede Art zusätzlicher Information, sei sie hilfreich oder nicht, verarbeitet werden muss und damit das Gesamtausmaß kognitiver Belastung beim Lernen erhöht. Positive Effekte auf den Wissenserwerb sind dabei nur dann zu erwarten, wenn das zusätzliche Ausmaß kognitiver Anforderungen im Sinne der cognitive load theory tatsächlich germane load darstellt, also für die Zielerreichung fördernd ist. Unterstützt sie den Wissenserwerb jedoch nicht, stellt sie redundante oder inkohärente Information dar, die als extraneous load wirkt und den Wissenserwerb behindert“ (Brünken et al., 2005, S. 64). Das multimediale Lernen kann demzufolge über die Instruktion zum aktiven Herstellen von Bezügen zwischen Text und Bild und damit durch die Induktion von Germane Cognitive Load gefördert werden - allerdings nur, wenn der hierbei erzeugte Extraneous Cognitive Load möglichst gering ausfällt. Insgesamt wird deutlich, dass die Lernwirksamkeit des multimedialen Lernens eng mit der *kognitiven Belastung* des Lernenden zusammenhängt.

Betrachtet man die dargestellten Aspekte zum multimedialen Lernen unter dem in dieser Arbeit eingenommenen Fokus der Wirksamkeit von vorgegebenen Bildern als Verstehenshilfe beim Lesen eines Sachtextes, lässt sich aus der bestehenden Forschungslage zum multimedialen Lernen folgern, dass Bilder unter den beschriebenen Voraussetzungen ein hohes verstehensförderliches Potential besitzen. Es wird jedoch auch deutlich, dass trotz unzähliger empirischer Studien das multimediale Lernen und seine zugrunde liegenden

kognitiven Prozesse weiterer Forschung und Optimierung bedürfen. Vor diesem Hintergrund kann die Aufklärung weiterer Einflussfaktoren auf die Lernwirksamkeit, bezogen auf Merkmale der Lernenden wie die mentale Belastung sowie bezogen auf Aspekte des instruktionalen Designs, einen zusätzlichen Beitrag zur bestehenden Forschungslage erbringen.

1.2 Lernen mit selbst generierten Visualisierungen

“... learner-generated drawing is defined as a strategy in which learners construct drawing(s) to achieve a learning goal.”

(van Meter & Garner, 2005, S. 287)

Beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zu einem Text werden die Lernenden instruiert, die in einem Text verbal kodierten räumlichen Informationen über Gegenstände oder Sachverhalte in eine visuelle Darstellung (kurz: Visualisierung bzw. Bild) umzusetzen. Bei den zu generierenden Bildern handelt es sich, wie beim Lernen mit vorgegebenen Bildern zu einem Text, vor allem um so genannte interpretative, repräsentationale oder funktionale Bilder, die räumliche Beziehungen funktionaler Elemente zueinander bildlich darstellen (vgl. Carney & Levin, 2002): „Representational pictures are those that share a physical resemblance with the thing or concept that the picture stands for” (Alesandrini, 1984, S. 63). Der Prozess der Bildgenerierung wird als strategischer Prozess angesehen, der zielgerichtet ist, der dazu dient, Wissen zu organisieren, und der bei adäquater Ausführung den Wissenserwerb verbessern kann (van Meter & Garner, 2005). Van Meter (2001) geht davon aus, dass der Prozess der Bildgenerierung die dem Wissenserwerb zugrunde liegenden kognitiven Prozesse steuern kann. Da Lernstrategien allgemein als Verhaltensweisen und Kognitionen definiert werden, die der Lernende während des Lernens mit dem Ziel einsetzt, den Erwerb von Wissen und Verständnis zu beeinflussen (Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000; Klauer, 2000), kann das Generieren von Visualisierungen zu einem Text mit dem Ziel, den Text zu verstehen, in diesem Sinne als Lernstrategie definiert werden. Im Weiteren wird demzufolge in diesem Zusammenhang von der Lernstrategie des selbstständigen Visualisierens bzw. vom Lernen mit selbst generierten Visualisierungen gesprochen.

Die Strategie des selbstständigen Visualisierens wird im Folgenden zunächst in den Kontext der allgemeinen Modelle des selbstregulierten Lernens eingeordnet, die betonen, dass eine aktive Verarbeitung von Lernmaterialien lernförderlich ist (z. B. Boekaerts, 1999; Schreiber, 1989; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000; Zimmerman, 2000). Anschließend werden die dem selbstständigen Visualisieren zugrunde liegenden Informationsverarbeitungsprozesse spezifischer anhand der von van Meter und Garner (2005) aufgestellten *Generative Theory of Drawing Construction* beschrieben. Im Hinblick auf die zentrale Thematik dieser Arbeit - inwiefern vorgegebene sowie selbst generierte Visualisierungen als eine geeignete Verstehenshilfe beim Lesen eines Sachtextes dienen können - werden dann anhand der bestehenden Forschungslage verschiedene Faktoren herausgearbeitet, die die Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen beeinflussen können. Abschließend werden Maßnahmen zur instruktionalen Gestaltung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen erläutert und im Hinblick auf offene Forschungsfragen diskutiert.

Allgemeine Modelle des selbstregulierten Lernens

Im Einklang mit Wittrocks *Generative Theory of Learning* (1990) betrachten die Modelle des selbstregulierten Lernens (SRL) den Lernenden als aktiven und konstruktiven Gestalter seines Lernprozesses, der die relevanten zu lernenden Informationen selbstständig selektieren, organisieren und integrieren muss (z. B. Boekaerts, 1997, 1999; Schiefele & Pekrun, 1996; Schmitz, 2001; Schreiber, 1998; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman, 2001; für einen Überblick siehe Leopold, 2009; Niegemann et al, 2008). Um diese Prozesse der Informationsverarbeitung selbstständig zu bewältigen, bedient sich der selbstregulierte Lerner eines Repertoires an Lernstrategien. Dabei sind Lernstrategien aus kognitionspsychologischer Sicht definiert als Verhaltensweisen und Kognitionen, die darauf ausgerichtet sind, den Erwerb von Wissen und Verständnis zu beeinflussen, das heißt vom Lernenden aktiv zum Wissenserwerb eingesetzt werden (vgl. Weinstein & Mayer, 1986). Um die Strategie des selbstständigen Visualisierens in den Kontext der Lernstrategieforschung besser einzuordnen, wird im Folgenden auf eine in der Literatur verbreitete Klassifikation von Lernstrategien eingegangen (vgl. Weinstein & Mayer, 1986), die zwischen metakognitiven und kognitiven Strategien unterscheidet.

Metakognitive Strategien sind nicht auf die unmittelbare Verarbeitung des Lernmaterials gerichtet, sondern auf die Planung, Überwachung und Regulation des Lernprozesses; sie

sind dementsprechend so genannte „übergeordnete Strategien“ (vgl. Klauer, 1985; Pintrich, 1989; Schreiber, 1998; Weinstein & Mayer, 1986). Beim Lesen eines Textes können metakognitive Strategien dazu dienen, das eigene Textverstehen zu überwachen. Wenn z. B. ein Lernender beim Lesen eines schwierigen Textes feststellt, dass er eigentlich gar nicht weiß, wovon der Text handelt, wird deutlich, dass die Lesetätigkeit auf irgendeine Art und Weise kontrolliert und überwacht wird. Die so wahrgenommenen Verständnisinkonsistenzen können dann durch die Planung und Ausführung kognitiver („untergeordneter“) Strategien ausgeglichen werden. Dieser interne metakognitive Feedbackprozess (vgl. Butler & Winne, 1995; Zimmerman, 2001) ist demzufolge entscheidend dafür, ob der Lernende das angestrebte Lernziel erreicht, und hat deshalb auch Auswirkungen darauf, ob sich der erwünschte Lernerfolg einstellt (vgl. Schreiber, 1998; Leutner & Leopold, 2003a, b; Leutner & Leopold, 2004, 2006).

Unter *kognitiven Strategien* werden Informationsverarbeitungsstrategien verstanden, die der unmittelbaren Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen dienen (vgl. Wild, 2000). Die kognitiven Strategien lassen sich weiter ausdifferenzieren in so genannte oberflächenorientierte Strategien, wie z. B. Wiederholungsstrategien, und tiefenorientierte Strategien, wie z. B. Organisationsstrategien, Elaborationsstrategien und Wissensnutzungsstrategien. Diese spezifischen Lernstrategien sind nach Weinstein und Mayer (1986) nicht für alle Lernsituationen und Lernaufgaben in gleichem Maße effektiv, sondern je nach Lernsituation und Lernaufgabe mehr oder weniger relevant. Weniger komplexe Inhalte können so z. B. durch den Einsatz einer Wiederholungsstrategie wie dem wiederholten Lesen besser behalten werden. Das Behalten komplexerer Inhalte kann hingegen besser durch den Einsatz von Elaborationsstrategien, wie z. B. dem Suchen praktischer Beispiele oder der Formulierung des Gelernten in eigenen Worten, sowie Organisationsstrategien, wie z. B. dem Schreiben von Zusammenfassungen bzw. Notizen oder dem Markieren wichtiger Informationen, gefördert werden (vgl. Leopold, 2009; Streblow, 2004). Organisationsstrategien dienen der Strukturierung der zu lernenden Informationen untereinander, das heißt der horizontalen Informationsverarbeitung. Elaborationsstrategien dienen der Integration der neu zu lernenden Informationen in das vorhandene Wissen, das heißt der vertikalen Informationsverarbeitung (vgl. Schnotz & Bannert, 2003; Weinstein & Mayer, 1986).

Die Strategie des selbstständigen Visualisierens ist gemäß dieser Differenzierung eine tiefenorientierte kognitive Strategie. Sie hat sowohl eine organisierende als auch integrieren-

de Funktion, denn im Gegensatz zum Schreiben verbaler Notizen zu einem Text muss der Lernende beim Generieren eines Bildes zu einem Text die einzelnen Textinformationen nicht nur sequentiell, sondern in ihrer globalen Gesamtstruktur abbilden. So muss der Lernende, um anhand eines einzigen Bildes den gesamten Sachverhalt eines Textes bzw. Textabschnittes abzubilden, den Inhalt des Textes in seiner gesamten Struktur betrachten, das heißt er wird förmlich zur Erstellung einer kohärenten Wissensstruktur gezwungen (Seufert, Zander & Brünken, 2007). Das selbstständige Visualisieren befindet sich demnach an der Schnittstelle zwischen Organisations- und Elaborationsstrategien.

Die Generative Theory of Drawing Construction (GTDC)

Um die zentralen Prozesse des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen zu beschreiben, haben van Meter und Garner (2005) die *Generative Theory of Drawing Construction* (kurz: GTDC) entwickelt. Hierbei wurden die von Mayer (2001, 2005) ursprünglich zur Erklärung der zugrundeliegenden Prozesse beim multimedialen Lernen aufgestellten kognitiven Prozesse der Selektion, Organisation und Integration auf den Prozess der Bildgenerierung übertragen und entsprechend modifiziert. Die GTDC basiert ebenfalls auf der Dualen Kodierungstheorie von Paivio (1986). Wie in der CTML wird auch in der GTDC angenommen, dass die drei kognitiven Prozesse nicht linear ablaufen und ihr adäquater Ablauf die Voraussetzung für das Auftreten verstehenden Lernens ist (van Meter & Garner, 2005). Die wesentlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Theorien werden im Folgenden anhand dieser drei kognitiven Prozesse erläutert (siehe Abbildung 1.6):

- (a) *Selektion relevanter Informationen*: Generell gilt auch bei der Bildgenerierung, dass der Lernende aufgrund seiner begrenzten Arbeitsgedächtniskapazität diese Auswahl aktiv und nicht unwillkürlich steuern sollte, indem er nur die relevanten Wörter selegiert. Im Gegensatz zum Lernen aus einer vorgegebenen Text-Bildkombination können die relevanten Informationen jedoch nur aus einer Quelle - dem präsentierten Text - selegiert werden. Umso bedeutsamer erscheint es demnach, dass der zu bearbeitende Text klar formuliert ist und möglichst eindeutige Erklärungen und Anweisungen zur Konstruktion mentaler Modelle enthält (vgl. Dutke, 1998; Hall, Bailey & Tillman, 1997; Johnson-Laird, 1981; Levin & Mayer, 1993).

- (b) *Organisation der ausgewählten Informationen:* Um ein kohärentes verbales Modell im Arbeitsgedächtnis zu erstellen, muss der Lernende Verbindungen zwischen den aus dem Text selektierten Wörtern herstellen. Auch bei diesem Prozess unterliegt der Lernende den Kapazitätsgrenzen des Arbeitsgedächtnisses, das heißt er muss zur Erstellung des kohärenten verbalen Modells einfache sinnstiftende Verbindungen auswählen. Das auf diese Weise erstellte kohärente verbale Modell bildet unter Integration des bestehenden Vorwissens auch die Basis für die Erstellung eines bildhaften (piktorialen) Modells im Arbeitsgedächtnis, welches wiederum für die Erstellung des externalen Bildes (die Zeichnung) notwendig ist. An dieser Stelle wird zum einen deutlich, dass der Text nicht nur eine bedeutende Rolle bei der Erstellung des verbalen Modells einnimmt, sondern auch bei der Erzeugung des bildhaften Modells. Zum anderen wird deutlich, dass das bestehende inhaltspezifische Vorwissen entscheidend ist. So kann der Lernende für die Erstellung des bildhaften Modells bereits bestehende referentielle Verknüpfungen verwenden, um relevante Bildelemente aus dem Vorwissen abzurufen. Sollte der Lernende jedoch kein Vorwissen besitzen, ist der Text die einzige Basis bei der Bildgenerierung. Van Meter und Garner (2005) verweisen in diesem Zusammenhang darauf, „... that a learner’s prior knowledge acts as a critical, and as yet unexplored, support when using the learner-generated drawing strategy. Further research is needed to consider exactly how this prior knowledge may function as a support when learners draw” (van Meter & Garner, 2005, S. 318). Darüber hinaus muss der beschriebene Organisationsprozess nicht linear verlaufen. So kann der Lernende, wenn er z. B. Schwierigkeiten bei der Erstellung des bildhaften mentalen Modells wahrnimmt, immer wieder auf das verbale mentale Modell oder auch den Text selbst zurückgreifen (van Meter, 2001).
- (c) *Integration des verbalen und bildhaften Modells:* Es ist der Prozess der Integration, der sich zwischen den beiden Theorien am stärksten unterscheidet. So wird nach der CTML angenommen, dass bei der Integration zwei voneinander unabhängige Repräsentationen in Form eines verbalen und eines bildhaften Modells zu einem gemeinsamen mentalen Modell integriert werden. Nach der GTDC unterscheidet sich der Prozess der Organisation des bildhaften mentalen Modells jedoch nicht von dem Prozess der Integration des verbalen und bildhaften Modells. Da das verbale Modell nach der GTDC die Basis für das bildhafte Modell darstellt, müssen

diese zwei Repräsentationen miteinander integriert werden, das heißt bei der Bildgenerierung sind die Lernenden demzufolge förmlich dazu gezwungen, referentielle Verknüpfungen zwischen dem verbalen und bildhaften Modell zu erstellen.

Van Meter und Garner (2005; vgl. van Meter, Aleksic, Schwartz & Garner, 2006) sehen in dieser „gezwungenen“ Integration einen potentiellen Vorteil in der Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen gegenüber dem Lernen mit vorgegebenen Text-Bildkombinationen. So verweisen sie auf die Forschungslage zum Lernen mit vorgegebenen Text-Bildkombinationen, die zeigt, dass der Prozess der Integration für Lernende häufig schwierig ist und nicht automatisch ausgeführt wird (z. B. Ainsworth, 1999; de Jong et al., 1998; Seufert, 2003a, 2000b; vgl. auch Abschnitt 1.1). Entsprechend konnten van Meter und Kollegen (2006) zeigen, dass Sechstklässler, die instruiert wurden, ein Bild zu einem Text über die Funktion eines Vogelflügels zu zeichnen, besser in einem anschließenden Problemlösetest abschnitten als Sechstklässler, die mit dem Text und einem vorgegebenem Bild sowie Vergleichsfragen lernten. Allerdings konnte diese Überlegenheit der Zeichenstrategie gegenüber dem Lernen mit vorgegeben Text-Bildkombinationen bisher nur in zwei Studien von van Meter (2001) sowie van Meter und Kollegen (2006) gezeigt werden.

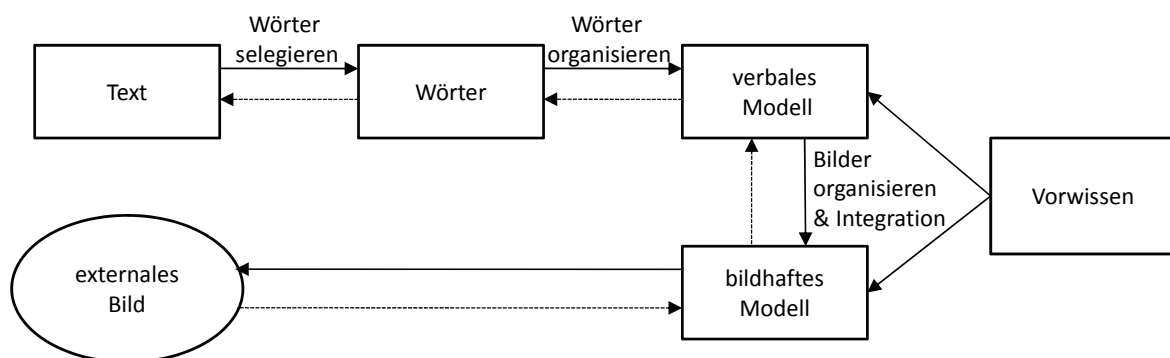


Abbildung 1.6: Modell der Generative Theory of Drawing Construction nach van Meter & Garner (2005); eigene Darstellung

Vergleicht man nun die GTDC mit der CTML, lässt sich zusammenfassend sagen, dass beide die Lernwirksamkeit von Bildern, ob vorgegeben oder selbst generiert, beim Lesen eines Sachtextes vor allem darauf zurückführen, dass Lernende im Vergleich zum alleinigen Lesen eines Sachtextes eine doppelt kodierte Repräsentation des dargestellten Sachverhaltes aufbauen. Nach van Meter und Garner (2005) hat das Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zudem den Vorteil, dass die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse, vor allem der Integrationsprozess, stärker aktiviert werden als beim alleinigen Lernen mit einem Text bzw. als beim multimedialen Lernen.

Darüber hinaus postulieren van Meter und Garner (2005) in ihrer Theorie noch einen zusätzlichen Aspekt des selbstständigen Visualisierens, der im Zusammenhang mit dem nicht linearen Ablauf der angenommen kognitiven Prozesse steht: „Attempts at constructing the nonverbal representation can send learners back to either the verbal representation or the text as difficulties building the internal image are encountered“ (van Meter & Garner, 2005, S. 317). Beim Zeichnen eines Bildes zu einem Text werden demnach metakognitive Prozesse der Überwachung automatisch aktiviert, die sich lernförderlich auswirken können. Einen empirischen Beleg dieser Annahme bietet die Studie von van Meter (2001), in der Schüler, die instruiert wurden, ein Bild zu einem Text zu zeichnen, signifikant mehr Selbstüberwachungs- und Revisionsstrategien anwandten als die Schüler einer Kontrollbedingung, die mit einer vorgegeben Text-Bild Kombination lernten. Leopold und Leutner (2002; vgl. Leopold, 2009) konnten entsprechend zeigen, dass bei Elftklässlern eine statistisch bedeutsame Korrelation von $r = .56$ zwischen dem spontanen Einsatz des Visualisierens bildlicher Vorstellungen beim Lesen eines Sachtextes und der im Anschluss erfassten Leistung in einem Verständnistest zum zuvor gelesenen Text besteht, und dass diese spontanen Visualisierer auch einen häufigeren Einsatz von metakognitiven Strategien berichten. Das selbstständige Visualisieren ist demnach eine kognitive Strategie mit einer organisierenden sowie integrierenden Funktion, die darüber hinaus das Potential besitzt, metakognitive Strategien anzuregen. Ob und inwiefern die theoretisch begründeten Vorteile des selbstständigen Visualisierens empirisch fundiert werden konnten, wird im Folgenden erläutert.

Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen

Fasst man die zentralen Aussagen der Theorien zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zusammen, kann man schließen, dass die Lernwirksamkeit der Lernstrategie des

selbstständigen Visualisierens zu einem Text vor allem darauf zurückgeführt wird, dass Lernende im Vergleich zum alleinigen Lesen eines Sachtextes eine doppelt kodierte Repräsentation des dargestellten Sachverhaltes aufbauen und dass kognitive Prozesse, insbesondere die Integration, sowie metakognitive Prozesse verstärkt angeregt werden (van Meter & Garner, 2005). Entsprechend konnte in einer Reihe von Studien die Wirksamkeit von selbst generierten Visualisierungen auf den Lernerfolg beim Lernen mit einem Sachtext belegt werden (z. B. Alesandrini, 1981; Lesgold, DeGood & Levin, 1977; Lesgold, Levin, Shimron & Guttman, 1975; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006; für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005; vgl. auch den Abschnitt *literature review* in Kapitel 3).

Allerdings zeigt der Forschungsstand, dass Lernende nicht immer von der Lernstrategie des selbstständigen Visualisierens zu einem Text profitieren (Leutner, Leopold & Sumfleth, 2009; Rasco, Tennyson & Boutwell, 1975; Tirre, Manelis & Leicht, 1979; für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005; vgl. auch Kapitel 2 & 3). Die bisherigen Ergebnisse der Forschung zum selbstständigen Visualisieren weisen hierbei im Wesentlichen auf (1) die Qualität der selbst generierten Bilder sowie auf (2) die kognitive Belastung als potentielle Einflussfaktoren auf die Lernwirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen hin.

(1) *Qualität der selbst generierten Bilder*

Im Vergleich zum Lernen mit vorgegebenen Bildern ist die Qualität der Bilder beim Lernen mit selbstständig generierten Bildern nicht durch das Lernmaterial als konstant vorgegeben, sondern kann zwischen den Lernenden variieren. Somit spielt die Qualität der Bilder eine wichtige Rolle für den Lernerfolg. Ihre lernförderliche Wirkung hängt im Wesentlichen davon ab, ob Lernende durch die Instruktion zum selbstständigen Generieren von Bildern die relevanten Elemente und Relationen der im Text beschriebenen Sachverhalte stärker wahrnehmen und auch stärker aufeinander beziehen (Schnotz & Lowe, 2003; Stern, Aprea & Ebner, 2003) und so eine kohärentere interne (mentale) Repräsentation des Sachverhalts konstruieren (Levin & Mayer, 1993; vgl. auch van Meter & Garner, 2005), welche wiederum eine Voraussetzung für tieferes Verstehen ist. Van Meter und Garner (2005) sprechen in diesem Zusammenhang von der so genannten „drawing accuracy“, welche sie definieren als „the degree to which completed drawings resemble the represented object(s)“ (van Meter & Garner, 2005, S. 299). Wenn im Folgenden von Qualität oder Akkuratheit eines Bildes gesprochen wird, ist

demzufolge das Ausmaß gemeint, in dem die einzelnen Komponenten eines Bildes so angeordnet sind, wie es im Text beschrieben ist.

Verschiedene empirische Studien konnten entsprechend belegen, dass die Akkuratheit der selbst generierten Bilder positiv mit dem späteren Lernerfolg zusammenhängt (vgl. Greene, 1989; Hall et al., 1997; Lesgold et al., 1975, 1977; Stern et al., 2003; van Meter, 2001; für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005). So konnten z. B. Hall und Kollegen (1997) bei College-Studenten zeigen, dass in Abhängigkeit von der Qualität der gezeichneten Bilder die Zeichengruppe eine höhere Transferleistung als die Kontrollgruppe zeigte, die nur mit dem Text lernte, wohingegen die Zeichengruppe keine höhere Leistung als eine Gruppe zeigte, die den Text mit vorgegebenen Bildern bearbeitete. Hierbei zeigte sich ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang von $r = .61$ zwischen der Qualität der selbst gezeichneten Bilder und dem späteren Lernerfolg in einem Problemlösetest. Auch Stern und Kollegen (2003) untersuchten, welchen Einfluss das Konstruieren von Diagrammen auf den Verständniserwerb bei Studenten hat. Es zeigte sich, dass die Transferleistungen umso besser ausfielen, je besser die Qualität der konstruierten Diagramme war. Van Meter und Garner (2001) konnten ebenfalls zeigen, dass Schüler bessere Lernergebnisse erzielten, wenn sie die in einem Text beschriebenen Sachverhalte akkurat darstellen konnten.

Obwohl sich der Zusammenhang zwischen dem Lernerfolg und der Qualität der selbst generierten Bilder in einigen Studien zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zeigt, bedeutet dies nicht, dass die Instruktion zum selbstständigen Generieren von Visualisierungen an sich bereits lernförderlich ist (Lesgold et al., 1975; van Meter et al., 2006; van Essen & Hamaker, 1990; für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005). So zeigen die Ergebnisse von van Meter und Kollegen (2006) z. B., dass Sechstklässler von einer Instruktion zum Zeichnen profitierten, nicht jedoch Viertklässler. Auch bei Lesgold und Kollegen (1975) profitierten Erstklässler nicht von der Visualisierungsaufforderung, wobei sich ein Zusammenhang von $r = .57$ zwischen der Qualität selbst konstruierter Visualisierungen und den Lernergebnissen (*free recall* einer Geschichte) ergibt. Die Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen hängt demzufolge von der Fähigkeit der Lernenden ab, qualitativ gute Visualisierungen zu erstellen.

(2) *Kognitive Belastung*

Wie beschrieben sind Lernende beim selbstständigen Generieren von Visualisierungen zu einem Sachtext förmlich dazu „gezwungen“, aktiv relevante Informationen aus dem Text zu selektieren, in einem verbalen und einem piktorialen Kanal zu organisieren und zu integrieren und darüber hinaus verstärkt metakognitive Prozesse einzusetzen. Diese verstärkte Aktivierung kognitiver und metakognitiver Prozesse kann auf der einen Seite zu einem tieferen Verständnis führen, auf der anderen Seite bedeutet sie auch eine zusätzliche kognitive Belastung, die sich aufgrund der begrenzten Arbeitsgedächtniskapazität negativ auf den Lernerfolg auswirken kann (vgl. Sweller, 1999, 2005; Chandler & Sweller, 1991; Sweller et al., 1998). Einen ersten empirischen Beleg können hierbei Leutner und Kollegen (2009) liefern: In einer Untersuchung zum Lernen mit Visualisierungen zeigten sie, dass die Instruktion zum Zeichnen von Bildern zu einem naturwissenschaftlichen Sachtext sich negativ auf das Textverständnis auswirkt und dass dieser negative Effekt über eine erhöhte kognitive Belastung der Lernenden vermittelt wird. Die Instruktion, dieselben Inhalte nicht zu zeichnen, sondern lediglich mental zu visualisieren (*mental imagery strategy*), führte hingegen zu einer als geringer empfundenen kognitiven Belastung sowie zu einer Förderung des verstehenden Lernens. Dieser Unterschied in der kognitiven Belastung und entsprechend im Lernerfolg zwischen dem Generieren von Visualisierungen und dem mentalen Vorstellen von Visualisierungen gibt einen Hinweis darauf, dass scheinbar der Zeichenprozess selbst zu einer erhöhten kognitiven Belastung führt (siehe Abbildung 1.6). Leutner und Kollegen (2009) interpretieren ihre Ergebnisse entsprechend: „Drawing a picture, when reading an expository text, requires to switch back and forth between text and picture in order to search for further text information that can be or has to be visualized in the picture. This repeated switching between text and picture, however, requires cognitive resources at the expense of those cognitive processes that can lead to better comprehension and better learning. On the other hand, those highly automated cognitive processes of mentally visualizing text information while reading a text do not seem to take off cognitive resources that can be better used for comprehension and learning” (Leutner et al., 2009, S. 289).

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, dass beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen sicherzustellen ist, dass Lernende die kognitiven Verarbeitungspro-

zesse qualitativ gut ausführen und so ein adäquates, qualitativ gutes mentales Modell und ein adäquates, qualitativ gutes externes Bild des Sachverhalts generieren, ohne sich dabei kognitiv zu überlasten. Die dargestellten empirischen Befunde, wenn auch in ihrer Anzahl begrenzt, legen jedoch nahe, dass Lernende nicht notwendig selbst in der Lage, sind qualitativ gute Bilder zu generieren, und dass der Prozess der Bildgenerierung kognitiv belastend ist. Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen erscheint demzufolge notwendig, um das verstehensförderliche Potential dieser Strategie ausschöpfen zu können. Im Gegensatz zum multimedialen Lernen ist die Forschungslage zur instruktionalen Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen jedoch sehr begrenzt. Allerdings lässt sich die Art der Unterstützung anhand des Zeitpunktes innerhalb des Visualisierungsprozesses wie in Abbildung 1.7 dargestellt klassifizieren.

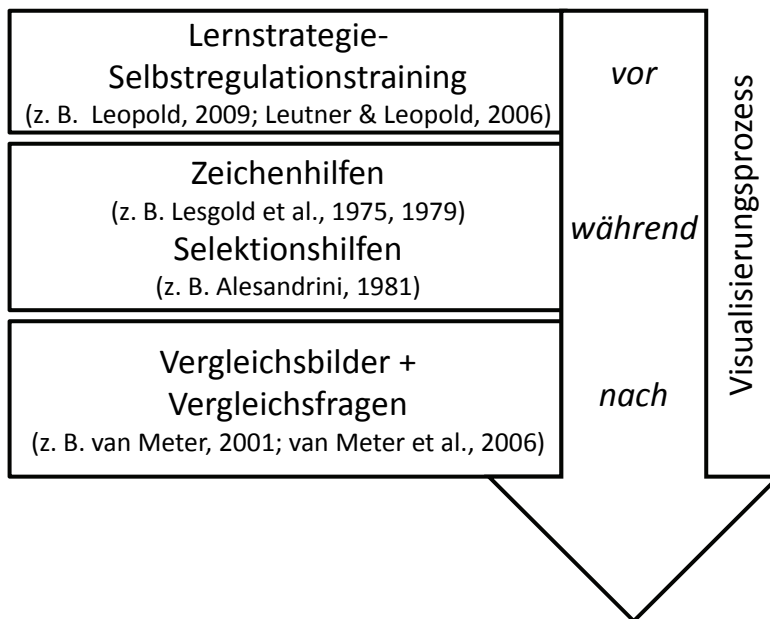


Abbildung 1.7: Arten der Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen

So können die Lernenden zum einen *vor* dem eigentlichen Generierungsprozess (= Zeichenprozess) unterstützt werden. Abgeleitet aus der Forschung zum selbstregulierten Lernen bieten so genannte kombinierte Lernstrategie-Selbstregulationstrainings eine mögliche Methode zur Unterstützung (Leutner & Leopold, 2006). Der Lernerfolg soll hierbei gesteigert werden, indem ein pures Lernstrategietraining mit einem Selbstregulationstraining kombiniert wird, so dass die Lernenden die Ausführung der kognitiven Lernstrategie meta-

kognitiv überwachen und steuern. Dahinter steht die Idee, dass das alleinige Training einer kognitiven Strategie nicht zwangsläufig dazu führt, dass der Lernende diese Strategie auch qualitativ gut und zielführend ausführt. Verschiedene Studien konnten entsprechend zeigen, dass ein kombiniertes qualitätsorientiertes Lernstrategie-Selbstregulationstraining zu besseren Lernergebnissen führt als ein einfaches Lernstrategietraining oder überhaupt kein Training (Leopold & Leutner, 2004; Leutner, Barthel & Schreiber, 2001; Leutner & Leopold, 2003b, 2006; Schreiber, 1998). Bezogen auf die Lernstrategie des selbstständigen Visualisierens konnte Leopold (2009) sowohl eine Überlegenheit eines kombinierten Visualisierungstrainings ($d = .58$) als auch eine Überlegenheit eines einfachen Visualisierungstrainings ($d = .55$) gegenüber einer Kontrollgruppe, die keine spezifische Strategieinstruktion erhielt, auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes aufzeigen. Es zeigte sich hierbei kein Lernvorteil für das kombinierte Visualisierungs-Selbstregulationstraining im Vergleich zum einfachen Visualisierungstraining. In einer anschließenden Messung der Behaltensleistung (ca. 3 Monate nach der ersten Erhebung) konnte jedoch die Überlegenheit der Visualisierungsgruppe mit Selbstregulation gegenüber der Gruppe ohne Selbstregulation und auch gegenüber der Kontrollgruppe nachgewiesen werden, wohingegen das einfache Visualisierungstraining genau so gut wie die Kontrollbedingung abschnitt. Das kombinierte Visualisierungs-Selbstregulationstraining hatte demzufolge sowohl eine verstehens- als auch eine behaltensförderliche Wirkung.

Eine weitere Art der instruktionalen Unterstützung bietet sich darin, dass Lernende auch *während* des eigentlichen Zeichenprozesses unterstützt werden können. Hierbei bietet die Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zwei mögliche Ansätze. Zum einen konnte Alesandrini (1981) zeigen, dass es lernwirksam ist, die Lernenden bei der Selektion relevanter Textelemente während des Visualisierungsprozesses zu unterstützen. So zeigte sie, dass Lernende, die zusätzlich zur Instruktion, ein Bild zu einem Text zu zeichnen, die Instruktion erhielten, bei der Betrachtung des Textes holistisch vorzugehen, besser in einem anschließenden Lernerfolgstest abschnitten als die Lernenden, die nur die Zeicheninstruktion bzw. die Zeicheninstruktion sowie die Instruktion, analytisch vorzugehen, erhielten. Zum anderen konnten Lesgold und Kollegen (1975, 1977) in einer Serie von Studien zeigen, dass Lernende beim Hören eines Textes durch externe instruktionale Hilfen in Form von vorgegebenen Bildkärtchen in ihrem Textbehalten profitieren können. Zusammengefasst weisen diese Befunde darauf hin, dass die Lernenden während des Bildgenerierungsprozesses sowohl bei der Auswahl relevanter Elemente und inhaltlicher Zu-

sammenhänge aus dem Text als auch direkt bei der Bildgenerierung instruktional unterstützt werden können. Allerdings ist einschränkend zu sagen, dass auch hier die Forschungslage mit nur wenigen empirischen Studien nicht ausreichend fundiert ist.

Eine dritte Art, die Lernenden beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen instruktional zu unterstützen, besteht darin, sie *nach* dem eigentlichen Zeichenprozess zu unterstützen. Van Meter (2001; vgl. auch van Meter et al., 2006) konnte diesbezüglich zeigen, dass die Rückmeldungen über die Qualität der selbst generierten Visualisierungen anhand der Präsentation eines adäquaten Vergleichsbildes nach dem Zeichenprozess lernförderlich sein kann. Die Lernenden erhielten in dieser Studie einen Text zur Funktionsweise eines Vogelflügels, zu dem sie eine Zeichnung erstellen sollten, die sie dann mit einer vorgegebenen Zeichnung vergleichen sollten. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Präsentation von Vergleichsfragen, die die Lernenden anregen sollten, ihr eigenes Bild mit dem Vergleichsbild zu vergleichen, den Lernerfolg zusätzlich steigern konnte. Entsprechend gaben die Lernenden, die mit Vergleichsbildern und Vergleichsfragen lernten, einen höheren Einsatz metakognitiver Strategien der Überwachung an als Lernende, die nur zeichneten bzw. zusätzlich Vergleichsbilder erhielten. Diese von van Meter vorgestellte Art der instruktionalen Unterstützung des Visualisierungsprozess kann als eine Kombination des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen und vorgegebenen Visualisierungen interpretiert werden. Indem die Lernenden zunächst die Strategie des selbstständigen Visualisierens anwenden, werden die in der GTDC (van Meter & Garner, 2005) beschriebenen verstehensförderlichen Effekte wie die verstärkte Förderung des Integrationsprozesses genutzt. Die lernförderliche Wirkung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen hängt jedoch davon ab, dass die Lernenden in der Lage sind, qualitativ gute Bilder zu erstellen. Die Darbietung eines qualitativ guten Bildes zum Text (im Sinne des multimedialen Lernens) soll daher die Lernenden anregen, ihr eigenes Bild unter Nutzung metakognitiver Verarbeitungsprozesse mit dem Vergleichsbild in Relation zu bringen. Auf diese Weise können zunächst fehlerhaft generierte Bilder korrigiert werden (vgl. Butler & Winne, 1995; Winne & Hadwin, 1998; Winne & Perry, 2000). Die so initiierte metakognitive Kontrolle kann sich, wenn die Lernenden das Vergleichsbild adäquat verarbeiten und die notwendigen Vergleichsprozesse durchführen (vgl. Ainsworth, 1999; Seufert, 2003a, b), positiv auf das tiefe Verstehen des zu lernenden Sachverhaltens auswirken. Allerdings ist die Forschungslage mit lediglich zwei empirischen Studien (vgl. van Meter, 2001; van Meter et al., 2006) nicht ausreichend fundiert. Zudem ist ungeklärt, inwieweit die Darbietung des Vergleichs-

bildes vor dem Hintergrund der CLT nicht auch als zusätzliche kognitive Belastung interpretiert werden kann, die sich negativ auf das Verständnis auswirkt. So könnte z. B. die zusätzliche Darbietung eines Bildes bei einem Lernenden, der selbst nicht in der Lage ist, ein qualitativ gutes Bild zu erstellen, zu einer gesteigerten Element-Interaktivität und somit zu einem erhöhten Intrinsic Cognitive Load führen (vgl. Carlson, Chandler & Sweller, 2003; Sweller, 2005; Sweller et al., 1998). Für einen Lernenden, der hingegen selbst in der Lage ist, ein qualitativ gutes Bild zu erstellen, könnte die zusätzliche Darbietung eines Bildes wiederum redundante Information darstellen und somit zu einem erhöhten Extraneous Cognitive Load führen (vgl. Kalyuga et al., 1998, 2000, 2003). Weitere Forschung zur Klärung der potenziellen Vor- und Nachteile dieser Art der instruktionalen Unterstützung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen ist daher notwendig.

Betrachtet man die dargestellten Aspekte zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen unter dem in dieser Arbeit betrachteten Fokus der Wirksamkeit von selbst generierten Visualisierungen als Verstehenshilfe beim Lesen eines Sachtextes, lässt sich aus der bisherigen Forschungslage folgendes schließen: Wenn Lernende zur Generierung einer qualitativ guten und sachlich richtigen Visualisierung angeleitet werden, ohne sich dabei kognitiv zu überlasten, besitzen selbst generierte Visualisierungen ein hohes verstehensförderliches Potential. Es wird jedoch auch deutlich, dass die Forschungslage bisher sehr begrenzt ist. Eine weitere empirische Fundierung der generellen Lernwirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen sowie der Rolle der mentalen Belastung als auch der Qualität der selbst generierten Bilder erscheint notwendig. Des Weiteren sollten Aspekte des instruktionalen Designs wie die instruktionale Unterstützung differenzierter untersucht werden.

1.3 Struktur und zentrale Forschungsfragen der Arbeit

In den folgenden Kapiteln dieser Arbeit werden vier empirische Studien² zum Lernen mit vorgegebenen sowie selbst generierten Visualisierungen zu einem naturwissenschaftlichen Sachtext vorgestellt und anschließend in einem weiteren Kapitel zusammenfassend diskutiert:

² Die Darstellung der Studien basiert auf eingereichten Manuskripten in nationalen und internationalen Fachzeitschriften, so dass die in Kapitel 2 dargestellten Studien in deutscher Sprache und die in Kapitel 3 und 4 beschriebenen Studien in englischer Sprache verfasst sind.

Im zweiten Kapitel werden zwei papierbasierte Studien zum Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext vorgestellt. Dazu wird die Lernwirksamkeit beider Arten des Einsatzes von Visualisierungen als Textverstehenshilfe in einer ersten Studie unter fixierter Lernzeit sowie in einer zweiten Studie unter lerner-bestimmter Lernzeit überprüft.

- Erstens ist es das Ziel dieser beiden Studien, Aussagen über die generelle *Lernwirksamkeit beider Einsatzarten von Visualisierungen* als Textverstehenshilfe treffen zu können.
- Zweitens sollen die aus der Forschung zum selbstständigen Visualisieren bekannten potentiell lernförderlichen Effekte der instruktionalen Unterstützung *während* sowie *nach* dem Generierungsprozess überprüft werden. Hierbei soll zum einen die Wirksamkeit einer *baseline*-Unterstützung in Form vorgegebener Bildelemente sowie Zeichenhintergründe untersucht werden. Zum anderen soll untersucht werden, ob die Kombination beider Einsatzarten von Visualisierungen einen zusätzlichen positiven Effekt auf das Textverstehen hat oder ob sich die Vor- und Nachteile beider Einsatzarten von Visualisierungen kompensieren.
- Drittens soll vor dem Hintergrund einer optimalen instruktionalen Gestaltung die *Rolle der Lernzeit* beim Lernen mit vorgegebenen sowie selbst generierten Visualisierungen untersucht werden. So müssen Lernende beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Text die kognitiven Prozesse des Selegierens, Organisierens und Integrierens anwenden, um ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes aufzubauen. Beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen müssen die Lernenden neben diesen kognitiven Verarbeitungsprozessen zudem die motorischen Prozesse der Bildgenerierung durchführen um ein kohärentes mentales sowie externes Modell (die Zeichnung) des zu lernenden Sachverhaltes aufzubauen. Da der Prozess des Generierens von Visualisierungen Zeit kostet, stellt sich daher die Frage, welchen Einfluss die Lernzeit auf die Lernwirksamkeit beider Einsatzarten von Visualisierungen hat.

Im dritten Kapitel wird eine papierbasierte Studie zum Einsatz von selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext vorgestellt.

- Resultierend aus den Ergebnissen der beiden vorangegangenen Studien sowie der bestehenden Forschungslage zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen ist das Ziel dieser Studie erstens, erneut die *Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen* zu einem Sachtext gegenüber einer Kontrollgruppe, die nur mit einem Sachtext lernt, zu überprüfen.
- Zweitens wird untersucht, inwiefern durch eine Variation der *Art der instruktionalen Unterstützung* der Prozesse der Bildgenerierung die Lernwirksamkeit gefördert werden kann. Hierbei soll zusätzlich zu der bereits in den ersten beiden Studien eingesetzten *baseline*-Unterstützung untersucht werden, ob die Instruktionen zum Einsatz der Lernstrategie des Text-Highlightings sowie des Mental Imagery einen zusätzlichen positiven Effekt auf das Textverstehen haben.
- Drittens wird überprüft, inwiefern der Erfolg des selbstständigen Generierens von Visualisierungen ein Prädiktor für den späteren Lernerfolg sein kann. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Untersuchung der Rolle der *Qualität der selbst generierten Visualisierungen*.

Im vierten Kapitel wird eine Studie zum Lernen mit vorgegebenen und selbst generierten Visualisierungen als Textverstehenshilfe aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext innerhalb einer computerbasierten Lernumgebung vorgestellt.

- Ziel dieser computerbasierten Studie ist es erstens, Aussagen über die generelle *Lernwirksamkeit beider Einsatzarten von Visualisierungen* als Textverstehenshilfe innerhalb einer *computerbasierten* Lernumgebung treffen zu können.
- Zweitens soll der Nutzen verschiedener Arten der *instruktionalen Unterstützung* des Generierungsprozesses innerhalb einer *computerbasierten* Lernumgebung überprüft werden. Hierbei soll sowohl die Wirksamkeit der *baseline*-Unterstützung in Form vorgegebener Bildelemente sowie Zeichenhintergründe als auch die Wirksamkeit der Kombination beider Einsatzarten von Visualisierungen untersucht werden.
- Drittens sollen über die retrospektive Erfassung der wahrgenommen mentalen Anstrengung während der Lernphase (*mental effort*) sowie der wahrgenommen Schwierigkeit des Lernmaterials (*perceived difficulty*) Aussagen über den Einfluss beider Einsatzarten von Visualisierungen auf die mentale Belastung ermöglicht werden.

Im fünften und letzten Kapitel dieser Arbeit werden die Ergebnisse der vier Studien diskutiert. Hierbei erfolgt zunächst eine Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der vorgestellten Studien. Daran anschließend werden diese Ergebnisse vor dem Hintergrund möglicher theoretischer und praktischer Erträge sowie zukünftiger Forschungsfragen diskutiert.

Zusammenfassend werden in dieser Arbeit folgende zentrale Forschungsfragen behandelt:

- (1) Sind vorgegebene Visualisierungen eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext, das heißt welchen Einfluss hat das Hinzufügen von Visualisierungen zu einem Sachtext auf:
 - (a) den Lernerfolg?
 - (b) die mentale Belastung?

- (2) Sind selbst generierte Visualisierungen eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext, das heißt welchen Einfluss hat die Instruktion zum selbstständigen Generieren von Visualisierungen zu einem Sachtext auf:
 - (a) den Lernerfolg?
 - (b) die mentale Belastung?

- (3) Welchen Einfluss auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes hat die Gestaltung der Lernzeit (fixiert vorgegeben versus lerner-bestimmt):
 - (a) beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext?
 - (b) beim Lernen mit selbstgenerierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

- (4) Welchen Einfluss auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes hat die Art der instruktionalen Unterstützung beim Lernen mit selbstgenerierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

- (5) Welche Bedeutung hat die Qualität der Visualisierung beim Lernen mit selbstgenerierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

1.4 Literatur

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33, 131-151.
- Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial-verbal and analytic-holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 73, 358-368.
- Alesandrini, K. L. (1984). Pictures and adult learning. *Instructional Science*, 13, 1, 63-77.
- Ayres, P. & Sweller, J. (2005) The split attention principle in multimedia learning. In Mayer R (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 135-145). New York. Cambridge University Press.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation*, (S. 47-89). Academic Press.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Blake, T. (1977). Motion in instructional media: Some subject-display mode interactions. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 975-985.
- Bodemer, D. (2004). *Unterstützung multimedialen Lernens: Instruktionsdesign zur Förderung der Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten und dynamisch-interaktiven Bildern*. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg [<http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/1438/>].
- Bodemer, D., Plötzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualizations. *Learning and Instruction*, 14, 325-342.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7, 161-186.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-457.
- Boekaerts, M., Pintrich, P. R. & Zeidner M. (2000). *Handbook of self-regulation*. San Diego: Academic Press.
- Brody, P. J. (1981). Research on pictures in instructional texts: The need for a broadened perspective. *Educational Communication and Technology Journal*, 29, 93-100.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. (2004) Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects. *Instructional Science*, 32, 115-132.

- Brünken, R., Seufert, T. & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 61-75.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Plass, J. L. & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load within multimedia learning by the dual-task methodology. *Experimental Psychology*, 49, 109-119.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Schnotz, W. & Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 16-27.
- Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995) Feedback and self-regulated learning: a theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65, 245-281
- Camp, G., Paas, F., Rikers, R. M. J. P. & van Merriënboer, J. J. G. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comprehension between performance, mental effort and mental efficiency. *Computers in Human Behavior*, 17, 575-595.
- Carlson, R., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). Learning and understanding science instructional material. *Journal of Educational Psychology*, 95, 629-640.
- Carney, R.N. & Levin, J.R. (2002): Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14, 5-26.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992) The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62, 233-246
- ChanLin, L. J. (2000). Attributes of animation for learning scientific knowledge. *Journal of Instructional Psychology*, 27, 228-238.
- Cohen, A. C. (2005). The influence of spatial ability on the use of dynamic, interactive animation in a spatial problem-solving task. In T. Barkowsky, C. Freksa, M. Hegarty & R. K. Lowe (Hrsg.), *Reasoning with mental and external diagrams: Computational modelling and spatial assistance* (S. 1-5). Stanford, CA: Stanford University.
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68-82.
- Cox, R. & Brna, P. (1995). Supporting the use of external representation in problem solving: the need for flexible learning environments, *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 6, 239-302.
- De Jong, T., Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., et al. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics. The use of multiple representations in technology-based learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. B. A. Boshuizen & T. de Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 9-40). Kidlington, Oxford: Elsevier Science.

- De Westelinck, K., Valcke, M., De Craene, B. & Kirschner, P. (2005). Multimedia learning in social sciences: Limitations of external graphical representations. *Computers in Human Behavior*, 21, 555-573.
- Dutke, S. (1998). Zur Konstruktion von Sachverhaltsrepräsentationen beim Verstehen von Texten. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 45, 42-59.
- Garner, R., Gillingham, M & White, C. (1989). Effects of seductive details on macroprocessing and microprocessing in adults and children. *Cognition and Instruction*, 6, 41-57.
- Garner, R., Alexander, P. A., Gillingham, M. G. & Brown, R. (1991). Interest and learning from text. *American Educational Research Journal*, 28, 643-659.
- Gerjets, P. & Scheiter, K. (2006). Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: Evidence from hypertext-based instruction. *Educational Psychologist*, 38, 33-41.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Schuh, J. (2005). Instruktionale Unterstützung beim Fertigkeitserwerb aus Beispielen in hypertextbasierten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 23-38.
- Gernsbacher, M. A. (1990). *Language comprehension as structure building*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Greene, T. R. (1989). Children's understanding of class inclusion hierarchies: The relationship between external representation and task performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 62-89.
- Hall, V. C., Bailey, J. & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 89, 677-681.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology*, 89, 92-102.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90, 414-434.
- Hays, T. A. (1996). Spatial abilities and the effects of computer animation on short-term and long-term memory in learning from multimedia systems. *Journal of Educational Computing Research*, 14, 139-155.
- Hegarty, M. & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory and Cognition*, 22, 411-430.
- Herrlinger, S., Höffler, T., Opfermann, M. & Leutner, D. (2009). *Learning in primary schools: Multimedia and modality effects*. Paper presented at the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), Amsterdam, Netherlands.
- Höffler, T. N. (2007). *Lernen mit dynamischen Visualisierungen: Metaanalyse und experimentelle Untersuchungen zu einem naturwissenschaftlichen Lerninhalt*. Essen: Uni-

- versität Duisburg-Essen [<http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServer/id=17366>].
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning, 22*, 392-404.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inferences, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press
- Kalyuga, S. (2006). Assessment of learners' organised knowledge structures in adaptive learning environments. *Applied Cognitive Psychology, 20*, 333-342.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist, 38*, 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors, 40*, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology, 92*, 126-136.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology, 93*, 579-588.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review, 85*, 363-394.
- Klauer, K. J. (1985). Framework for a theory of teaching. *Teaching and Teacher Education, 1*, 5-17.
- Klauer, K. J. (2000). Das Huckepack-Theorem asymmetrischen Strategietransfers. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 32*, 153-165.
- Kozma, R. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching, 43*, 949-968.
- Larkin, J. & Simon, H. (1987) Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science, 11*, 65-99.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2005). Interactions among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*, 266-276.
- Lee, H., Plass, J. L. & Homer, B. D. (2006). Optimizing cognitive load for learning from computer-based science simulations. *Journal of Educational Psychology, 98*, 902-913.
- Leopold, C. (2009). *Lernstrategien und Textverstehen*. Münster: Waxmann
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik, 45*. Beiheft, S. 240-258.

- Leopold, C. & Leutner, D. (2004). Selbstreguliertes Lernen und seine Förderung durch prozessorientiertes Training. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 364-376). Münster: Waxmann.
- Lesgold, A. M., DeGood, H. & Levin, J. R. (1977). Pictures and young children's prose learning: A supplementary report. *Journal of Reading Behavior*, 9, 353-360.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J. & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*, 67, 636-642.
- Leutner, D., Barthel, A. & Schreiber, B. (2001). Studierende können lernen, sich selbst zum Lernen zu motivieren. Ein Trainingsexperiment. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 155-167.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003a). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien. Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen mit Sachtexten. *Unterrichtswissenschaft*, 31, 38-56.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003b). Selbstreguliertes Lernen: Lehr-/lerntheoretische Grundlagen. In U. Witthaus, W. Wittwer & C. Espe (Hrsg.), *Selbst gesteuertes Lernen - Theoretische und praktische Zugänge* (S. 43-67). Bielefeld: Bertelsmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2004). Das Trainingsexperiment als Paradigma der Lernstrategieforschung. In: T. Rammsayer, S. Grabianowski & S. Troche (Hrsg.), *44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie vom 26.-30.9* (S. 286), Göttingen. Göttingen: Pabst.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Leutner, D., Leopold, C. & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25, 284-289.
- Levie, W. H. & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communications and Technology Journal*, 30, 195-232.
- Levin, J. R. & Mayer, R. E. (1993). Understanding illustrations in text. In B. K. Britton, A. Woodward & M. Binkley (Hrsg.), *Learning from textbooks: Theory and practice* (S. 95-113). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lorch, R. F. jr. (1995). Integration of topic information during reading. In R. F. Lorch & E. J. O'Brien (Hrsg.), *Sources of coherence in reading* (S. 279-294). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McNamara, D., Kintsch, E., Songer, N. B. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction*, 14, 1-43.

- Mandl, H. & Friedrich, H. F. (Hrsg.). (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology, 81*, 240-246.
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research, 31*, 611-624.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction, 13*, 125-139.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology, 83*, 484-490.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 84*, 444-452.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology, 82*, 715-726.
- Mayer, R. E. & Johnson, C. I. (2008). Revising the redundancy principle in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 100*, 380-386.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review, 14*, 87-99.
- Mayer, R. E. & Sims, V. (1994). For whom is a picture worth a thousands words? *Journal of Educational Psychology, 86*, 389-401.
- Mayer, R. E., Steinhoff, K., Bower, G. & Mars, R. (1995). A generative theory of textbook design: Using annotated illustrations to foster meaningful learning of science text. *Educational Technology Research and Development, 43*, 31-44.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*, 81-97.
- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method affects learning hypothesis. *Journal of Computer Assisted Learning, 22*, 149-158.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology, 91*, 358-368.
- Moreno, R. und Mayer, R. E. (2000). A learner-centered approach to multimedia explanations: Deriving instructional design principles from cognitive theory. [<http://www.imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/printver.asp>].

- Müller-Kalthoff, T. & Möller, J. (2005). Zum Effekt unterschiedlicher Navigationshilfen beim Lernen mit Hypertexten. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 49-60.
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Zobel, A. & Hupfer, M. (2008). *Kompendium Multimediales Lernen*. Berlin: Springer.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Pintrich, P. R. (1989). The dynamic interplay of student motivation and cognition in the college classroom. In C. Ames & M. Maher (Hrsg.), *Advances in motivation and achievement: Motivation enhancing environments* (S. 117-160). Greenwich, CT: JAI Press.
- Pintrich, P. R., Smith, D. A. F., Garcia, T. & McKeachie W. J. (1993). Reliability and predictive validity of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ). *Educational and Psychological Measurement*, 53, 801-813.
- Plass, J. L., Chun, D., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visualizer and verbalizer learning preferences in a second language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology*, 90, 25-36.
- Plötzner, R., Bodemer, D. & Feuerlein, I. (2001). Facilitating the mental integration of multiple sources of information in multimedia learning environments. In C. Montgomerie & J. Viteli (Hrsg.), *Proceedings of the world conference on educational multimedia, hypermedia and telecommunications*. Norfolk, VA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Plötzner, R. & Härder, J. (2001). Unterstützung der Verarbeitung externer Repräsentationen am Beispiel des Lernens mit Hypertexten. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 367-384.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86.
- Rey, G. D. (2009). *E-Learning: Theorien, Gestaltungsempfehlungen und Forschung*. Bern: Huber.
- Salden, R. J. C. M., Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (2006). A comparison of approaches to learning task selection in the training of complex cognitive skills. *Computers in Human Behavior*, 22, 321-333.
- Scanlon, E. (1998). How beginning students use graphs of motion. In M. van Someren, P. Reimann, H. A. P. Boshuizen & T. de Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 67-86). Oxford: Pergamon.
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996): Psychologische Modelle des selbstgesteuerten und fremdgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert (Hrsg.): *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249-278). Göttingen: Hogrefe.
- Schmidt-Weigand, F. (2006). *Dynamic visualizations in multimedia learning: The influence of verbal explanations on visual attention, cognitive load and learning outcome*. Justus Liebig Universität Gießen [<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/2699/>].

- Schmitz, B. (2001): Self-Monitoring zur Unterstützung des Transfers einer Schulung in Selbstregulation für Studierende - Eine prozessanalytische Untersuchung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 15, 181-197.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 4, 293-318.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 65-81). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (2003). Informationsintegration mit Sprache und Bild. In G. Rickheit, W. Deutsch & T. Herrmann (Hrsg.), *Psycholinguistik: Ein internationales Handbuch* (S. 577-587). Berlin: De Gruyter.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 49-70). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46, 217-236.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Schnotz, W. & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13, 117-123.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen*. Münster: Waxmann.
- Seufert, T. (2003a). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 227-237.
- Seufert, T. (2003b). *Wissenserwerb mit multiplen Repräsentationen. Wirksamkeit von Kohärenzbildungshilfen*. Berlin: Logos.
- Seufert, T., Zander, S. & Brünken, R. (2007). Das Generieren von Bildern als Verstehenshilfe beim Lernen aus Texten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39, 33-42.
- Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13, 191-203.
- Stiller, K. (2001): Navigation über Bilder und bimodale Textdarbietung beim computerbasierten Lernen. *Zeitschrift für Medienpsychologie*, 13, 177-187.
- Streblow, L. (2004) Zur Förderung der Lesekompetenz. In U. Schiefele, C. Artelt, W. Schneider & P. Stanat (Hrsg.). *Struktur, Entwicklung und Förderung von Lesekompetenz - Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000* (S. 275-304). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296
- Tabachneck, H. J. M., Leonardo, A. M., & Simon, H. A. (1994). How does an expert use a graph? A model of visual & verbal inferencing in economics. In A. Ram & K. Eiselt, *Proceedings of the 16th annual conference of the cognitive science society* (S. 842-847). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Tabachnek, H. J. M. & Simon, H. A. (1998). One person, multiple representations: An analysis of a simple, realistic multiple representation learning task. In M. van Someren, P. Reimann, H. A. P. Boshuizen & T. de Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 197-236). Oxford: Pergamon.
- Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). When two sensory modes are better than one. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 257-287.
- Tuovinen, J. E. & Paas, F. (2004). Exploring multidimensional approaches to the efficiency of instructional conditions. *Instructional Science*, 32, 133-152.
- Tuovinen, J. E. & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91, 334-341.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Orlando, FL: Academic Press.
- van Essen, G. & Hamaker, C. (1990). Using student-generated drawings to solve arithmetic word problems. *Journal of Educational Research*, 83, 301-312.
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93, 129-140.
- van Meter, P. & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17, 285-325.
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A. & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 142-166.
- Weidenmann, B. (2002). Abbilder in Multimediaanwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 83-96). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (S. 315-327). New York: Macmillan.
- Wild, K. -P. (2000). *Lernstrategien im Studium*. Münster: Waxmann.
- Winn, W. (1982). The role of diagrammatic representation in learning sequences, identification and classification as a function of verbal and spatial ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 78-89.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Hrsg.), *Metacognition in educational theory and practice* (S. 277-304). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Winne, P. H. & Perry, N. E. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich, & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 531-566). Orlando: Academic Press.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11, 87-95.
- Wittrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345-376.
- Yerushalmy, M. (1991). Student perceptions of aspects of algebraic function using multiple representation software. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 42-57.
- Yeung, A., Jin, P. & Sweller, J. (1998). Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 1-21.
- Zimmerman, B. J. (2001). Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theoretical Perspectives* (S. 1-37). Mahwah, NJ: Erlbaum.

2 Studie I und Studie II³

In dieser Arbeit wurde der Nutzen verschiedener Arten von Bildern beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext an Schülern der 9. Klasse im Hinblick auf das Textverständnis überprüft. Basierend auf Theorien zum multimedialen Lernen (z. B. Mayer, 2009) wurde erstens, im Sinne einer Replikation des Multimedia-Effektes, der Nutzen des Einsatzes von vorgegebenen Bildern zu einem Text untersucht. Basierend auf der ‚Generative Theory of Drawing Construction‘ (van Meter & Garner, 2005) wurde zweitens, im Sinne einer Integration von Aspekten des selbstregulierten Lernens, der Nutzen des Einsatzes von selbst generierten Bildern zu einem Text untersucht. Basierend auf einer Integration beider theoretischer Ansätze wurde drittens untersucht, ob die instruktionale Unterstützung des selbstständigen Generierens von Bildern durch eine anschließende Darbietung eines vorgegebenen Expertenbildes einen zusätzlichen lernförderlichen Einfluss auf das Textverständnis hat. Anhand eines 2x2-faktoriellen experimentellen *between-subject*-Designs mit den Faktoren „Bildpräsentation“ und „Bildgenerierung“ wurden daher die Effekte des Lernens mit vorgegebenen Bildern, selbst generierten Bildern sowie der Kombination beider Arten des Bildeinsatzes auf das Verständnis eines Sachtextes mit chemischem Lerninhalt überprüft. Das Textverständnis wurde anhand eines Behaltenstests, eines Verstehens- und Transfer-tests sowie eines Zeichentests erfasst. Zur Kontrolle der Lernzeit wurden die Effekte in einer ersten Studie unter vorgegebener Lernzeit sowie in einer zweiten Studie unter lernerbestimmter Lernzeit überprüft. Die Ergebnisse der ersten Studie zeigen positive Haupteffekte der „Bildpräsentation“ sowie der „Bildgenerierung“ im Behaltenstest und Zeichentest. Die Ergebnisse der zweiten Studie zeigen einen positiven Haupteffekt der „Bildpräsentation“ im Zeichentest und positive Haupteffekte der „Bildgenerierung“ im Behaltenstest, Verstehens- und Transferstest sowie Zeichentest. Die Kombination beider Arten des Bildeinsatzes hat in beiden Studien keinen zusätzlichen verstehensförderlichen Effekt. Abschließend werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Effektivität vorgegebener und selbst generierter Bilder vor dem Hintergrund der variierten Lernzeit diskutiert.

Schlüsselwörter: Bilder, multimediales Lernen, selbstreguliertes Lernen, Textverstehen

2.1 Einleitung

Beim Lesen eines komplexen und schwierigen Sachtextes sind Schüler (im Folgenden kurz für: Schülerinnen und Schüler) häufig mit den kognitiven Anforderungen, die die Prozesse des verstehenden Lesens an sie stellen, überfordert (Baumert et al., 2001; Schnotz, 1994; van Dijk & Kintsch, 1983). Im naturwissenschaftlichen Fachunterricht werden Schüler jedoch regelmäßig mit der Aufgabe konfrontiert, Sachtexte selbstständig zu lesen. Eine

³ Basierend auf einer Manuskriptfassung von: Schwamborn, A., Thillmann, H., Leopold, C., Sumfleth, E. & Leutner, D. (2010). Der Einsatz von vorgegebenen und selbst generierten Bildern als Textverstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 24, (3-4), 221-233.

Möglichkeit, den Schülern den Umgang mit den an sie gestellten hohen kognitiven Anforderungen des selbstständigen Lesens zu erleichtern, bieten Bilder, welche die Komplexität eines Sachverhaltes vereinfachen und damit die Anforderungen an die Verarbeitungskapazität der Schüler verringern und so das Textverständnis verbessern können (Kozma, 2000; Kozma & Russell, 2005; Seufert, Zander & Brünken, 2007). Basierend auf den Theorien zum multimedialen Lernen können Bilder hierbei zum einen als Lehrmaterial dienen, indem der Sachtext durch entsprechende vorgegebene Bilder ergänzt wird (Mayer, 2005, 2009; Schnotz, 2002, 2005; Schnotz & Bannert, 2003). Basierend auf der *Generative Theory of Drawing Construction* von van Meter und Garner (2005) können Bilder aber auch im Sinne einer selbstregulierten Lernstrategie genutzt werden, indem die Bilder nicht zum Text vorgegeben, sondern vom Lernenden selbst generiert werden. Beide Arten des Einsatzes von Bildern weisen jeweils spezifische Vor- und Nachteile auf. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieser Arbeit, diese beiden Arten des Einsatzes von Bildern gegenüberzustellen und ihren Nutzen für das selbstständige Lernen aus naturwissenschaftlichen Sachtexten zu überprüfen. Dazu werden im Folgenden zunächst die beiden zugrunde liegenden theoretischen Ansätze zum Einsatz von Bildern sowie der jeweilige Stand der Forschung vorgestellt.

Lernen mit vorgegebenen Bildern

Beim Lernen mit vorgegebenen Bildern zu einem Sachtext erhalten die Lernenden zusätzlich Bilder, die die im Text verbal kodierten räumlichen Informationen über Gegenstände oder Sachverhalte bildlich darstellen, um den Textinhalt besser zu verstehen. Theoretische Grundlage bilden die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2005, 2009) sowie das Integrierte Modell des Text- und Bildverständnisses (Schnotz, 2002, 2005; Schnotz & Bannert, 2003). Diese Modelle führen die Lernwirksamkeit von Text-Bild-Kombinationen im Allgemeinen darauf zurück, dass der zu lernende Sachverhalt im Sinne einer dualen Kodierung in separaten sensorischen Kanälen aktiv vom Lernenden verarbeitet wird und die Lernenden ein kohärentes mentales Modell des dargestellten Sachverhaltes aufbauen, welches ihnen ein tieferes Textverständnis ermöglicht. Am Aufbau dieses mentalen Modells sind hauptsächlich drei kognitive Prozesse beteiligt: Selegieren, Organisieren und Integrieren (Mayer, 2009): Die Lernenden müssen zum einen die inhaltsrelevanten Bestandteile aus Text und Bild selegieren und organisieren, und zum anderen referentielle

Verknüpfungen zwischen Text und Bild herstellen (Brünken, Seufert & Zander, 2005; Schnotz, 2002; Weidenmann, 2006).

Die verstehensförderlichen Effekte des Lernens mit einer Kombination von Text und vorgegebenem Bild gegenüber dem alleinigen Lernen aus einem Text konnten in zahlreichen Studien belegt werden (sog. Multimedia-Effekt; z. B. Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner, 2001; O'Donnel, Dansereau & Hall, 2002; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998; Vekiri, 2002; Verdi & Kulhavy, 2002; Weidenmann, 1994; für einen Überblick siehe Carney & Levin, 2002; Mayer, 2009). Allerdings existiert auch eine Reihe von Studien, die den Multimedia-Effekt beim Lernen mit Text und Bild nicht zeigen konnten (z. B. de Jong et al., 1998; Seufert, 2003; für einen Überblick siehe Ainsworth, 1999). Ausgehend von dieser inkonsistenten Befundlage wurde mittlerweile eine Reihe von Faktoren identifiziert, von denen die Lernförderlichkeit des Lernens mit Text-Bild-Kombinationen abhängt. Zum einen konnte gezeigt werden, dass die Effektivität von Text-Bild-Kombinationen von einer Reihe von Prinzipien der instruktionalen Gestaltung der Text-Bild-Kombination abhängt, wie z. B. einer engen räumlichen und zeitlichen Kontiguität von Text und Bild (z. B. Mayer, 2009) sowie der Funktion der Bilder. Hierbei hat sich gezeigt, dass vor allem interpretative oder funktionale Bilder, welche räumliche Beziehungen funktionaler Elemente des zu lernenden Sachverhaltes darstellen, beim Lernen aus naturwissenschaftlichen Texten ein tieferes Textverständnis anregen können (Carney & Levin, 2002). Für dekorative Bilder, welche keinen inhaltlich-erklärenden Bezug zum zu lernenden Material aufweisen, besteht hingegen nur ein bedingter Nutzen (Lenzner, 2009; Mayer, 2005; Sweller, 2005). Zum anderen zeigen einige Studien zum Lernen mit Text-Bild-Kombinationen, dass die verstehensförderlichen Effekte ebenfalls davon abhängen, inwieweit es den Lernenden selbst gelingt, die notwendigen kognitiven Prozesse zum Aufbau eines kohärenten mentalen Modells adäquat auszuführen (Ainsworth, 1999; Bodemer, Plötzner, Feuerlein & Spada, 2004; Kozma & Russell, 1997; Seufert, 2003; van Someren, Reimann, Boshuizen & de Jong, 1998). Insgesamt zeichnet sich also ab, dass beim Lernen mit vorgegebenen Bildern das instruktionale Design nach bestimmten Gestaltungsprinzipien optimiert werden kann. Allerdings ist die optimale Gestaltung des Lernmaterials keine hinreichende Bedingung dafür, dass die Lernenden das Material tatsächlich auch aktiv und konstruktiv verarbeiten. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden die Forschung zum Lernen mit selbst generierten Bildern betrachtet.

Lernen mit selbst generierten Bildern

Beim Lernen mit selbst generierten Bildern handelt es sich um eine Lernstrategie, bei der der Lernende selbstständig aus den in einem Text verbal kodierten räumlichen Informationen über Gegenstände oder Sachverhalte eine bildliche Darstellung erstellt, um den Textinhalt besser zu verstehen (*learner-generated drawing strategy*; van Meter & Garner, 2005; siehe auch Weinstein & Mayer, 1986). Theoretische Grundlage bildet van Meter und Garners (2005) *Generative Theory of Drawing Construction*, in der die Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Bildern auf eine verstärkte Anregung kognitiver und metakognitiver Verarbeitungsprozesse zurückgeführt wird. In Übereinstimmung mit den Theorien zum multimedialen Lernen nehmen van Meter und Garner (2005) erstens an, dass bei der Umsetzung des in einem Text beschriebenen Sachverhaltes in ein externes Bild die drei kognitiven Prozesse des Selegierens, Organisierens und Integrierens aktiv angewandt werden. Dabei sollte insbesondere das Integrieren von textueller und bildlicher Information durch das selbstständige Bildgenerieren stärker gefordert sein, da der Lernende förmlich dazu „gezwungen“ ist, referentielle Verknüpfungen zwischen Text und zu generierenden Bildkomponenten herzustellen. Zweitens wird angenommen, dass beim Lernen mit selbst generierten Bildern verstärkt metakognitive Prozesse in Gang gesetzt werden. Insbesondere die metakognitive Überwachung des Lernprozesses sollte verstärkt angeregt werden, da der Lernende im Prozess des Bildgenerierens unmittelbar Rückmeldung erhält, ob die interne mentale Repräsentation in eine externe Repräsentation umgesetzt werden kann oder nicht. Ebenso sollte durch die metakognitive Überwachung des Lernprozesses die Wahrnehmung von Verständnisinkonsistenzen erleichtert werden, welche ihrerseits in einer Aktivierung kognitiver Strategien wie dem erneuten Lesen des betreffenden Textabschnittes münden können. Erste Hinweise auf diese Anregung metakognitiver Prozesse bietet eine Studie von van Meter (2001), in der Schüler, die instruiert wurden, ein Bild zu einem Text zu zeichnen, signifikant mehr Selbstüberwachungs- und Revisionsstrategien anwandten als die Schüler einer Kontrollbedingung, die mit einer vorgegeben Text-Bild Kombination lernten. Dementsprechend konnten auch Leopold und Leutner (2002) zeigen, dass Elftklässler, die spontan selbstständig Bilder beim Lernen aus einem Sachtext generierten, auch einen häufigeren Einsatz von metakognitiven Strategien berichteten.

Ausgehend von den Modellen des selbstregulierten Lernens sind neben kognitiven und metakognitiven auch motivationale Wirkmechanismen zu betrachten (z. B. Boekaerts, 1999; Zimmerman & Schunk, 2001). So könnten positive Tätigkeitsanreize, die von der

Tätigkeit des Zeichnens selbst ausgehen, den positiven Effekt des Lernens mit selbst generierten Bildern auf den Lernerfolg vermitteln (vgl. Rheinberg, 2000).

Die lernförderlichen Effekte beim Lernen aus Texten mit selbst generierten Bildern konnten in einer Reihe von Studien empirisch belegt werden (Alesandrini, 1981; Hall, Bailey & Tillman, 1997; Lesgold, DeGood & Levin, 1977; Lesgold, Levin, Shimron & Guttman, 1975; Seufert et al., 2007; van Meter, 2001; van Meter, Aleksic, Schwartz & Garner, 2006; für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005). Allerdings gibt es auch einige Studien, die die verstehensförderlichen Effekte des Lernens mit selbst generierten Bildern nicht zeigen konnten (z. B. Leutner, Leopold & Sumfleth, 2009; Rasco, Tennyson & Boutwell, 1975; Tirre, Manelis & Leicht, 1979; für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005).

Vor diesem Hintergrund inkonsistenter Befunde können mittlerweile Faktoren identifiziert werden, von denen die Lernförderlichkeit des Lernens mit selbst generierten Bildern abhängt. Zum einen weisen einige Studien auf die Rolle der Qualität der selbst generierten Bilder hin (Hall et al., 1997; Leopold, 2009; Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006). Unter „Bildqualität“ wird hierbei nach van Meter und Garner (2005) das Ausmaß verstanden, in dem die einzelnen Komponenten des Bildes so angeordnet sind, wie es im Text beschrieben ist. Zum anderen besteht die Annahme, dass ein erhöhter *Extraneous Cognitive Load* (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005) beim Generieren der Bilder einen negativen Effekt auf den Lernerfolg hat. So konnten z. B. Leutner und Kollegen (2009) zeigen, dass die Instruktion zum Zeichnen von Bildern zu einem naturwissenschaftlichen Sachtext sich negativ auf das Textverständnis auswirkt und dass dieser negative Effekt über eine erhöhte kognitive Belastung der Lernenden vermittelt wird. Dies bestätigen Befunde, die zeigen, dass sich die pure Instruktion zum Zeichnen eines Bildes zum Text bislang als wenig lernförderlich erwies (für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005), während verschiedene Formen instruktionaler Unterstützung zu einem positiven Effekt auf das Textverstehen führten. So unterstützten z. B. Lesgold und Kollegen (1975, 1977) Grundschüler beim Erstellen eines Bildes zu einem auditiv präsentierten Text durch externe instruktionale Hilfen in Form vorgegebener Bildelemente, die einen positiven Effekt auf das Textbehalten hatten. Bei der Generalisierung dieser Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass die Lernenden hier weder den Text selbst lasen noch die Bilder dazu zeichneten, sondern den Text stattdessen hörten und aus vorgegebenen Bildelementen ein Gesamtbild zusammenlegten. Eine gezielte Unterstützung

des Zeichenprozesses wird dagegen von van Meter und Kollegen (2006; vgl. auch van Meter, 2001) berichtet. Die Autoren unterstützten Sechstklässler beim selbstständigen Generieren von Bildern zu einem Text, indem sie die Schüler instruierten, ihre eigene Zeichnung mit einer vorgegebenen Expertenzeichnung zu vergleichen, bzw. darüber hinaus zusätzlich instruierten, entsprechende Vergleichsfragen schriftlich zu beantworten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernenden in der Zeichengruppe mit der stärksten instruktionalen Unterstützung (Vergleichsbild plus Vergleichsfrage) besser in einem Wissensanwendungstest abschnitten als Lernende, die nur die Zeicheninstruktion bzw. nur die Zeicheninstruktion und das Vergleichsbild erhielten. Insgesamt zeichnet sich also ab, dass beim Lernen mit selbst generierten Bildern die Qualität der Bilder eine zentrale Rolle spielt, da sie den Lernerfolg beeinflusst, jedoch vom individuellen Verlauf des Lernprozesses abhängig ist. Weiterhin zeigt sich, dass der Verlauf des Lernprozesses durch instruktionale Unterstützung positiv beeinflusst werden kann.

Vor dem Hintergrund der jeweiligen Vor- und Nachteile des Lernens mit vorgegebenen und selbst generierten Bildern zu einem Text ergeben sich die im Folgenden dargestellten Fragestellungen und Hypothesen.

Fragestellung und Hypothesen

Im Fokus steht die Frage, inwiefern vorgegebene bzw. selbst generierte Bilder als Textverstehenshilfen beim Lernen eines naturwissenschaftlichen Sachverhaltes dienen können. Vor dem Hintergrund der zuvor geschilderten Befundlage, dass lernförderliche Effekte des Generierens von Bildern auf das Textverstehen bislang nur bei zumindest minimaler instruktionaler Unterstützung auftraten (vgl. Leutner et al., 2009; für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005), wird in den hier vorgelegten Studien das selbstständige Generieren von Bildern instruktional unterstützt. In Anlehnung an die Befunde von Lesgold und Kollegen (1975, 1977) sollen die Lernenden während des selbstständigen Visualisierens mit einer *baseline*-Unterstützung in Form vorgegebener Bildelemente und Zeichenhintergründe instruktional unterstützt werden.

Insgesamt sollen vier Untersuchungsgruppen miteinander verglichen werden: (1) eine Gruppe, die mit Text und vorgegebenem Bild lernt, (2) eine Gruppe, die mit Text und selbst generiertem Bild lernt, (3) eine Gruppe, die mit Text, selbst generiertem Bild und

vorgegebenem Bild lernt, sowie (4) eine Kontrollgruppe, die nur mit dem Text lernt. Als abhängige Variable dient das aus dem Text erworbene Verständnis.

- Im Sinne einer Replikation des Multimedia-Effekts erwarten wir erstens, dass Probanden, die mit vorgegebenen Bildern lernen, ein höheres Textverständnis erwerben als Probanden, die ohne vorgegebene Bilder lernen. Ausgehend von der *Generative Theory of Drawing Construction* erwarten wir zweitens, dass Probanden, die selbst Bilder zum Text generieren, ein höheres Textverständnis erwerben als Probanden, die diese Lernstrategie nicht anwenden. In Bezug auf diese Probanden erwarten wir zudem
 - einen positiven Zusammenhang zwischen der Qualität der während des Lernprozesses selbst generierten Bilder und dem Textverständnis sowie
 - eine Mediation der Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Bildern zu einem Text über eine erhöhte Motivation.
- Drittens ist es eine noch offene Frage, inwieweit für die kombinierte Bedingung (selbst generiertes plus vorgegebenes Bild) eine statistische Interaktion in Form eines überadditiven Effektes erwartet werden kann. Sollten durch die Kombination beider Arten des Einsatzes von Bildern im Vergleich zur alleinigen Nutzung einer Bildart sowohl verstärkte metakognitive Prozesse beim selbstständigen Generieren der Bilder angeregt als auch ein Nutzen aus dem vorgegebenen Vergleichsbild gezogen werden (vgl. Ainsworth, 1999), kann ein zusätzlicher lernförderlicher Effekt erwartet werden. Sollte dies jedoch nicht eintreffen, weil der Lernende z. B. durch die zusätzliche Verarbeitung des Vergleichsbildes einer erhöhten kognitiven Belastung ausgesetzt ist (vgl. Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005), kann kein zusätzlicher lernförderlicher Effekt angenommen werden.
- Eine zusätzliche vierte Frage ergibt sich aus dem direkten Vergleich der verschiedenen Arten der Nutzung von Bildern. So müssen Lernende beim Lernen mit vorgegebenen Bildern zu einem Text die kognitiven Prozesse des Selegierens, Organisierens und Integrierens anwenden, um ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes aufzubauen. Beim Lernen mit selbstständig generierten Bildern müssen die Lernenden neben diesen kognitiven Verarbeitungsprozessen zudem die motorischen Prozesse der Bildgenerierung durchführen, um ein kohärentes mentales sowie externes Modell (die Zeichnung) des zu lernenden Sachverhaltes aufzubauen.

Da der Prozess des selbstständigen Bildgenerierens Zeit kostet, stellt sich daher die Frage, welchen Einfluss die Lernzeit auf die Lernwirksamkeit beider Arten der Nutzung von Bildern hat.

Die formulierten Fragestellungen und Hypothesen sollen anhand von zwei experimentellen Studien unter Variation der Lernzeit überprüft werden. Während in einer ersten Studie die Lernenden unter der Bedingung einer vorgegebenen Lernzeit lernen, kann in einer zweiten Studie die Lernzeit durch die Lernenden selbst bestimmt werden.

2.2 Methode Studie I

Stichprobe

An der Studie nahmen 102 Schüler aus vier neunten Klassen aus vier Gymnasien teil. Die Datenerhebung wurde an zwei Testtagen durchgeführt. Hierbei konnten von insgesamt 88 Schülern, die an beiden Testtagen anwesend waren, vollständige Datensätze erhoben werden (55.7 % weiblich, $M = 14.4$ Jahre, $SD = 0.8$; vgl. auch Schwaborn, Leopold, Thillmann, Sumfleth & Leutner, 2008, mit Ergebnissen zu einer Teilstichprobe). Um einen systematischen Effekt auf Klassen- bzw. Schulebene auszuschließen, wurden die Schüler innerhalb ihrer Klassen randomisiert einer von vier Untersuchungsgruppen zugeteilt, mit $20 < N < 24$ Schülern pro Gruppe. Die Gruppen sind nach Geschlecht balanciert, $\chi^2(3) = 0.37, p = .946$.

Unabhängige Variablen

Als unabhängige Variablen dienten die Arten der eingesetzten Bilder zu einem Text. Die Untersuchung folgte einem 2*2-faktoriellen Design mit den Faktoren Bildgenerierung (ja/nein) sowie Bildpräsentation (ja/nein) zu einem naturwissenschaftlichen Lehrtext.

Lernmaterial

Das Lernmaterial bestand aus einer kurzen Instruktion sowie einem naturwissenschaftlichen Lehrtext zum „Waschen mit Wasser und Seife“. In der Instruktion wurde den Schülern eine kurze Einführung in die Thematik des Sachtextes („*Wo geht der Schmutz hin? - Waschen mit Wasser und Seife*“) sowie eine spezifische Beschreibung der folgenden Auf-

gabe - (a) Text lesen, (b) Text lesen und Bildgenerierung, (c) Text lesen und Bildpräsentation oder (d) Text lesen und Bildgenerierung und Bildpräsentation - gegeben. Der eingesetzte Lehrtext (ca. 1000 Wörter) beschrieb in sechs aufeinander folgenden Abschnitten die chemischen Grundlagen des Waschprozesses. Das Thema des Lehrtextes wurde im Schulunterricht der untersuchten neunten Klassen zum Zeitpunkt der Testung noch nicht behandelt, ist aber im Lehrplan für diese Altersstufe vorgesehen.

Unter der Instruktion zur Bildpräsentation wurde zu jedem Textabschnitt ein statisches funktionales Bild, welches die wesentlichen Inhalte des jeweiligen Textabschnittes zeigt, dargestellt (Abbildung 2.1).

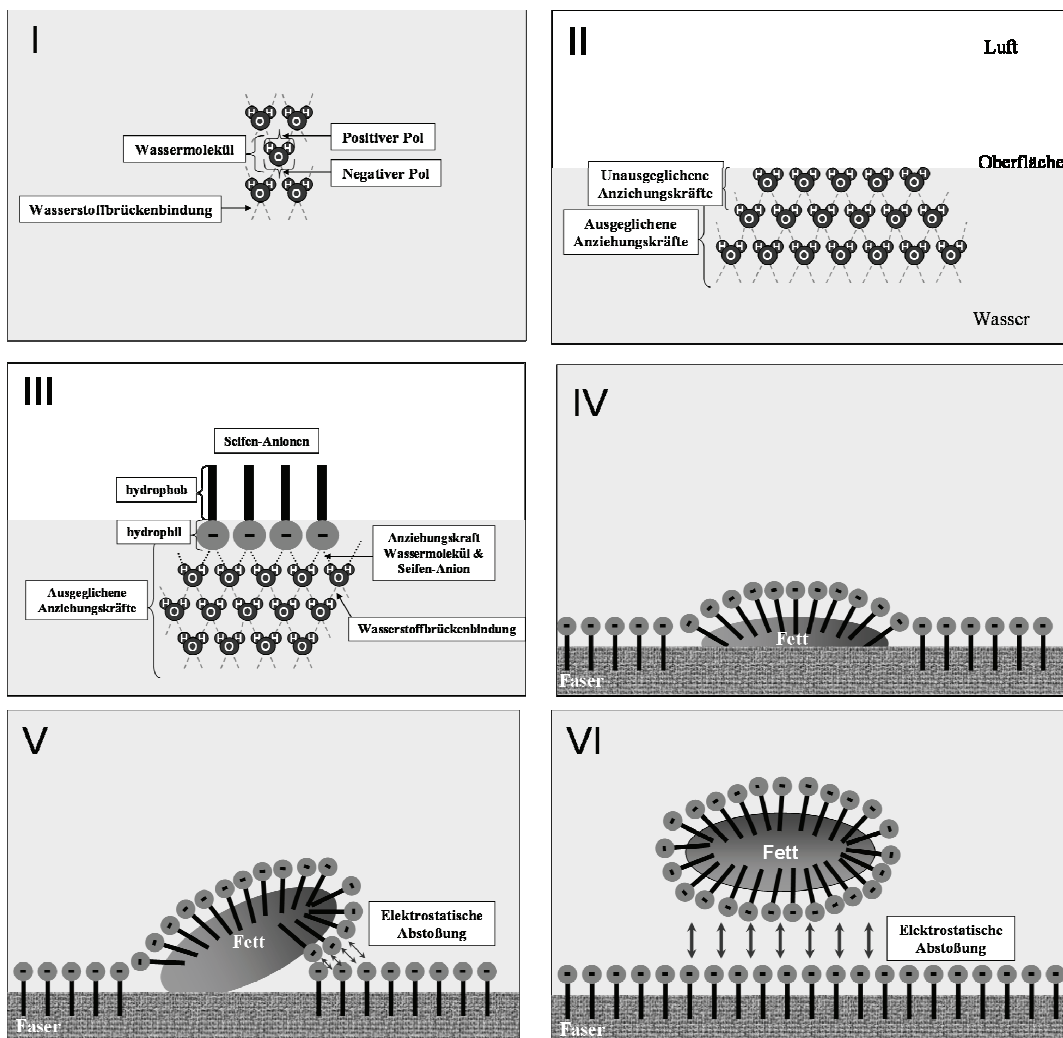


Abbildung 2.1: Bilder zum Lehrtext (zur besseren Übersichtlichkeit der Bilder wurden verschiedene Modellvorstellungen integriert)

Unter der Instruktion zur Bildgenerierung wurde zu jedem Textabschnitt eine *baseline*-Unterstützung, bestehend aus einer Werkzeugleiste und einer Zeichenfläche, dargeboten (Abbildung 2.2). Die Werkzeugleiste enthielt alle für den Zeichenprozess notwendigen Bild- und Beschriftungselemente. Die Zeichenfläche bestand aus einem entsprechend dem jeweiligen Textinhalt teilweise vorgezeichneten Bildhintergrund.

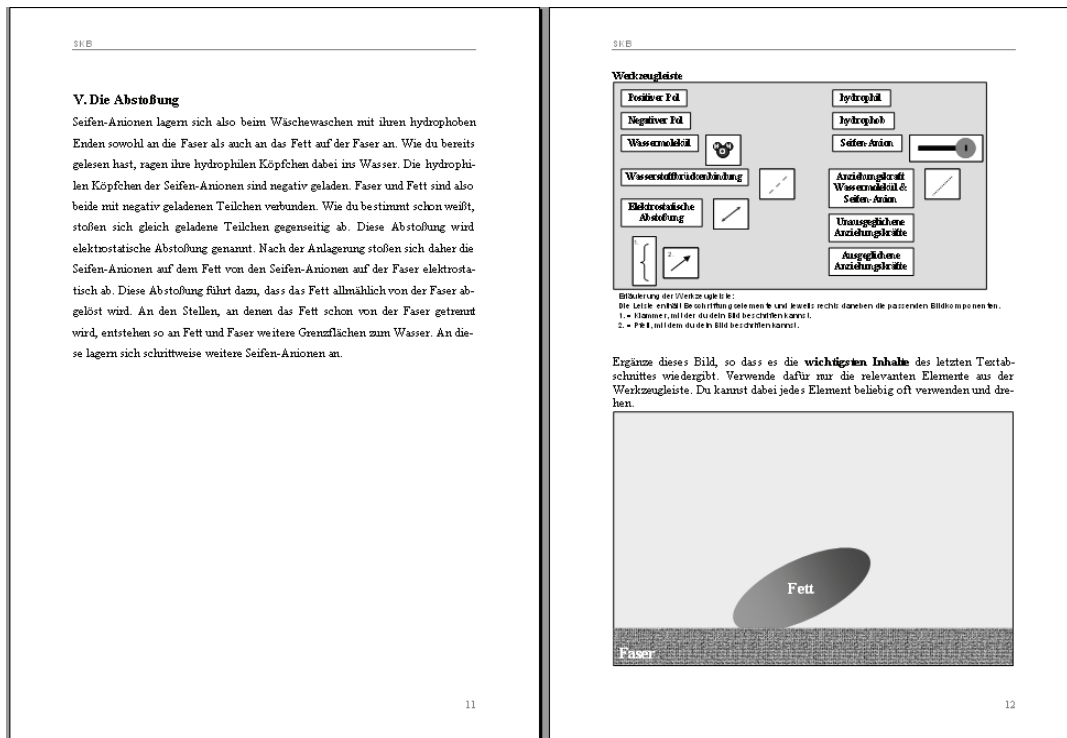


Abbildung 2.2: Darstellung der *baseline*-Unterstützung (rechts) am Beispiel des fünften Textabschnittes (links)

Abhängige Variablen

Als abhängige Variable wurde das aus dem Text gewonnene Verständnis entsprechend der Befunde von Mayer (2009) sowohl mit einem Behaltenstest als auch mit einem Verstehens- und Transfertest erfasst. Der Behaltenstest (Cronbachs $\alpha = 0.74$) bestand entsprechend den von Klauer (1987) gegebenen Empfehlungen aus 13 lehrzielorientierten Single-Choice-Fragen zum konzeptuellen Wissen und Verstehen. Ein Beispiellitem lautet wie folgt: „Woraus ergibt sich die Oberflächenspannung des Wassers? (a) aus der gegenseitigen Abstoßung der Wassermoleküle an der Oberfläche; (b) aus der Anziehung der Wassermoleküle durch die Luft; (c) aus dem Ungleichgewicht der Anziehungskräfte an der

Oberfläche; (d) aus dem Ausgleich der Anziehungskräfte an der Oberfläche“ [c ist die korrekte Antwort]. Der Verstehens- und Transfertest (Cronbachs $\alpha = 0.70$) bestand aus drei offenen Fragen und erfasst das konzeptuelle Verstehen sowie die Fähigkeit, das Gelernte in neuen Situationen anzuwenden. Ein Beispielitem lautet: „Stell’ dir vor, du möchtest von einem Tisch Edding-Reste entfernen. Wenn du einfach nur einen nassen Lappen verwendest, erzielst du damit keinen Erfolg. Gibst du jedoch etwas Aceton auf den Lappen, lässt sich der Edding entfernen. Erläutere schrittweise, warum und wie diese Ablösung des Eddings abläuft. Tipp: Aceton-Moleküle besitzen ein hydrophiles polares Ende und ein hydrophobes Ende“. Die Auswertung der offenen Fragen erfolgte durch zwei unabhängige Beurteiler anhand einer schriftlichen Musterlösung. Hierbei wurde für jede Frage die Anzahl richtiger Ideen ausgezählt und anschließend als Summenwert aller drei Fragen erfasst. Das aus dem Text erworbene konzeptuelle Verstehen wurde zudem mit einem Zeichentest abgefragt (Cronbachs $\alpha = 0.78$). Hierbei wurde mit drei Aufgaben erfasst, inwiefern die Lernenden in der Lage sind, die im Text beschriebenen Konzepte und räumlichen Beziehungen anhand von Skizzen wiederzugeben. Ein Beispielitem lautet: „Skizziere hier die Schritte des Waschvorgangs. Zeichne Schritt für Schritt ein, wie Fett aus einer Faser entfernt wird. Tue dies, indem du pro Schritt eine Zeichnung anfertigst“. Die Auswertung der Zeichenitems erfolgte wiederum durch zwei unabhängige Beurteiler anhand eines Expertenbildes sowie einer ergänzenden schriftlichen Musterlösung. Hierbei wurde für jede Zeichnung die Anzahl richtiger Ideen und räumlicher Relationen ausgezählt und anschließend als Summenwert aller drei Zeichnungen erfasst.

Kontrollvariablen

Als kognitive Lernvoraussetzungen wurden das inhaltspezifische Vorwissen, das räumlich-visuelle Vorstellungsvermögen sowie die verbale Fähigkeit der Lernenden erfasst. Die Höhe des inhaltspezifischen Vorwissens wurde mittels zweier offener Fragen zum Thema „Waschen mit Wasser und Seife“ abgefragt. Ein Beispielitem lautet: „Beschreibe den Vorgang der Schmutzablösung beim Wäschewaschen mit Wasser und Seife“. Die Auswertung des Vorwissenstests erfolgte durch zwei unabhängige Beurteiler anhand einer schriftlichen Musterlösung. Das Ausmaß des räumlich-visuellen Vorstellungsvermögens, der *spatial ability*, wurde mit Hilfe des in der Multimediaforschung häufig eingesetzten Paper-Folding-Tests erfasst (Ekstrom, French & Harman, 1976). Vor dem Hintergrund, dass die verbalen Fähigkeiten der Lernenden eine Schlüsselvariable für das Leseverständnis darstel-

len (Rost, 1998), wurde die verbale Fähigkeit der Schüler mittels der Subskala „Verbale Analogien“ des Kognitiven Fähigkeitstests (KFT; Heller & Perleth, 2000) erfasst. Als potentielle Mediatorvariable wurde nach dem Lesen der jeweiligen Instruktion zudem die aktuelle Motivation der Lernenden mittels der beiden Subskalen „Interesse“ und „Herausforderung“ des Fragebogens zur aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) erfasst, welche sich durch eine hohe Prädiktionskraft für den Lernerfolg auszeichnen (Rheinberg, 2004). Mittels eines demographischen Fragebogens wurden außerdem weitere relevante Lernercharakteristika, wie das Geschlecht, das Alter und die letzte Chemienote, erfasst.

Die Qualität der sechs in der Lernphase gezeichneten Bilder wurde mit einem Kodierschema bestehend aus Expertenbildern sowie ergänzenden schriftlichen Musterlösungen von zwei unabhängig arbeitenden Beurteilern für jeden Lernenden erfasst. Der Gesamtwert der Qualität ergab sich aus dem Summenwert der Anzahl richtig dargestellter räumlicher Relationen.

Vorgehensweise

Die Untersuchung wurde im regulären Schulunterricht an zwei Terminen durchgeführt und nahm insgesamt zweieinhalb Unterrichtsstunden in Anspruch. Die Schüler wurden innerhalb jeder teilnehmenden Klasse randomisiert den vier Untersuchungsgruppen zugeteilt und bearbeiteten das gesamte Testmaterial individuell.

Zu Beginn erhielt jeder Schüler den demographischen Fragebogen sowie den inhaltspezifischen Vorwissenstest (10 min.). Danach erhielten alle Schüler entsprechend der randomisiert zugeordneten Untersuchungsgruppe das Lernmaterial. Hierbei lasen zunächst alle Schüler die Instruktion. Im Anschluss daran wurde die aktuelle Motivation der Schüler erfasst (10 min.). Danach bearbeiteten alle Gruppen den Lehrtext entsprechend der jeweiligen Instruktion. Allen vier Gruppen wurde hierbei eine festgelegte Lernzeit von insgesamt 30 Minuten vorgegeben. Sie wurden instruiert, den Lehrtext so zu lesen, dass sie ihn möglichst gut verstehen. Schüler in der Bildgenerierungsgruppe wurden zudem instruiert, zu jedem Textabschnitt mit Hilfe der *baseline*-Unterstützung ein Bild zu zeichnen, das die wesentlichen Inhalte dieses Textabschnittes wiedergibt. Schüler in der Bildpräsentationsgruppe wurden zudem instruiert, die neben dem Text präsentierten Bilder zum besseren Verstehen des Textes zu betrachten. Schüler in der Bildgenerierungs-plus-

Bildpräsentationsgruppe wurden zudem instruiert, zu jedem Textabschnitt in einem ersten Schritt mit Hilfe der *baseline*-Unterstützung ein Bild zu zeichnen, das die wesentlichen Inhalte dieses Abschnitts wiedergibt. In einem zweiten Schritt wurden sie dann instruiert, nach dem Zeichnen eine angeheftete Zusatzseite zu entfalten und das selbst gezeichnete Bild mit einem auf dieser Zusatzseite präsentierten Bild zu vergleichen. Hierbei sollten sie überlegen, in welchen Aspekten sich das eigene Bild von dem präsentierten Bild unterscheidet. Schüler in der Kontrollgruppe wurden hingegen nur instruiert, den Text so zu lesen, dass sie ihn möglichst gut verstehen. Nach Ablauf von 30 Minuten wurde das Lernmaterial eingesammelt, und die Lernerfolgstests - Verstehens- und Transfertest, Behaltentest, Zeichentest - wurden ausgeteilt. Die Bearbeitungszeit für diese drei Tests wurde für alle Schüler auf 30 Minuten festgesetzt. Abschließend erhielten die Schüler die Subskala „Verbale Analogien“ des KFT (7 min.). Das räumliche Vorstellungsvermögen wurde aus Zeitgründen an einem zweiten Termin erfasst.

2.3 Ergebnisse Studie I

Maße und Auswertungsverfahren

Die Auswertung der offenen Antwortformate - Vorwissentest, Transfertest, Zeichentest - wurde mittels Kodierschemata von zwei unabhängig arbeitenden Beurteilern vorgenommen. Als Maß des schwach monotonen Zusammenhangs zweier ordinalskaliertter Variablen wurde für jede Antwort Goodman-Kruskals Gamma berechnet. Die auf diese Weise berechnete Beurteilerübereinstimmung war für die Items aller drei Tests zufriedenstellend (Vorwissentest: $0.82 \leq \text{Gamma} \leq 1.00$; Verstehens- und Transfertest: $0.81 \leq \text{Gamma} \leq 0.93$; Zeichentest: $0.90 \leq \text{Gamma} \leq 0.95$). Die Testscores für diese drei Tests sowie für den Behaltentest und die verbale Fähigkeit ergeben sich aus dem jeweiligen Anteil richtiger Antworten bzw. richtig gezeichneter Bildkomponenten. Der Testscore des räumlichen Vorstellungsvermögens errechnet sich aus der Addition der richtigen Antworten sowie der Subtraktion der falschen Antworten, fehlende Antworten ergeben keinen Punktabzug. Der Motivationsscore errechnet sich als mittleres Ausmaß der Zustimmung.

Neben diesen vor bzw. nach der Lernphase erhobenen Messwerten wurde zudem die Qualität der während der Lernphase selbst generierten Bilder anhand eines Kodierschemas von zwei unabhängigen Beurteilern bewertet. Als Maß der Beurteilerübereinstimmung wurde erneut Goodman-Kruskals Gamma berechnet. Die auf diese Weise berechnete

Beurteilerübereinstimmung war für alle sechs Bilder wiederum zufriedenstellend ($0.84 \leq \text{Gamma} \leq 1.00$). Der Qualitätsscore wurde als Ausmaß der korrekten Darstellung berechnet.

Die anschließende Auswertung der Daten erfolgte regressionsanalytisch mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells (ALM). Die Berechnung potentieller Moderator- bzw. Mediatoreffekte erfolgte nach Baron und Kenny (1986) mittels ANOVA bzw. ANCOVA.

Voraussetzungen

Zur Überprüfung potentieller a-priori-Unterschiede zwischen den einzelnen experimentellen Bedingungen wurden in einem ersten Auswertungsschritt univariate Varianzanalysen (ANOVAs) mit den Faktoren „Bildgenerierung“ (ja/nein) und „Bildpräsentation“ (ja/nein) und den als Kontrollvariablen vorgesehenen Variablen Vorwissen, räumliches Vorstellungsvermögen, verbale Fähigkeit, letzte Chemienote sowie der aktuellen Motivation als abhängige Variablen berechnet. Für den Faktor „Bildgenerierung“ ergibt sich ein positiver Haupteffekt bei der Motivation ($F(1, 85) = 6.23$; $p = .014$; $MSE = 1.39$; partielles $\eta^2 = .07$; partielles $d = 0.53$) (Kontrollgruppe: $M = 3.06$, $SD = 1.11$; Bildgenerierung: $M = 3.68$, $SD = 1.16$; Bildpräsentation: $M = 3.36$, $SD = 1.34$; Bildgenerierung + Bildpräsentation: $M = 4.00$, $SD = 1.11$). Für den Faktor „Bildpräsentation“ zeigt sich zudem ein negativer Haupteffekt beim inhaltspezifischen Vorwissen, der auf dem 20%-Niveau statistisch signifikant ist ($F(1, 85) = 2.01$; $p = .16$; $MSE = 0.001$; partielles $\eta^2 = .02$) (Kontrollgruppe: $M = 0.02$, $SD = 0.03$; Bildgenerierung: $M = 0.01$, $SD = 0.01$; Bildpräsentation: $M = 0.01$, $SD = 0.02$; Bildgenerierung + Bildpräsentation: $M = 0.01$, $SD = 0.02$). Darüber hinaus ergeben sich für beide Faktoren keine weiteren statistisch bedeutsamen Effekte ($0.002 < F(1, 85) < 1.52$). Da es sich beim inhaltspezifischen Vorwissen um eine *trait*-Variable handelt, wird ihr Effekt im Weiteren statistisch kontrolliert. Da es sich bei der aktuellen Motivation um eine *state*-Variable handelt, die durch die Instruktion beeinflusst werden konnte, wird diese Variable im Weiteren im Hinblick auf eine potentielle Mediatorfunktion überprüft.

Der Einfluss der eingesetzten Bildart auf den Lernerfolg

Um die interessierenden Effekte der eingesetzten Bildarten auf die Lernerfolgsvariablen zu überprüfen, wurden zunächst univariate Kovarianzanalysen (ANCOVAs) mit den Faktoren „Bildgenerierung“ (ja/nein) sowie „Bildpräsentation“ (ja/nein) unter Kontrolle des inhalt-

spezifischen Vorwissens zur Vorhersage der Lernerfolgsmaße berechnet (siehe Tabelle 2.1). Die Ergebnisse weisen für den Faktor „Bildgenerierung“ positive Haupteffekte für den Behaltenstest ($F(1, 83) = 4.56; p = .036; MSE = 0.05; \text{partielles } \eta^2 = .05; \text{partielles } d = 0.40$) sowie für den Zeichentest ($F(1, 83) = 65.40; p < .001; MSE = 0.04; \text{partielles } \eta^2 = .44; \text{partielles } d = 1.78$) auf. D.h. die Lernenden, die mit selbst generierten Bildern lernten, zeigen einen höheren Lernerfolg im Behaltenstest und im Zeichentest als die Lernenden, die ohne selbst generierte Bilder lernten. Für den Faktor „Bildpräsentation“ zeigen sich positive Haupteffekte für den Behaltenstest ($F(1, 83) = 3.96; p = .050; MSE = 0.05; \text{partielles } \eta^2 = .05; \text{partielles } d = 0.40$) sowie für den Zeichentest ($F(1, 83) = 47.10; p < .001; MSE = 0.04; \text{partielles } \eta^2 = .36; \text{partielles } d = 1.58$). D.h. die Lernenden, die mit vorgegebenen Bildern lernten, zeigen einen höheren Lernerfolg im Behaltenstest und Zeichentest als die Lernenden, die ohne vorgegebene Bilder lernten. Für den Transfertest zeigen sich weder für den Faktor „Bildgenerierung“ ($F < 1$) noch für den Faktor „Bildpräsentation“ ($F(1, 83) = 1.86; p = .176$) statistisch bedeutsame Effekte. Zudem zeigen sich keine statistisch signifikanten Interaktionen der „Bildgenerierung“ und der „Bildpräsentation“ im Behaltenstest ($F < 1$), im Transfertest ($F < 1$) und im Zeichentest ($F(1, 83) = 2.16; p = .145$).

Tabelle 2.1: Anteil korrekter Antworten im Behaltenstest, Transfertest und Zeichentest für die vier Versuchsbedingungen (Studie I)

Versuchsbedingung	Behaltenstest			Transfertest		Zeichentest	
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kontrolle	20	.49	.25	.21	.21	.15	.17
Bildgenerierung	21	.62	.22	.20	.20	.43	.21
Bildpräsentation	23	.61	.24	.23	.18	.38	.27
Bildgenerierung + Bildpräsentation	24	.69	.19	.28	.16	.80	.14

Um ergänzend zu überprüfen, ob die beobachteten Effekte der Faktoren „Bildgenerierung“ sowie „Bildpräsentation“ auf die Lernerfolgsvariablen durch das Vorwissen, das räumliche Vorstellungsvermögen sowie die verbale Fähigkeit der Lernenden moderiert werden, wurden diese Variablen in das lineare Modell aufgenommen und im Hinblick auf Interaktionseffekte getestet. Es zeigen sich weder für den Faktor „Bildgenerierung“ noch für den Fak-

tor „Bildpräsentation“ statistisch signifikante Interaktionen mit dem inhaltspezifischen Vorwissen, den räumlichen Fähigkeiten sowie den verbalen Fähigkeiten ($0.02 < F(1, 82) < 2.74$).

Mediatorfunktion der Motivation

Um zu überprüfen, inwiefern die beobachteten Effekte des Faktors „Bildgenerierung“ auf die LernerfolgsvARIABLEN durch die aktuelle Motivation der Schüler mediiert werden, wurden ANCOVAs mit der Kovariate „Motivation“ berechnet (Baron & Kenny, 1986). Die Ergebnisse dieser Mediationsanalyse zeigen, dass der positive Haupteffekt des Faktors „Bildgenerierung“ auf den Behaltenstest ($F(1, 83) = 4.56; p = .036; MSE = 0.05$; partielles $\eta^2 = .05$) nicht mehr signifikant ist, wenn die aktuelle Motivation der Lernenden als Mediatorvariable in die Analyse mit aufgenommen wird ($F(1, 80) = 2.32; p = .131; MSE = 0.05$; partielles $\eta^2 = .03$). Der statistisch bedeutsame positive Haupteffekt auf den Zeichentest bleibt hingegen bestehen ($F(1, 80) = 52.30; p < .001; MSE = 0.04$; partielles $\eta^2 = .40$). Somit hat der Faktor „Bildgenerierung“ einen direkten Einfluss auf den Lernerfolg im Zeichentest; der Einfluss auf den Lernerfolg im Behaltenstest wird dagegen über eine erhöhte aktuelle Motivation der Lernenden vermittelt.

Korrelative Beziehungen zwischen der Qualität der generierten Bilder und dem Lernerfolg

Der Zusammenhang zwischen der Qualität der in der Lernphase selbst generierten Bilder und dem Lernerfolg wurde mittels Korrelationsanalysen nach Pearson überprüft. Es zeigen sich statistisch bedeutsame Zusammenhänge zwischen dem Qualitätsscore der selbst generierten Bilder und dem Behaltenstestscore ($r = .42, p < .01$), dem Transfertestscore ($r = .46, p < .01$) sowie dem Zeichentestscore ($r = .70, p < .01$).

2.4 Methode Studie II

Die in dieser zweiten Studie verwendete Methode war bis auf zwei Aspekte mit der aus der ersten Studie identisch. Die zentrale Veränderung lag darin, dass die Schüler in dieser Studie nicht mit einer vorgegebenen Lernzeit von 30 Minuten lernten, sondern diese selbst

bestimmen konnten.⁴ Des Weiteren wurde in dieser zweiten Studie das räumliche Vorstellungsvermögen nicht an einem zusätzlichen Termin, sondern innerhalb der ersten Testphase im Anschluss an den demographischen Fragebogen vor der Lernphase erfasst.

An der Studie nahm eine neue Stichprobe bestehend aus 96 Schülern aus vier neunten Klassen aus drei Gymnasien teil. Von insgesamt 89 Schülern konnten vollständige Datensätze erhoben werden (30.3 % weiblich; $M = 14.3$ Jahre, $SD = 0.8$). Um einen systematischen Effekt auf Klassen- bzw. Schulebene ausschließen zu können, wurden die Schüler innerhalb ihrer Klassen randomisiert einer von vier Untersuchungsgruppen zugeteilt, mit $18 < N < 25$ Schülern pro Gruppe. Die Gruppen sind nach Geschlecht balanciert, $\chi^2(3) = 1.79, p = .981$.

2.5 Ergebnisse Studie II

Maße und Auswertungsverfahren

Es wurden dieselben Maße und Auswertungsverfahren wie in der ersten Studie verwendet. Die Testgüte der drei abhängigen Variablen war auch in dieser Studie zufriedenstellend (Behaltenstest: Cronbachs $\alpha = 0.72$; Verstehens- und Transfertest: Cronbachs $\alpha = 0.64$; $0.83 \leq \text{Gamma} \leq 0.98$; Zeichentest: Cronbachs $\alpha = 0.71$; $0.86 \leq \text{Gamma} \leq 0.94$). Für die Einschätzung der Qualität der während der Lernphase von den Lernenden sechs selbst generierten Bilder zeigt sich erneut eine gute Beurteilerübereinstimmung ($0.85 \leq \text{Gamma} \leq 1.00$).

Voraussetzungen

Zur Überprüfung potentieller a-priori-Unterschiede zwischen den experimentellen Bedingungen wurden wiederum ANOVAs mit den Faktoren „Bildgenerierung“ (ja/nein) und „Bildpräsentation“ (ja/nein) mit den Kontrollvariablen inhaltsspezifisches Vorwissen, räumliches Vorstellungsvermögen, verbale Fähigkeit, letzte Chemienote sowie der aktuellen Motivation als jeweils abhängige Variablen berechnet. Die Ergebnisse zeigen für den Faktor „Bildgenerierung“ einen negativen Haupteffekt im räumlichen Vorstellungsvermögen, der auf dem 10%-Niveau statistisch signifikant ist ($F(1, 86) = 3.34; p = .071; MSE =$

⁴ Eine grobe Erfassung der selbst bestimmten Lernzeit über alle Untersuchungsgruppen hinweg ergab eine minimale Lernzeit von 5 Minuten (Schüler aus der Versuchsbedingung Bildpräsentation) und eine maximale Lernzeit von 50 Minuten (Schüler aus der Versuchsbedingung Bildgenerierung).

11.83; partielles $\eta^2 = .04$) (Kontrollgruppe: $M = 4.17$, $SD = 3.14$; Bildgenerierung: $M = 2.64$, $SD = 4.11$; Bildpräsentation: $M = 3.72$, $SD = 2.81$; Bildgenerierung + Bildpräsentation: $M = 2.56$, $SD = 3.71$). Für den Faktor „Bildpräsentation“ zeigt sich zudem ein negativer Haupteffekt im inhaltsspezifischen Vorwissen, der auf dem 10%-Niveau statistisch signifikant ist ($F(1, 86) = 3.50$; $p = .065$; $MSE < 001$; partielles $\eta^2 = .04$) (Kontrollgruppe: $M = 0.01$, $SD = 0.03$; Bildgenerierung: $M = 0.01$, $SD = 0.03$; Bildpräsentation: $M = 0.002$, $SD = 0.008$; Bildgenerierung + Bildpräsentation: $M = 0.005$, $SD = 0.02$). Für keinen der beiden Faktoren ergeben sich weitere statistisch bedeutsame Effekte ($0.14 < F(1, 86) < 1.12$). Da es sich beim räumlichen Vorstellungsvermögen sowie beim inhaltsspezifischen Vorwissen um *trait*-Variablen handelt, wird ihr Effekt im Weiteren statistisch kontrolliert.

Der Einfluss der eingesetzten Bildart auf den Lernerfolg

Um die interessierenden Effekte der eingesetzten Bildarten auf die Lernerfolgsvariablen zu überprüfen, wurden ANCOVAs mit den Faktoren „Bildgenerierung“ (ja/nein) sowie „Bildpräsentation“ (ja/nein) unter Kontrolle des räumlichen Vorstellungsvermögens und des inhaltsspezifischen Vorwissens berechnet (siehe Tabelle 2.2). Die Ergebnisse zeigen für den Faktor „Bildgenerierung“ positive Haupteffekte sowohl für den Behaltenstest ($F(1, 83) = 12.78$; $p = .001$; $MSE = 0.04$; partielles $\eta^2 = .13$; partielles $d = 0.78$) als auch für den Verstehens- und Transfertest ($F(1, 83) = 3.79$; $p(\text{gerichtete Hypothese}) = .028$; $MSE = 0.03$; partielles $\eta^2 = .04$; partielles $d = 0.43$) sowie für den Zeichentest ($F(1, 83) = 35.04$; $p < .001$; $MSE = 0.05$; partielles $\eta^2 = .30$; partielles $d = 1.34$). D.h. die Lernenden, die mit selbst generierten Bildern lernten, zeigen einen höheren Lernerfolg im Behaltenstest, Verstehens- und Transfertest sowie Zeichentest als die Lernenden, die ohne selbst generierte Bilder lernten. Für den Faktor „Bildpräsentation“ zeigt sich ein positiver Haupteffekt nur für den Zeichentest ($F(1, 83) = 27.84$; $p < .001$; $MSE = 0.05$; partielles $\eta^2 = .25$; partielles $d = 1.07$). D.h. die Lernenden, die mit vorgegebenen Bildern lernten, zeigen einen höheren Lernerfolg im Zeichentest als die Lernenden, die ohne vorgegebene Bilder lernten. Im Behaltenstest sowie im Verstehens- und Transfertest zeigen sich für den Faktor „Bildpräsentation“ allerdings keine statistisch bedeutsamen Effekte (alle $F < 1$). Darüber hinaus zeigen sich ebenfalls keine statistisch signifikanten Interaktionen der „Bildgenerierung“ und der „Bildpräsentation“ im Behaltenstest ($F(1, 83) = 1.42$; $p = .236$), im Transfertest ($F < 1$) und im Zeichentest ($F < 1$).

Tabelle 2.2: Anteil korrekter Antworten im Behaltenstest, Transfertest und Zeichentest für die vier Versuchsbedingungen (Studie II)

Versuchsbedingung	Behaltenstest		Transfertest		Zeichentest		
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kontrolle	24	.58	.24	.21	.15	.17	.16
Bildgenerierung	22	.76	.20	.28	.20	.46	.26
Bildpräsentation	25	.63	.18	.22	.17	.46	.25
Bildgenerierung + Bildpräsentation	18	.71	.21	.23	.19	.68	.25

Um ergänzend zu überprüfen, ob die beobachteten Effekte der Faktoren „Bildgenerierung“ sowie „Bildpräsentation“ auf die Lernerfolgsvariablen durch das inhaltspezifische Vorwissen, das räumliche Vorstellungsvermögen sowie die verbale Fähigkeit der Lernenden moderiert werden, wurden diese Variablen jeweils in das lineare Modell aufgenommen und im Hinblick auf Interaktionseffekte getestet. Es zeigen sich weder für den Faktor „Bildgenerierung“ noch für den Faktor „Bildpräsentation“ statistisch signifikante Interaktionen ($0.001 < F(1, 83) < 2.21$).

Mediatorfunktion der Motivation

Da bei der Überprüfung potentieller a-priori-Unterschiede kein Effekt der „Bildgenerierung“ auf die Motivation nachgewiesen werden konnte (vgl. obigen Abschnitt, S. 68), sind die Bedingungen für eine Überprüfung der Mediatorfunktion der Motivation nicht erfüllt. Somit kann geschlossen werden, dass in dieser Studie keiner der beobachteten Effekte der „Bildgenerierung“ auf den Lernerfolg über die aktuelle Motivation der Lernenden vermittelt wird.

Korrelative Beziehungen zwischen der Qualität der generierten Bilder und dem Lernerfolg

Korrelationsanalysen nach Pearson zeigen auch in dieser Studie statistisch bedeutsame Zusammenhänge zwischen dem Qualitätsscore der während des Lesens generierten Bilder und dem Behaltenstestscore ($r = .59, p < .01$), dem Transfertestscore ($r = .58, p < .01$) sowie dem Zeichentestscore ($r = .80, p < .01$).

2.6 Diskussion

Zusammenfassung der Ergebnisse

In den beiden hier vorgelegten experimentellen Studien wurde untersucht, inwiefern vorgegebene und selbst generierte Bilder als Textverstehenshilfe beim Lernen eines naturwissenschaftlichen Sachverhaltes dienen können.

Bezogen auf die Nutzung vorgegebener Bilder als Textverstehenshilfen (sog. Multimedia-Effekt; Mayer, 2005, 2009; Schnotz, 2002, 2005) sind die Ergebnisse beider Studien nur zum Teil erwartungskonform. So zeigen die Ergebnisse der ersten Studie zwar, dass Lernende, die unter der Vorgabe einer fixierten Lernzeit vorgegebene Bilder zum Sachtext erhielten, im Behaltenstest sowie im Zeichentest denjenigen Gruppen überlegen sind, die ohne vorgegebene Bilder lernten. Allerdings zeigen die Ergebnisse der zweiten Studie, in der die Lernenden ihre Lernzeit selbst bestimmen konnten, dass diese Überlegenheit des Lernens mit vorgegebenen Bildern nur noch im Zeichentest auftritt. In diesem Fall ist zudem kritisch anzumerken, dass die im Zeichentest gefundene Überlegenheit des Lernens mit vorgegebenen Bildern nicht im Sinne eines „echten“ Multimedia-Effektes interpretiert werden kann, welcher auf einer aktiveren strategischen Informationsverarbeitung beruht, sondern im Vergleich zur Kontrollgruppe, die nur mit dem Text lernt, ebenso einen durch das zusätzliche Lernmaterial bedingten Informationsvorteil darstellen kann.

Bezogen auf die Nutzung selbst generierter Bilder als Textverstehenshilfe (sog. *learner-generated drawing strategy*; van Meter & Garner, 2005) zeigen die Ergebnisse der ersten Studie, dass Lernende, die unter Vorgabe einer fixierten Lernzeit Bilder zum Sachtext selbst generieren, im Behaltenstest (über die aktuelle Motivation mediiert) sowie im Zeichentest denjenigen Gruppen überlegen sind, die nur mit Text bzw. mit Text und vorgegebenen Bildern lernen. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der zweiten Studie, dass diese Überlegenheit des Bildgenerierens zudem im Verstehens- und Transfertest auftritt, wenn die Lernenden ihre Lernzeit selbst bestimmen können.

Über beide Studien hinweg zeigen sich zudem die erwarteten positiven Zusammenhänge zwischen der Qualität der selbst generierten Bilder und allen drei Lernerfolgsmaßen.

Bezüglich der angenommenen Mediatorfunktion der aktuellen Motivation beim Lernen mit selbst generierten Bildern konnte lediglich in der ersten Studie ein mediiender Effekt der aktuellen Motivation aufgezeigt werden: Der positive Effekt des Lernens mit selbst gene-

rierten Bildern auf den Behaltenstest wird in dieser Studie über eine erhöhte Motivation vermittelt.

Bezogen auf die offene Fragestellung, ob über eine Kombination beider Arten von Bildern ein überadditiver lernförderlicher Effekt erzeugt wird, liefern beide Studien ein übereinstimmendes negatives Ergebnismuster: Durch die Kombination beider Arten des Einsatzes von Bildern im Vergleich zur alleinigen Nutzung einer Bildart tritt kein zusätzlicher Effekt auf den Lernerfolg auf.

Theoretische und praktische Implikationen

Insgesamt lassen sich aus den Ergebnissen der beiden Studien folgende theoretische Implikationen ableiten. Erstens, bezogen auf die Forschung zum multimedialen Lernen, liefert das unterschiedliche Ergebnismuster in den beiden Studien einen Hinweis auf einen weiteren potentiellen Faktor, von dem die Lernförderlichkeit des Lernens mit Text-Bild-Kombinationen abhängen könnte. So zeigt sich der erwartete positive Effekt des Lernens mit vorgegebenen Bildern in den hier berichteten Studien in Abhängigkeit von der Lernzeit. Er tritt unter fixierter Lernzeit im Behaltens- und Zeichentest auf (Studie 1). Wenn die Lernenden ihre Lernzeit jedoch selbst bestimmen können (Studie 2), tritt der Effekt nur noch im Zeichentest auf. Eine mögliche Begründung dieses Unterschiedes kann in einer *illusion of knowing* (Glenberg, Wilkinson & Epstein, 1982) gesehen werden. So kann angenommen werden, dass Lernende bei frei zur Verfügung stehender Lernzeit diese Lernzeit aufgrund einer metakognitiven Fehleinschätzung ihres erworbenen Wissens nicht adäquat nutzen. Dagegen erfordert eine festgelegte Lernzeit es nicht notwendigerweise, das erworbene Wissen selbstständig einzuschätzen und auf dieser Basis die eigene Lernzeit zu regulieren.

Zweitens, bezogen auf die Forschung zum Lernen mit selbst generierten Bildern, können die Ergebnisse der beiden vorliegenden Studien weitere empirische Hinweise für Faktoren liefern, von denen die Lernförderlichkeit des Lernens mit selbst generierten Bildern abhängt. Beide Studien stützen zum einen die Annahme, dass die verstehensförderlichen Effekte positiv mit der Qualität der selbst generierten Bilder zusammenhängen (Hall et al., 1997; Leopold, 2009; Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006). Des Weiteren weisen die Ergebnisse der ersten Studie in Übereinstimmung mit der Forschung zum selbstregulierten Lernen (vgl. Boekaerts, 1999; Zimmerman & Schunk, 2001)

darauf hin, dass die Motivation einen mediierenden Einfluss auf die Lernwirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Bildern haben kann. Vor dem Hintergrund, dass in der bisherigen Forschung zum Lernen mit selbst generierten Bildern Studien ohne instruktionale Unterstützung des Lernprozesses häufig keine positiven Effekte auf das Textverständnis zeigen konnten (vgl. Leutner et al., 2009; für einen Überblick siehe van Meter & Garner, 2005), liefern die hier vorgelegten Studien weitere Hinweise für die Gestaltung instruktionaler Unterstützungsmaßnahmen. So erweist sich die in Anlehnung an die Ergebnisse von Lesgold und Kollegen (1975, 1977) entwickelte *baseline*-Unterstützung als eine effektive instruktionale Unterstützung des Zeichenprozesses. Die Vorgabe relevanter Bildelemente und Zeichenhintergründe ermöglicht es den Lernenden, sich auf die lernrelevanten Aspekte zu konzentrieren, das heißt auf die Darstellung der relevanten komplexen räumlichen Beziehungen. Vor dem Hintergrund der Cognitive Load-Forschung (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005) sowie der Ergebnisse von Leutner und Kollegen (2009) kann die Wirksamkeit der *baseline*-Unterstützung dahingehend interpretiert werden, dass ihr Einsatz zu einer mentalen Entlastung der Lernenden führt und so ausreichende Ressourcen zur Durchführung der geforderten kognitiven, metakognitiven sowie motorischen Prozesse zur Verfügung stehen. Im Gegensatz dazu erzielte die Darbietung eines Vergleichsbilds im Anschluss an die Bildgenerierung keinen zusätzlichen Lernerfolg, das heißt die spezifische Lernwirksamkeit der Kombination beider Arten des Einsatzes von Bildern konnte nicht belegt werden. Dieser Befund erscheint im Kontext der Modelle zum selbstregulierten Lernen (z. B. Boekaerts, 1999; Zimmerman & Schunk, 2001) sowie der Ergebnisse von van Meter und Kollegen (2001, 2006) plausibel. So konnten van Meter und Kollegen (2001, 2006) den verstehensförderlichen Nutzen des kombinierten Einsatzes von selbst generierten und vorgegebenen Bildern vor allem dann nachweisen, wenn die Lernenden nicht nur ein Vergleichsbild, sondern zudem Vergleichsfragen erhielten, die eine metakognitive Verarbeitung des Bildes anregen sollten. Um von der Darbietung eines Vergleichsbildes zu profitieren, müssen Lernende demzufolge die Diskrepanz zwischen dem vorgegebenen korrekten Bild und dem vorhandenen selbst generierten Bild wahrnehmen, bewerten und darauf mit geeigneten Strategien reagieren. Die Initiation dieser metakognitiven Kontroll- und Regulationsprozesse erscheint hierbei nicht automatisch durch ein Vergleichsbild angeregt zu werden.

Darüber hinaus zeigt der Vergleich beider Studien, dass die Effektivität des Lernens mit selbst generierten Bildern nicht nur von der instruktionalen Unterstützung, sondern auch

von der Lernzeit abhängt. So profitieren Lernende trotz instrukionaler *baseline*-Unterstützung stärker vom Prozess der Bildgenerierung, wenn sie ihre Lernzeit selbst bestimmen können, als wenn sie mit einer vorgegebenen Lernzeit lernen. Das gefundene Ergebnismuster ist erneut vor dem Hintergrund der Cognitive Load-Forschung (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005) plausibel. So müssen die Lernenden beim Generieren von Bildern zu einem Text nicht nur die kognitiven sowie metakognitiven Prozesse der Informationsverarbeitung, sondern ebenfalls die motorischen Prozesse der Bildgenerierung adäquat ausführen, um ein optimales Lernergebnis zu erzeugen (van Meter & Garner, 2005). Darüber hinaus setzen Lernende das Generieren von Bildern selten spontan als Lernstrategien ein (Rode, 1999; Seufert et al., 2007), das heißt in den hier berichteten Studien wenden die Lernenden eine Strategie an, in der sie noch relativ ungeübt sind. Dieser verstärkte und ungeübte Strategieeinsatz ist für den Lernenden kognitiv belastend (Leutner et al., 2009). Eine ausreichende Lernzeit erscheint demnach als eine substantielle Voraussetzung beim Lernen mit selbst generierten Bildern zu einem Text.

Insgesamt konnte aus praktischer Sicht der Nutzen von Bildern als Textverstehenshilfe aufgezeigt werden. So kann einerseits der Einsatz vorgegebener Bilder zu Sachtexten dann empfohlen werden, wenn eine begrenzte Lernzeit zur Verfügung steht, wie dies z. B. in zeitlich festgelegten Unterrichtseinheiten der Fall ist. Andererseits erwies sich das selbstständige Generieren von Bildern nicht nur als eine effektive, sondern im Hinblick auf die benötigte Lernzeit auch als eine relativ effiziente Lernstrategie beim Lernen aus einem Sachtext. Für eine Anwendung dieser Strategie im schulischen Kontext kann einerseits die Empfehlung abgeleitet werden, den Lernenden eine ausreichende Lernzeit zur Verfügung zu stellen. Dies erscheint insbesondere in solchen Lernsituationen realisierbar, in denen sich Lernende selbstreguliert mit dem Lernmaterial beschäftigen, wie dies z. B. beim Anfertigen von Hausaufgaben der Fall ist. Andererseits muss berücksichtigt werden, dass Lernende während des Zeichenprozesses instrukional unterstützt werden sollten, wie z. B. in den hier berichteten Studien anhand einer *baseline*-Unterstützung. Ebenso erscheinen Maßnahmen wie z. B. kombinierte Strategietrainings (z. B. Leopold, 2009; Leutner, Leopold & den Elzen-Rump, 2007) zur Förderung der Strategie des selbstregulierten Visualisierens als zeitlich aufwändigere, jedoch nachhaltige Förderung geeignet.

Grenzen und Ausblick

Im Hinblick auf eine Generalisierung der Befunde wäre es sinnvoll, die hier berichteten Effekte in anderen Domänen als der hier untersuchten chemischen Domäne zu überprüfen. Des Weiteren wurde der Lernerfolg in den vorgelegten Studien ausschließlich direkt nach der Lernphase erfasst. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, längerfristige Effekte auf das Textverständnis zu überprüfen. Die Ergebnisse weisen zudem auf die Relevanz der eingesetzten Lernzeiten hin. Allerdings konnten die individuellen Lernzeiten der teilnehmenden Schüler in der zweiten Studie nicht protokolliert werden. Vor diesem Hintergrund sind weitere Studien geplant, in denen die individuellen Lernzeiten z. B. mithilfe einer computerbasierten Lernumgebung erfasst werden können. Die Ergebnisse liefern außerdem erste Hinweise bezüglich der mediierenden Rolle der Motivation beim Lernen mit selbst generierten Bildern. Allerdings konnte der Mediationseffekt der Motivation in der zweiten Studie nicht repliziert werden. Zudem wurde die Motivation nach dem Lesen der Instruktion nur vor der Lernphase erfasst. Vor diesem Hintergrund könnten weitere Studien, in denen die Motivation der Lernenden auch während des Lernens erfasst wird (z. B. Vollmeyer & Rheinberg, 1999), weitere sinnvolle Hinweise zur Rolle der Motivation erbringen. Darüber hinaus ergeben sich Hinweise auf die Wirksamkeit der hier eingesetzten *baseline*-Unterstützung als instruktionale Hilfe beim selbstständigen Generieren von Bildern. Allerdings handelt es sich bei dieser instruktionalen Hilfe um eine spezifische Zusammensetzung von relevanten Bildelementen und vorgegebenen Bildhintergründen. Die Frage, wieviel instruktionale Hilfe tatsächlich notwendig ist, bleibt demnach offen. Insofern könnten weitere Studien, in denen das Ausmaß der instruktionalen Hilfe z. B. in Form einer noch weiter reduzierten *baseline*-Unterstützung variiert wird, von Nutzen sein. Abschließend sollte zudem untersucht werden, inwiefern Vergleichsbilder dennoch als instruktionale Hilfen genutzt werden können, z. B. durch die Integration der aus der Forschung zum multimedialen Lernen bekannten Kohärenzbildungshilfen (Brünken et al., 2005; Seufert, 2003).

2.7 Literatur

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education, 33*, 131-151.
- Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial-verbal and analytic-holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology, 73*, 358-368.
- Alesandrini, K. L. (1984). Pictures and adult learning. *Instructional Science, 13*, 63-77.
- Baron, R. M. & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology, 51*, 1173-1182.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Bodemer, D., Plötzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive representations. *Learning and Instruction, 14*, 325-341.
- Boekarts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research, 31*, 445-457.
- Brünken, R., Seufert, T. & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 19*, 61-75.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Schnotz, W. & Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 15*, 16-27.
- Carney, R. N. & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review, 14*, 5-26.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*, 293-332.
- De Jong, T., Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., et al. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics. The use of multiple representations in technology-based learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. B. A. Boshuizen & T. de Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 9-40). Kidlington, Oxford: Elsevier Science.
- Ekstrom, R. B., French, J. W. & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Glenberg, A. M., Wilkinson, A. C. & Epstein, W. (1982). The illusion of knowing: Failure in the self-assessment of comprehension. *Memory and Cognition, 10*, 597-602.
- Hall, V. C., Bailey, J. & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology, 89*, 677-681.

- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision (KFT 4-12+ R)*. Göttingen: Hogrefe.
- Kozma, R. B. (2000). The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. In M. Jacobson & R. B. Kozma (Hrsg.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning* (S. 11-46). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kozma, R. & Russell, J. (1997) Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 949-968.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Multimedia learning of chemistry. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 409-428). New York: Cambridge University Press.
- Klauer, K. J. (1987). *Kriteriumsorientierte Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Lenzner, A. (2009). *Visuelle Wissenskommunikation: Effekte von Bildern beim Lernen. Kognitive, affektive und motivationale Effekte*. Hamburg: Kovac.
- Leopold, C. (2009). *Lernstrategien und Textverstehen*. Münster: Waxmann.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2002). Der Einsatz von Lernstrategien in einer konkreten Lernsituation bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, S. 240-258.
- Lesgold, A. M., DeGood, H. & Levin, J. R. (1977). Pictures and young children's prose learning: A supplementary report. *Journal of Reading Behavior*, 9, 353-360.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J. & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*, 67, 636-642.
- Leutner, D., Leopold, C. & den Elzen-Rump, V. (2007). Self-regulated learning with a text-highlighting strategy: A training experiment. *Zeitschrift für Psychologie*, 215, 174-182.
- Leutner, D., Leopold, C. & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25, 284-289.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2. Ed.). New York: Cambridge University Press.
- O'Donnell, A. M., Dansereau, D. F. & Hall, R. H. (2002). Knowledge maps as scaffolds for cognitive processing. *Educational Psychology Review*, 14, 71-86.

- Plass, J. L., Chun, D., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visualizer and verbalizer learning preferences in a second language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology, 90*, 25-36.
- Rasco, R. W., Tennyson, R. D. & Boutwell, R. C. (1975). Imagery instructions and drawings in learning prose. *Journal of Educational Psychology, 67*, 188-192.
- Rheinberg, F. (2000). *Motivation* (3. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer.
- Rheinberg, F. (2004). *Motivationsdiagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica, 47*, 57-66.
- Rode, C. (1999). *Secondary school students' diagrammatic literacy: Competencies and Deficits*. Paper presented at the 8th EARLI-Conference, Göteborg, Schweden.
- Rost, D. H. (1998). Leseverständnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 334-339). Weinheim: PVU.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review, 14*, 101-120.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 49-69). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction, 13*, 141-156.
- Schwamborn, A., Leopold C., Thillmann, H., Sumfleth, E. & Leutner, D. (2008). The efficiency of learning with presented vs. self-constructed pictorial representations. In A. Maes & S. Ainsworth (Hrsg.), *Exploiting the opportunities. Learning with textual, graphical and multimodal representations* (S. 131-134). Tilburg: Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction, 13*, 227-237.
- Seufert, T., Zander, S. & Brünken, R. (2007). Das Generieren von Bildern als Verstehenshilfe beim Lernen aus Texten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 39*, 33-42.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 19-30). New York: Cambridge University Press.

- Tirre, W. C., Manelis, L. & Leicht, K. (1979). The effects of imaginal and verbal strategies on prose comprehension by adults. *Journal of Reading Behavior*, 11, 99-106.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Orlando, FL: Academic Press.
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93, 129-140.
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A. & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 142-166.
- van Meter, P. & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17, 285-325.
- Van Someren, M. W., Reimann, P., Boshuizen, H. P. A. & De Jong, T. (Hrsg.). (1998). *Learning with multiple representations*. Oxford: Elsevier.
- Vekiri, I. (2002). What is the value of graphical displays in learning? *Educational Psychology Review*, 12, 261-312.
- Verdi, M. P. & Kulhavy, R. W. (2002). Learning with maps and texts: An overview. *Educational Psychology Review*, 14, 27-46.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1999). Motivation and metacognition when learning a complex system. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 541-554.
- Weidenmann, B. (Hrsg.) (1994). *Wissenserwerb mit Bildern*. Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (2006). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 423-476). Weinheim: Beltz.
- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (S. 315-327). New York: Macmillan.
- Zimmerman, B. J. & Schunk, D. H. (Hrsg.) (2001). *Self-regulated learning and academic achievement. Theoretical perspectives*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

3 Study III⁵

196 ninth grade students with a mean age of 14.7 years read a scientific text explaining the chemical process of doing laundry with soap and water, and then took three tests. Students who were instructed to generate drawings during learning scored higher than students who only read on subsequent tests of transfer ($d = .91$), retention ($d = .87$), and drawing ($d = 2.00$). For students who were instructed to generate drawings during learning, those who generated high-accuracy drawings (based on a median split) scored higher than students who generated low-accuracy drawings on subsequent tests of transfer ($d = .99$), retention ($d = .79$), and drawing ($d = 1.87$); and drawing-accuracy score during learning correlated with learning-outcome scores on transfer ($r = .57$), retention ($r = .50$), and drawing ($r = .82$). Results suggest that drawing can serve as a generative activity and as a prognostic activity.

Keywords: text comprehension, drawing, multimedia learning

3.1 Introduction

Suppose a student is reading a scientific text on the chemical processes involved in doing laundry with soap and water. You would like the student to engage in generative processing to deeply understand this science text (Mayer, 2005; Sweller, 1999; Wittrock, 1974, 1990, 1992), so you ask the student to use pencil and paper to draw a picture that reflects the important ideas from each paragraph of the text. Will this additional instruction to draw during learning help or hinder the student's understanding of the text? First, until now, there have been somewhat inconsistent empirical findings and theoretical explanations concerning learner-generated drawing during learning (van Meter & Garner, 2005). Thus, our primary goal in the present study is to test the *drawing as a generative activity hypothesis*, that is, the idea that appropriate drawing during learning will cause learners to construct better learning outcomes (as measured by tests of transfer, retention, and drawing). Second, little is known about whether the quality of the learner's drawing activity during learning is related to subsequent test performance. Thus, our secondary goal is to test the *drawing as a prognostic activity hypothesis*, that is, the idea that the quality of a learner's drawing during learning can serve as a formative assessment that predicts their performance on subsequent tests of learning outcome (such as transfer, retention, and drawing).

⁵ Based on a manuscript version of: Schwamborn, A., Mayer, R. E., Thillmann, H., Leopold, C. & Leutner, D. (2010). Drawing as a generative activity and drawing as a prognostic activity. *Journal of Educational Psychology*, 102 (4), 872-879.

Literature Review

Learner-generated drawing is a learning strategy in which learners are given text to read and asked to draw illustrations that correspond to the main elements and relations described in each portion of the text. A learning strategy is an activity that learners engage in during learning with the intention of improving their learning of the presented material (Weinstein & Mayer, 1986). In this study, learner-generated drawing is a learning strategy aimed at improving students' text comprehension. By drawing, the student has to translate the verbal text information into a picture that represents spatial relationships between functional elements referred to in the text content (Alesandrini, 1984; Carney & Levin, 2002).

Learner-generated drawing has been used as a learning strategy for text comprehension for a variety of to-be learned contents - for example, to improve narrative text learning (Lesgold, DeGood & Levin, 1977; Lesgold, Levin, Shimron & Guttman, 1975), as well as to improve scientific text comprehension in mathematics lessons (Rasco, Tennyson & Boutwell, 1975), mechanic lessons (Hall, Bailey & Tillman, 1997), chemistry lessons (Alesandrini, 1981; Leutner, Leopold & Sumfleth, 2009), and biology lessons (van Meter, 2001; van Meter, Aleksic, Schwartz, & Garner, 2006).

Does learner-generated drawing during text reading improve students' learning? Although there is some research on the effects of learner-generated drawing strategies, empirical results are mixed and methodological standards are not consistent (see Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005, for overviews). On the negative side, for example, Rasco, Tennyson, and Boutwell (1975) instructed 93 fourth and fifth grade students to draw illustrations or not as they read a mathematical text about the concepts of intersection and empty sets. The results showed that engaging in student-generated drawing did not improve students' performance on a multiple-choice test assessing retention of verbal information. In another study by Tirre and colleagues (Tirre, Manelis, & Leicht, 1979) with 80 undergraduate college students, those students who used a verbal strategy remembered more on a multiple-choice retention test than those who drew pictures while studying a number of text passages, including passages from science textbooks. In a recent study by Leutner, Leopold, and Sumfleth (2009), 111 tenth graders with a mean age of 16 years read a scientific text on the dipole character of water molecules, in which they were either instructed to draw pictures of text content or to mentally imagine text content while reading. Text comprehension was measured with a multiple-choice test on higher-order knowledge. Results revealed that drawing pictures, mediated through increased cognitive load, decreased text

comprehension, whereas mental imagery, although decreasing cognitive load, increased comprehension only when students did not have to draw pictures simultaneously. Thus, as in the previous studies, there was no benefit of the pure learner-generated drawing in this study.

In contrast, on the positive side, there is some research showing benefits of drawing strategies on text comprehension under certain circumstances. In a study by Alesandrini (1981), for example, 383 undergraduate college students who were instructed to draw pictures while reading a science chapter on electrochemistry concepts performed better on a post-test on knowledge, comprehension and application than learners who either wrote verbal paraphrases or repeatedly read the content. Additionally, some students were instructed to be either analytic, by focusing on details, or holistic, by relating specifics to more inclusive concepts. Results revealed weak positive effects of the drawing strategy for all learners as well as weak effects of the holistic strategy for females only. With respect to the process of drawing, it is important to mention that this study by Alesandrini (1981) showed effects of pure drawing, while the next reported studies included some additional instructional support for drawing.

In a related study, Lesgold, Levin, Shimron, and Guttman (1975) provided first grade students with cutout figures and instructed them to organize these into an accurate pictorial representation while listening to a prose story. This learner-generated illustration activity facilitated prose learning as indicated by higher recall of story propositions only when students were given the correct pieces for the illustration or had the illustration done for them. When students had to select the pieces for each illustration out of a pool of cutouts, the learner-generated illustration activity had either negative or no effect. These results were replicated when stories were increased in complexity and length (Lesgold, DeGood, & Levin, 1977).

Van Meter (2001) instructed 85 fifth and sixth graders with a mean age of 15 years to read a scientific text about the central nervous system. In three experimental conditions students used drawing with different instructional support, varying from just drawing without support, to providing illustrations after the drawing process, and to providing illustrations plus prompting questions after the drawing process. Students in the control condition read the science text with provided illustrations only. Students in the most supported condition constructed the most accurate drawings and also scored significantly higher on a free-recall post-test, but there were no differences on a recognition post-test. In a further study, van

Meter, Aleksic, Schwartz, and Garner (2006) instructed 69 fourth and 66 sixth graders to read a scientific text about the biology of a bird's wing. In the two experimental conditions students used drawing with different levels of additional instructional support, either with provided illustrations or with provided illustrations plus prompting questions. Students in the control condition read the scientific text with provided illustrations only. Results of this study revealed that students in the most supported drawing conditions outperformed students in the non-supported drawing condition on higher-order text comprehension. However, there were no drawing effects for fourth graders, nor were there any effects on the multiple-choice recognition post-test.

With respect to the quality of learner-generated drawing, it is important to note that some of the reported studies also focused on how accurately participants generated their drawings. Accuracy is defined as "the degree to which completed drawings resemble the represented object(s)" (van Meter & Garner, 2005, p. 299). Results, in general, revealed that participants who were able to generate high accuracy drawings scored higher on learning outcome tests than did those who generated lower accuracy drawings (e.g., Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006).

In sum, research on the learner-generated drawing strategy has not shown so far clear empirical evidence for or against the effectiveness of the learner-generated drawing strategy on text comprehension (van Meter & Garner, 2005). There are limitations due to a high variation in participants' age, learning content, control groups, drawing method, and performance assessment measures used across the studies. Participants' age ranged from first grade students (e.g., Lesgold et al., 1975, 1977) to college students (Alesandrini, 1981). Furthermore, participants using the drawing strategy were compared to participants who were instructed to read a text only (e.g., Leutner et al., 2009), participants who read a text with provided pictures (van Meter et al., 2006), or to participants using the drawing strategy with additional instructional activities (van Meter, 2001). Additionally, results depended on the assessment measure - that is, according to van Meter and colleagues (2001, 2005, 2006), drawing improves text comprehension on higher-order knowledge rather than on lower-order knowledge.

Finally, and most important, the methodology used to implement the drawing strategy is also inconsistent across different studies. Whereas some studies used the drawing strategy in its purest form - that is, students were just instructed to draw a picture according to the main ideas of the text (Alesandrini, 1981; Leutner et al., 2009) - there are others which

instructionally supported students' drawing processes (Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006). Results show that these studies using instructional support generally found a benefit of the drawing strategy. Especially, the studies of van Meter and colleagues (2001, 2006) give the strongest indication that the benefits of the learner-generated drawing strategy depend on the strategy instruction - that is, positive effects may depend on the instructional support. For example, the results of Leutner and colleagues' (2009) study indicate that students do not profit from learning with the pure, instructionally unsupported drawing instruction, because of increased cognitive demands caused by the logistics of managing one's drawing activity. Furthermore, there are strong indications that benefits of the learner-generated drawing strategy are mediated by the accuracy of the learner-generated drawings (e.g., Lesgold et al., 1975, 1977; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006).

In conclusion, studies on the learner-generated drawing strategy suggest some boundary conditions for the effectiveness of learner-generated drawing that warrant further study. In particular, we seek to explore the ideas that (a) learner-generated drawing can improve students' text comprehension when the mechanics of the drawing activity do not create excessive cognitive demands, and (b) the quality of the learners' drawings during learning is positively related to their learning outcomes.

Theoretical Framework and Predictions

Based on Mayer's (2009) *cognitive theory of multimedia learning*, van Meter and Garner's (2005) *generative theory of drawing construction* and Wittrock's (1990) *generative theory of learning* (all of which we refer to as *generative theory*), we draw three research-based principles of how people learn from words and pictures:

- (a) *separate channels principle* - learners have separate information processing channels for verbal and pictorial material,
- (b) *limited capacity principle* - learners can engage in only a limited amount of cognitive processing in each channel at any one time,
- (c) *active learning principle* - learners produce meaningful learning outcomes when they engage in appropriate cognitive processing during learning, including selecting relevant verbal and pictorial material, organizing the material into coherent verbal and pictorial representations, and integrating corresponding verbal and pictorial

representations with each other and with relevant knowledge activated from long-term memory.

Based on cognitive load theory (Sweller, 1999, 2005) and the cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2009), we posit three kinds of processing demands on the learner's limited processing capacity during learning:

- (a) *extraneous processing* - that is, cognitive processing that expends cognitive capacity but does not serve the instructional objective,
- (b) *essential processing* - that is, cognitive processing aimed at selecting relevant information and building a cognitive representation in working memory, and
- (c) *generative processing* - that is, cognitive processing aimed at making sense of the material by organizing it and integrating it with other knowledge.

Based on this analysis, a central challenge of instructional design is to promote appropriate active processing during learning (which can be called *generative processing*) while minimizing cognitive processing that is not related to the instructional objective (which can be called *extraneous processing*).

Consider what happens when students read an unfamiliar scientific text. They may be able to select some of the verbal material and represent it in working memory (which can be called *essential processing*) but they are not likely to also build a pictorial representation and integrate the verbal representation with it (which are the main features of *generative processing*). This learning outcome is less likely to support problem-solving transfer performance on a subsequent test. Next consider what happens when students read an unfamiliar scientific text and are asked to draw illustrations corresponding to the main elements and relations in each section. In reading the text, they select some of the verbal material and represent it in working memory, and in preparing to draw they reorganize the material into a verbal model. In drawing a corresponding illustration, they also construct a pictorial representation in working memory, organize it into a pictorial model, and build connections between the verbal and pictorial models. This learning outcome is more likely to support problem-solving transfer performance on a subsequent test.

What can go wrong with the drawing strategy? If managing the mechanics of drawing is too intrusive, learners may have to engage so much *extraneous processing* that they have insufficient remaining capacity for making sense of the text (i.e., generative processing).

Thus, an important logistical issue is to create a form of drawing activity that minimizes the creation of extraneous processing, by providing appropriate supports for drawing.

Based on generative theory we draw two basic predictions. The first prediction is that students who are asked to engage in drawing activity during learning will learn more deeply and therefore perform better on learning outcome tests including transfer, retention, and drawing. The rationale for this drawing as a generative activity prediction is that the act of drawing encourages appropriate generative processing such as building connections between verbal and pictorial representations of the material. The second prediction is that students in the drawing groups who produce more accurate drawings during learning will learn more deeply and thereby perform better on learning outcome tests including transfer, retention, and drawing. The rationale for this drawing as a prognostic activity prediction is that accurate drawing is an indicator that the learner has engaged in appropriate cognitive processing during learning.

What is the rationale for the learner-generated drawing strategy? According to van Meter and Garner's (2005) *generative theory of drawing construction*, a student reading a text and drawing a picture to this text, first has to select the information from the presented text, only having the information from the text available. Second, he or she has to organize the selected information to build up an internal verbal model of the text information. Based on this verbal representation the student constructs an internal non-verbal representation of the text information by activating stored referential links between selected verbal information and stored non-verbal representations. However, if the student has no adequate stored non-verbal representations because of low prior knowledge, he or she has to construct the non-verbal representation purely based on the verbal representation. The verbal representation also guides the organization of the non-verbal representation into a coherent mental image of the text content, i.e., spatial relationships between different elements. This mental image serves as the foundation for the student's external drawing. That is, in order to generate an external drawing, the integration of the two internal representations - verbal and non-verbal representation - is necessary. Furthermore, the drawing process in all is not linear. If the student may experience difficulties when building up the mental image or the external drawing, he or she may refer back to either the internal verbal representation or even to the text to detect comprehension errors (van Meter, 2001).

In conclusion, according to van Meter and Garner (2005), instructing students to draw a picture of the text content as they read a text encourages them to actively engage in cogni-

tive and meta-cognitive processing and thus fosters deep level understanding of the to-be-learned material. First, encouraging students' active engagement in the three cognitive processes, especially in the integration of the internal verbal and pictorial models, is an instructional goal for generating a drawing on a sheet of paper (van Meter, 2001; van Meter & Garner, 2005). Second, the transformation of verbal information into a pictorial representation by drawing pictures is also intended to foster meta-cognitive strategies (van Meter, 2001). Conclusions are in compliance with generative theory ideas according to which deep level understanding occurs when students are encouraged to engage in productive learning activities (de Jong, 2005; Kirschner, Sweller, & Clark, 2006; Klahr & Nigam, 2004; Lillard, 2005; Mayer, 2003, 2004). Drawing a picture corresponding to a text, thus, can be a productive learning activity - encouraging generative processing.

However, drawing as a productive learning activity does not automatically guarantee deep level understanding, but rather can lead to problems concerning the process as well as the product of drawing. First, with respect to the process of drawing, research on learning strategies (Bjorklund, Coyle & Gaultney, 1992; Flavell, 1979; Hasselhorn, 1995; Hübner, Nückles, & Renkl, 2010) indicates that students can have problems with using a strategy and thus can fail in profiting from it. For example, students may not be able to use a strategy improving their text comprehension because they do not possess the necessary cognitive requirements (mediation deficiency); or they may not be familiar with strategy use and thus do not profit from it (utilization deficiency); or they may even be able to use a strategy and benefit from it, but they may not use the strategy spontaneously (production deficiency). According to the cognitive load theory (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1999, 2005) and the cognitive theory of multimedia learning (Mayer, 2001, 2005; Mayer & Moreno, 2003), meaningful learning requires learners to engage in appropriate cognitive processing during learning - e.g., organizing and integrating. On the other hand, learner-generated activities - e.g., the learner-generated drawing strategy - may also place extraneous cognitive processing as students must focus on how to generate a drawing, thereby leaving less cognitive resources available for essential and generative processing, and, as a potential consequence, reducing meaningful learning (Chandler & Sweller, 1991; Mayer, 2001, 2005; Mayer & Moreno, 2003; Sweller, 1999, 2005). Correspondingly, research on the learner-generated drawing strategy so far has produced mixed results on the benefits of the strategy, however, with indication of drawing being a highly demanding cognitive task. Thus, learners need instructional support in order to reduce extraneous processing and to

make more capacity available for actually engaging in generative processing (Stull & Mayer, 2007).

Second, with respect to the product of drawing, research on multimedia learning has shown that students can profit from learning with provided text and pictures when the instructional and content-based quality of the learning materials is high (Mayer, 2009; Carney & Levin, 2002). Correspondingly, research on the learner-generated drawing strategy has shown that benefits of strategy use strongly depend on the quality of the learner-generated picture. Thus, learners may need instructional support in order to generate high-quality drawings.

Outline of the Present Study

In the present study we asked students to read a science text for comprehension with either no additional support (control group) or under one of four experimental drawing conditions (drawing groups). To minimize cognitive demands of the generating process and to increase the quality of the generated drawings, all drawing conditions received a baseline instructional support by giving them a drawing prompt which included a toolbar showing (and labelling) all the relevant elements for drawing and providing a partly pre-drawn background for their drawing.

To provide additional support beyond this baseline support, three drawing conditions were either additionally prompted to use (a) a highlighting strategy to support the selection of relevant information, (b) a mental imagery strategy to support the organization and integration of to-be learned information, or (c) to use both. We chose highlighting and imagining because they are common learning strategies for text comprehension. Highlighting involves asking learners to mark single words or parts of sentences that are most important in a text, in order to direct learners' attention to important information (Anderson & Armbruster, 1984; Hartley, Bartlett, & Branthwaite, 1980). According to Weinstein and Mayer (1986) highlighting text information when learning from an expository text is a cognitive learning strategy, supporting the identification of important information and the storage of this information in working memory - that is, text-highlighting strategies seem to support the selection process. Research on the text-highlighting strategy has shown that text-highlighting can be an effective learning strategy at least in some studies, depending on how students are trained in using the strategy and in regulating strategy application in such

a way that the specific goals of the strategy are achieved (Dumke & Schäfer, 1986; Hartley, Bartlett, & Branthwaite, 1980; Leutner, Leopold & den Elzen-Rump, 2007; Peterson, 1992; Rickards & August, 1975; Schellings, van Hout-Wolters, & Vermunt, 1996).

Furthermore, there is some evidence on the effectiveness of the mental imagery strategy on students' text comprehension (e.g., Cooper, Tindall-Ford, Chandler, & Sweller, 2001; Leutner et al., 2009; Zwaan, 2004). Generating internal analogue representations seems to be a highly automatic process that facilitates the construction of a mental model and occurs when learners listen to verbal narrations or when reading a text (see Zwaan, 2004). Thus, when using the imagery strategy students are instructed to imagine verbal content, that is, have to mentally transform verbal information into a pictorial representation. This transformation process is supposed to foster deeper processing by supporting organization and integration processes and therefore to facilitate text comprehension (Leutner et al., 2009). Accordingly, Leutner and colleagues (2009) could show that constructing mental images seemed to reduce cognitive load and to increase comprehension. However, there were no benefits of a mental imagery strategy when students were instructed to generate a drawing of the text content and after that use a mental imagery strategy that focused on mentally imagining that drawing. In the present study, we are interested in determining whether adding highlighting and/or imagining activities adds any benefit beyond the baseline drawing activity.

3.2 Method

Participants and Design

One hundred and ninety-six German 9th graders in higher track secondary schools participated in this study. Mean age was 14.7 years ($SD = 0.6$), and 52% were female. There were five treatment groups: 39 students served in the control group, 40 served in the drawing group, 39 served in the drawing + selecting group, 39 served in the drawing + organizing/integrating group, and 39 served in the drawing + selecting/organizing/integrating group.

Materials

The materials consisted of five adjunct tests, five learning booklets, and three posttests.

The five adjunct tests - intended to determine whether the groups were equivalent on basic characteristics - included a participant questionnaire, a prior knowledge pre-test, a spatial ability test, a verbal ability test, and a motivation questionnaire, each printed on sheets of paper. The participant questionnaire solicited demographic information, such as age, sex, and recent chemistry grade. The prior knowledge pre-test consisted of two open-ended questions on comprehension of basic principles about the chemistry of doing laundry with soap and water (Item 1. “Please, explain the surface tension of water”; Item 2. “Please, describe the dirt removing process that takes place when doing laundry with soap and water”). The verbal ability test consisted of 20 multiple-choice verbal analogy items from the cognitive capability test developed by Heller and Perleth (2000). Each item presents a pair of related words and another single word. The student’s task is to choose from five alternative words the one that has the same relationship to the single word as represented by the given pair of words. The spatial ability test consisted of 10 multiple-choice paper-folding items developed by Ekstrom, French, and Harman (1976). The motivation questionnaire consisted of nine items from the challenge and interest subscales of the Questionnaire on Current Motivation (QCM) developed by Rheinberg, Vollmeyer and Burns (2001), intended to assess students’ current motivation for doing the learning task after reading the instruction. An example item, translated from the original German, is: “After reading the instruction I think that the task is interesting” [rating on a seven-point Likert-scale from “that is not right” ... “that is right”].

The five learning booklets each included a science text about the chemistry of doing laundry with soap and water. The text explained the causal steps in the washing process. The text consisted of approximately 1000 words (in German) and was divided into six paragraphs. Table 3.1 presents the text from the second paragraph of the lesson.

- Control version of the learning booklet: Here the text was extended by four additional text paragraphs in order to match learning time across groups. This additional text dealt with non-chemical details about soap and washing.
- Drawing version of the booklet: Here there were six pairs of facing pages with a text paragraph on the left page and a two-part drawing prompt on the right page. The first part of the drawing prompt included a toolbar showing all the relevant elements for

drawing a picture for that text paragraph (as shown on the left of Figure 3.1). The second part of the drawing prompt included a partly pre-drawn background for students' drawing (as shown on the right of Figure 3.1).

- Drawing + Selection version of the booklet: Here right beneath the science text, there was the additional instruction to underline the most important information in the text before drawing the picture.
- Drawing + Organizing/Integrating version of the booklet: Here right beneath the science text, there was the additional instruction to mentally imagine the text content before drawing the picture.
- Drawing + Selecting/Organizing/Integrating version of the booklet: Here right beneath the science text, there was the additional instruction to underline the most important information in the text first and then to mentally imagine the text content, before drawing the picture.

To make sure that students in the drawing + organizing/integrating condition as well as in the drawing + selecting/organizing/integrating condition mentally imagined the text content before drawing, the drawing prompt firstly was not visible to those students and had to be unfolded after reading and mentally imagining the content of each text paragraph. All learning materials were developed by the first author in cooperation with a chemistry teacher and by extracting relevant contents from several schoolbooks.

Table 3.1: Text from the second paragraph of the washing lesson

<p>II. The Surface Tension of Water</p> <p>As we have explained to you in the preceding paragraphs, water molecules attract each other due to dipole-dipole-forces and form hydrogen bonds. Inside a liquid, these attractive forces compensate each other because they act upon each water molecule equally from all directions. This, however, is different for water molecules at the surface. Water molecules at the surface cannot form upward hydrogen bonds because there are no water molecules above them. Yet, there are water molecules to the sides and downwards that attract water molecules at the surface. Therefore, mutual attractive forces of the water molecules do not compensate each other at the surface as they do inside the liquid, but they act stronger towards the liquids inside. Hence, the strong surface tension of water results, which you can observe, e.g., when a paper clip floats on the water surface and does not sink.</p>
<p><i>Note. Translated from the original German</i></p>

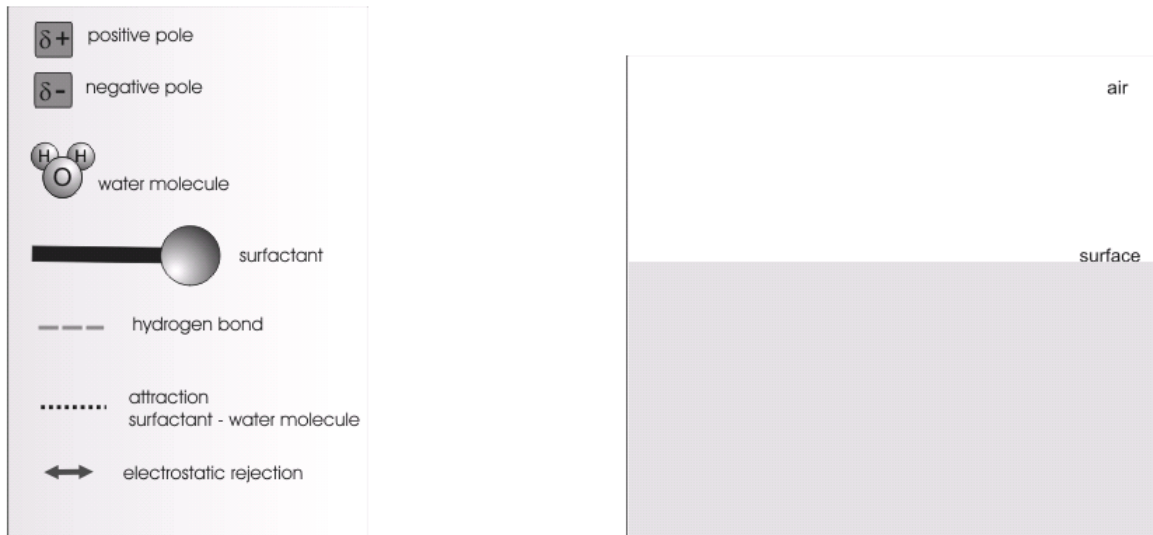


Figure 3.1: Illustration of the drawing prompt for the second paragraph in the drawing version of the learning booklet

The three posttests, intended to assess the learning outcomes, were the transfer test, retention test, and drawing test. The transfer test (Cronbach's $\alpha = 0.64$) consisted of 3 open-ended questions intended to assess the learner's ability to transfer what was presented to new situations. An example is: "Suppose you would like to clean a table which is soiled with marker tint. If you would try to clean it with water nothing will happen, using acetone, however, it will run. Please explain why it runs with acetone. Advise: Acetone acts like surfactants." The retention test consisted of 13 multiple-choice items (Cronbach's $\alpha = 0.66$) intended to assess the learner's comprehension of the factual and conceptual information covered in the six paragraphs of the science text. An example is: "How does the surface tension of water arise? (a) rejection forces between water molecules, (b) attraction forces between water molecule and air, (c) imbalance of attraction forces at the surface, or (d) balance of attraction forces at the surface" [c is the correct answer]. The drawing test (Cronbach's $\alpha = 0.73$) was intended to assess students' comprehension of the conceptual information presented in the science text by means of drawing. It consisted of 3 drawing items, in which students were asked to draw sketches depicting key concepts of the text and their spatial relations. An item example for the drawing test is "Adding soap to water, which impact does this have on the surface tension of water? Please draw a picture."

Procedure

Participants were tested in classrooms at their schools. Within their classes, students were randomly assigned to one of the five conditions. The control condition, the drawing condition, and the drawing + selecting condition were tested in one classroom; the drawing + organizing/integrating and the drawing + selecting/organizing/integrating condition were tested at the same time in another classroom. Each student was seated at an individual desk.

First, students were given the participant questionnaire and the science pre-test to complete at their own rate. Second, students were given instructions for the paper-folding test and were allowed three minutes to take the test. Third, students were given the motivation questionnaire to complete at their own rate. Fourth, students were given instructional booklets corresponding to their assigned group and had 35 minutes to learn the material. Students were instructed to carefully read the text on the chemistry of doing laundry with soap and water in order to comprehend the material. Students in the drawing condition were instructed to read the text, and additionally to draw pictures for each text paragraph using the drawing prompt representing the main ideas of each text paragraph. Students in the drawing + selecting condition were instructed to read the text, to underline the main ideas of the text paragraph, and then to draw a picture using the drawing prompt representing the main ideas of each text paragraph. Students in the drawing + organizing/integrating condition were instructed to read the text, to mentally imagine the main ideas of the text paragraph, and then to draw a picture using the drawing prompt representing the main ideas of each text paragraph. Students in the drawing + selecting/organizing/integrating condition were instructed to read the text, to underline the main ideas of the text paragraph, then to mentally imagine the main ideas of the text paragraph and finally to draw a picture using the drawing prompt representing the main ideas of each text paragraph. Students in the control group were instructed to read the text for comprehension, but were not instructed to engage in drawing, highlighting, or imagining. In order to increase the time between reading the text and testing text comprehension a short break (five minutes) without talking to each other followed. After the break students received the post-tests consisting of the transfer test, the drawing test, and the retention test. Students had 30 minutes to work on the post-tests, and did not have access to the science text or their drawings. Next, students were given the verbal ability test and were allowed to take seven minutes on the verbal

ability test. Finally, students were debriefed and thanked. Overall, the whole procedure took about 120 minutes.

3.3 Results

Scoring

As an indicator of prior knowledge we computed the prior knowledge score for each participant by counting the total number of correct main ideas in each learner's answer to each of the two questions of the prior knowledge pre-test. The main ideas were extracted from an expert reference answer that was constructed by a science teacher and the first author of this paper. Students could earn a maximum of 3 points on each answer, yielding a total possible of 6 points. Students' answers were scored by two raters with reliable interrater agreement of Goodman-Kruskal gamma = .98.

The spatial ability score was determined by tallying the number correct out of 10; the verbal ability score was determined by tallying the number correct out of 20; and the motivation score was computed by tallying the nine ratings on both subscales to a total score of motivation.

The transfer test score was computed for each learner by counting the total number of correct solution ideas in written answers to each of the three open-ended questions of the transfer test. The correct solution ideas were extracted from an expert answer that was constructed by a science teacher and the first author of this paper. Students could earn a maximum of 12 points on the transfer test. Students' answers were scored by two raters with reliable interrater agreement of Goodman-Kruskal gamma = .92.

The retention test score was computed by awarding one point for each correct answer, and the points for each question were added up to compute the total retention score (out of a total possible of 13 points).

The drawing test score was computed by counting the total number of correct main ideas in each learner's answer across the three drawing items, based on an expert reference visualization supported by a checklist, specifying these main ideas. The expert-visualizations and checklist were constructed by a science teacher and the first author of this paper. Students could earn a maximum of 15.5 points on the drawing test. Students' answers were scored by two raters with reliable interrater agreement of Goodman-Kruskal gamma = .93.

To assess the quality of learner-generated drawings constructed by the four drawing groups during the learning phase, we computed a drawing-accuracy score for each of the six drawings by using a coding scheme. This coding scheme was based on six expert reference drawings and a checklist specifying important features of the drawing. Students could earn a maximum of 27 points on the drawing test. Two raters scored each of the six learner-generated drawings for each student with an acceptable interrater agreement of Goodman-Kruskal gamma = .91.

Finally, for comparing performance across the different tests, we computed proportion correct on each test by dividing the student's obtained score by the total possible score.

Are the Groups Equivalent on Basic Characteristics?

Before looking at treatment effects on the dependent variables, we analyzed whether the five experimental groups differed on several basic characteristics. A chi-square analysis indicated that there were no significant differences in gender ($p > .05$). Separate one-way analyses of variance revealed that the groups did not differ significantly on age ($F(4, 191) = 1.59, p = 0.18$; prior knowledge, $F(4, 191) = 1.0, p = 0.27$; verbal ability, $F < 1$; spatial ability, $F < 1$; or motivation, $F(4, 191) = 2.09, p = 0.08$). As a complementary analysis, we conducted analyses of covariance, which also yielded no evidence that any of the effects of treatment is moderated or mediated by prior knowledge, verbal ability, spatial ability or current motivation. In particular, ANCOVAs including prior knowledge ($M = 0.1$ % correct, $SD = 0.3$), verbal ability ($M = 49.7$ % correct, $SD = 15.4$), spatial ability ($M = 29.0$ % correct, $SD = 29.7$), and current motivation ($M = 41.8$ % agreement, $SD = 12.4$) as covariates in the linear model and testing the statistical interaction of these covariates and treatments, revealed statistically nonsignificant effects ($0.89 < F(4, 172) < 1.42$). Overall, we conclude that the groups were equivalent on basic characteristics.

Drawing as a Generative Activity: Do Students Learn Better When They Are Asked to Generate Drawings While Reading a Science Text?

The major goal of this study is to determine the cognitive consequences of learner-generated drawings, that is, we are interested in whether asking students to generate drawings to represent science text can serve as an effective learning strategy. The left portion of Table 3.2 summarizes the mean proportion correct on the transfer test for students who did

not generate drawings while reading (control group), and the four groups that generated drawings while reading along with various forms of instructional support (drawing groups). There was a significant main effect of treatment on the transfer test scores, $F(4, 191) = 7.47, p < .001$, partial $\eta^2 = 0.14$. Based on a Tukey test (with $p < .05$), the control group performed significantly worse than each of the four drawing groups, which did not differ significantly from each other.

The middle portion of Table 3.2 summarizes the mean proportion correct on the retention test for the five groups. There was a significant main effect of treatment on the retention test scores, $F(4, 191) = 7.16, p < .001$, partial $\eta^2 = 0.13$. Based on a Tukey test (with $p < .05$), the control group performed significantly worse than each of the four drawing groups, which did not differ significantly from each other.

The right portion of Table 3.2 summarizes the mean proportion correct on the drawing test for the five groups. There was a significant main effect of treatment on the drawing test scores, $F(4, 191) = 25.63, p < .001$, partial $\eta^2 = 0.35$. Based on a Tukey test (with $p < .05$), the control group performed significantly worse than each of the four drawing groups, which did not differ significantly from each other.

Focusing only on the two groups that did not receive additional instructional support, the drawing group significantly outperformed the control group on the transfer test, $t(77) = 4.22, p < .001$, on the retention test, $t(77) = 3.83, p < .001$, and on the drawing test, $t(77) = 7.85, p < .001$. The effect size favoring the drawing group over the control group was $d = 0.91$ for the transfer test, $d = 0.87$ for the retention test, and $d = 2.00$ for the drawing test, all of which are considered large effects.

Adding any of the three types of instructional support neither helped nor hindered students beyond the positive effects of asking students to generate drawings during learning, perhaps because the act of generating drawings was sufficient to promote appropriate cognitive processing during learning. Overall, there is clear and consistent evidence for the *drawing generation effect*: Asking students to generate drawings while reading a science text resulted in better learning outcomes than not asking students to generate drawings while reading. In short, asking students to generate drawings to represent verbal explanations in science text served as an effective learning strategy.

Table 3.2: Mean proportion correct on the transfer test, retention test, and drawing test for the five groups

Group	Transfer test		Retention test		Drawing test		
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Control	39	.12	.15	.47	.20	.07	.10
Drawing	40	.28	.16	.64	.19	.47	.30
Drawing + Selecting	39	.25	.20	.61	.20	.49	.20
Drawing + Organizing/Integrating	39	.30	.18	.63	.18	.47	.24
Drawing + Selecting/Organizing/Integrating	39	.32	.22	.69	.18	.50	.24

Drawing as a Prognostic Activity. Can Learner-Generated Drawings During Learning Serve as a Prognostic Indicator of Learning Outcome?

First, the mean proportion correct on drawing accuracy during learning was .46 ($SD = .23$) for the drawing group, .47 ($SD = .18$) for the drawing + selecting group, .46 ($SD = .18$) for the drawing + integrating/organizing group, and .50 ($SD = .20$) for the drawing + selecting/organizing/integrating group. The groups did not differ significantly in the accuracy of their drawings, $F < 1$. This lack of group differences allows us to pool the data of the four drawing groups for subsequent analyses.

Second, a correlation analyses based on the combined data from the four drawing groups revealed that the drawing-accuracy score of learner-generated drawings that learners produced during learning correlated significantly with each of the three learning outcome measures: transfer test, $r = .57$, $p < .01$; retention test, $r = .50$, $p < .01$; and drawing test, $r = .82$, $p < .01$. This pattern of results shows a strong positive relation between the quality of a student's drawings during learning and the student's performance on learning outcome tests.

Third, as shown in Table 3.3., we classified each student in the four drawing groups as a high- or low-accuracy drawer based on a median split of the drawing-accuracy score (i.e., the accuracy of the drawings generated during learning). The mean proportion correct was .64 ($SD = .11$) for the high-accuracy drawers and .31 ($SD = .11$) for the low-accuracy drawers, $t(155) = 18.78$, $p < .001$, $d = 3.00$. T-tests revealed that the high-accuracy drawers significantly outperformed low-accuracy drawers on each of the learning outcome meas-

ures: transfer test, $t(155) = 6.21, p < .001$; retention test, $t(155) = 4.98, p < .001$; and the drawing test, $t(155) = 11.71, p < .001$. The effect size favoring the high-accuracy drawers over the low-accuracy drawers was $d = 0.99$ for the transfer test, $d = 0.79$ for the retention test, and $d = 1.87$ for the drawing test, all of which are considered large effect sizes. This pattern is consistent with the idea that the accuracy of students' drawings during learning is prognostic of their performance on learning outcome tests

Overall, we found strong and consistent evidence of a *drawing predictor effect* in which the quality of student-generated drawings produced during learning from a science text is related to the quality of learning outcomes. In short, if you know about the accuracy of a student's self-generated drawings during learning from a science text then you can accurately predict how well the student will do on a subsequent test of learning outcome.

Table 3.3: Mean proportion correct on the transfer test, retention test, and drawing test by low- and high-accuracy drawers from all four drawing groups combined

Group	Transfer test		Retention test		Drawing test		
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Low drawing accuracy	80	.21	.16	.32	.18	.57	.17
High drawing accuracy	77	.38	.18	.66	.18	.71	.18

3.4 Discussion

Empirical Contributions

The main empirical contribution of this study is that students learned better from reading a scientific text - i.e., a step-by-step explanation of how a system works - when they are asked to draw illustrations corresponding to the state of the system for each paragraph they read. In particular, the results reflect a *generative drawing effect* in which students who are asked to draw as they read perform better on subsequent retention, transfer, and drawing tests than do students who read without being allowed to draw.

The secondary empirical contribution of this study is that students who perform well on drawing while reading a scientific text tended to do well on retention, transfer, and drawing tests. In particular, the results reflect a *prognostic drawing effect* in which the quality of

drawing performance during learning predicts the quality of the student's learning outcome.

Theoretical Contributions

The primary results are consistent with generative theory, which posits that people learn better when they are encouraged to engage in generative cognitive processing during learning. Generative processing involves mentally organizing the presented material into coherent verbal and pictorial representations, and mentally integrating corresponding verbal and pictorial representations with each other and with relevant prior knowledge activated from long-term memory. The act of drawing illustrations that correspond to the state of the system described in each paragraph of a scientific text causes learners to exert cognitive effort to better represent the text as a coherent verbal structure, to represent the text as a pictorial structure, and to make mental connections between the two structures and the prior knowledge used to guide their construction. In short, the drawing activity encourages the learner to engage in multimedia learning (Mayer, 2009) by mentally building and connecting verbal and pictorial representations.

A potential threat to these generative cognitive processes during learning is that the mechanics of drawing may be so tedious that it causes the learner to devote too much cognitive capacity to extraneous processing - cognitive processing that does not serve the instructional goal of understanding the text. In the present study, we sought to minimize extraneous processing by providing the learner with a drawing prompt consisting of a toolbar showing all the relevant elements for drawing a picture for that text paragraph and a background upon which to make the drawings. By constraining the learner's drawing alternatives, we sought to minimize the amount of processing the learner had to devote to making decisions about drawing logistics. Overall, the results are consistent with the idea that the drawing activity fostered additional generative processing while minimizing additional extraneous processing.

We note that all four of the different drawing conditions were equally effective in this study. Apparently, the additional activities of highlighting and imagining were not needed because the drawing activity was successful in priming the needed cognitive processing during learning. Thus, this study is in line with earlier studies reviewed in the introduction that showed the positive effects of learner-generated drawing under the condition that in-

structional support is provided to constrain and structure the drawing activity. In contrast to the mixed results described in the literature review, we found clear results for the generative effects of drawing, which we attribute to providing scaffolding for the drawing activity. In particular, the results of this study suggest that even a minimal instructional support such as the drawing prompt used in this study can be sufficient to make learner-generated drawings effective.

The secondary results are also consistent with generative theory, which posits that people who engage in generative processes during learning are more likely to construct meaningful learning outcomes. The quality of drawing during learning is a reflection of the quality of generative processing during learning, whereas scores on subsequent retention, transfer, and drawing tests are a reflection of the quality of learning outcome. In short, students who performed well on the drawing activity during learning tended to perform well on learning outcome tests after learning.

Practical Contributions

Based on these findings and earlier results reviewed in the introduction, we propose a *generative drawing principle*: People learn better from a scientific text when they are asked to draw illustrations representing the relations among the core elements in the text. In short, when implemented in a way that minimizes extraneous activity by the learner, asking learners to draw illustrations as they read can facilitate their learning of the presented material.

Based on these findings we also propose a *prognostic drawing principle*: The quality of learners' drawings during learning predicts the quality of their learning outcomes. In short, students' drawings during learning can serve as an embedded formative assessment of how well they understand the presented text. That is, both teachers and learners can use the quality of the drawings as part of learning instruction that provides formative feedback. The teacher, on the one side, receives learner related information, which may be able to be used as the basis for changing future instruction and for feeding results back to the learner. The learner, on the other side, receives feedback, which may be able to be used to modify his or her future drawings during learning and thus improving future learning (see Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008, for overviews).

Limitations and Future Directions

The presented study is limited in some areas that should be investigated in future studies. First, in the control group the text was extended by four additional paragraphs in order to match overall learning time across groups. Critics could argue that the additional paragraphs may have caused the control group to spend less time reading the relevant content, thereby contributing to the generative drawing effect. Several factors mitigate against this interpretation. Based on pilot research, we found that the control group had sufficient time to complete reading the relevant content. We also note that students in the drawing group spent considerable time on the drawing activity, which may have caused them to spend less time reading the relevant content, similar to the control group. Finally, the internal validity of our results can be checked by looking at the learning performance of the control group, the low accuracy drawing group and the high accuracy drawing group (see Table 3.2 and Table 3.3). Calculating effect sizes from analyses of variance (following Jaccard, 1998) shows that the effect sizes favoring the low accuracy drawing group over the control group are $d = 0.52$ for the transfer test, $d = 0.57$ for the retention test, and $d = 1.46$ for the drawing test. Thus, these differences between the control group and those students who showed low drawing accuracy represent either the generative drawing effect or a time advantage for focusing on relevant content or even both. However, when comparing the low-accuracy drawing group with the high accuracy drawing group the time for focusing on relevant content is the same in both groups. Thus, performance differences do not represent a pure time advantage of one group toward the other group. If one accepts the idea that using a strategy inadequately is like not using the strategy, then the low-accuracy drawing group represents a suitable control group for testing the generative drawing effect. Following this idea differences between the low accuracy drawing group and the high accuracy drawing group represent a pure generative drawing effect. Accordingly, the effect sizes favoring the high accuracy drawing group over the low accuracy drawing group, both having had the same learning time for focusing on relevant content, are $d = 1.02$ for the transfer test, $d = 0.77$ for the retention test, and $d = 2.00$ for the drawing test. The effect sizes favoring the high accuracy drawing group over the control group are $d = 1.54$ for the transfer test, $d = 1.34$ for the retention test, and $d = 3.47$ for the drawing test. Thus, there is reasonable evidence that the performance differences between the control group and the drawing groups do not represent a pure time advantage but rather represent the *generative drawing effect*

proposed in this study. To insure this analysis is appropriate, researchers should consider using a control condition that does not have added paragraphs.

Second, future work is needed to determine why the additional instructional supports (highlighting and imagining) did not produce an effect on learning outcomes in this study when combined with the drawing activity. The level of training in using the instructional supports given to participants in our study was minimal. Learners well trained in how to highlight and to imagine might have benefited more. It might be assumed that students who are trained in using the strategy and in regulating strategy application in such a way that the specific goals of the strategy are achieved would perform better (Leutner et al., 2007). In particular, it would be useful to determine if the instructional supports produce an effect on learning outcomes when students are trained in the strategy use. However, a claim could also be made that the instructional supports (highlighting and imagining) did not produce an effect on learning outcomes in our study, as perhaps the drawing activity and the instructional supports prime the same cognitive processes during learning. In particular, it would be useful to determine if the instructional supports produce an effect on learning outcomes when they are not combined with the drawing activity.

Third, future work is needed to determine how best to implement a drawing activity that does not create excessive extraneous processing. In particular, it would be useful to vary the amount of baseline drawing support given to the learner ranging from high support as in this study (e.g., giving the learner a partially drawn background and a toolbar that presents and labels of each element) to low support (e.g., giving the learner only a blank page).

Fourth, future work is needed to determine the degree to which a drawing activity can affect other kinds of learning material in addition to scientific text, and other kinds of learners such as those with high or low prior knowledge.

Fifth, as participants in our study were tested immediately after the reading, future work is needed to investigate the longer-term effects of the generative drawing effect on learning outcomes.

Finally, the conclusions are based on a single study so replication studies would be useful.

3.5 References

- Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial-verbal and analytic-holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology, 73*, 358-368.
- Alesandrini, K. L. (1984). Pictures and adult learning. *Instructional Science, 13*, 63-77.
- Anderson, T. H., & Armbruster, B. B. (1984). Content area textbooks. In R. C. Anderson, J. Osborn, & R. J. Tierney (Eds.), *Learning to read in American schools* (pp. 193-224). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bjorklund, D. F., Coyle, T. R., & Gaultney, J. F. (1992). Developmental differences in the acquisition and generalization of an organizational strategy: Evidence for the utilization deficiency hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology, 54*, 434-448.
- Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review, 14*, 5-26.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*, 293-332.
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 7*, 68-82.
- De Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 215-228). New York: Cambridge University Press.
- Dumke, D., & Schäfer, G. (1986). Verbesserung des Lernens aus Texten durch trainiertes Unterstreichen [Better learning from text by trained underlining]. *Unterrichtswissenschaft, 33*, 210-219.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Flavell, J. H. (1970). Developmental studies of mediated memory. In L. Lipsett & H. Reese (Eds.), *Advances in child development and behavior*, Vol. 5. (pp. 181-211). New York: Academic Press.
- Hall, V. C., Bailey, J., & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology, 89*, 677-681.
- Hartley, J., Bartlett, S., & Branthwaite, A. (1980). Underlining can make a difference - sometimes. *Journal of Educational Research, 73*, 218-224.
- Hasselhorn, M. (1995). Beyond production deficiency and utilization inefficiency: Mechanisms of the emergence of strategic categorization in episodic memory tasks. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory development and competencies: Issues in growth and development* (pp. 141-159). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Heller, K. A., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision [Cognitive ability test for grades 4-12, revised version]*. Göttingen: Hogrefe.

- Hübner, S., Nückles, M., & Renkl, A. (2010). Writing learning journals: Instructional support to overcome learning-strategy deficits. *Learning and Instruction, 20*, 18-29.
- Jaccard, J. (1998). *Interaction effects in factorial analysis of variance*. Newbury Park: Sage.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist, 41*, 75-86.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science, 15*, 661-667.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin, 119*, 254-284.
- Lesgold, A. M., DeGood, H., & Levin, J. R. (1977). Pictures and young children's prose learning: A supplementary report. *Journal of Reading Behavior, 9*, 353-360.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J., & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology, 67*, 636-642.
- Leutner, D., Leopold, C., & Den Elzen-Rump, V. (2007). Self-regulated learning with a text-highlighting strategy: A training experiment. *Journal of Psychology, 215*, 174-182.
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior, 25*, 284-289.
- Lillard, A. S. (2005). *Montessori: The science behind the genius*. New York: Oxford University Press.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist, 59*, 14-19.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and instruction* (2nd ed). Upper Saddle River, NJ: Pearson Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*, 43-52.
- Rasco, R. W., Tennyson, R. D., & Boutwell, R. C. (1975). Imagery instructions and drawings in learning prose. *Journal of Educational Psychology, 67*, 188-192.

- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen [QCM: A questionnaire to assess current motivation in learning situations]. *Diagnostica, 47*, 57-66.
- Rickards, J. P., & August, G. J. (1975). Generative underlining strategies in prose recall. *Journal of Educational Psychology, 67*, 860-865.
- Schellings, G. L. M., van Haut-Wolters, B. H. A. M., & Vermunt, J. D. (1996). Individual differences in adapting to three different tasks of selecting information from texts. *Contemporary Educational Psychology, 21*, 423-446.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research, 78*, 153-189.
- Stull, A. T., & Mayer, R. E. (2007). Learning by doing versus learning by viewing: Three experimental comparisons of learner-generated versus author-provided graphic organizers. *Journal of Educational Psychology, 99*, 808-820.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Tirre, W. C., Manelis, L., and Leicht, K. (1979). The effects of imaginal and verbal strategies on prose comprehension by adults. *Journal of Reading Behavior, 11*, 99-106.
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology, 69*, 129-140.
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology, 31*, 142-166.
- van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawings: literature review and synthesis. *Educational Psychology Review, 12*, 261-312.
- Weinstein, C. E., & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 315-327). New York: Macmillan.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative activity. *Educational Psychologist, 11*, 87-95.
- Wittrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist, 24*, 345-376.
- Wittrock, M.C. (1992). Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist, 27*, 531-541.
- Zwaan, R. A. (2004). The immersed experience: Toward an embodied theory of language comprehension. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 44 (pp. 35-62). New York: Academic Press.

4 Study IV⁶

This study investigated whether learning from science texts can be enhanced by providing learners with different forms of visualizations (pictures) in addition to text. One hundred two 9th and 10th graders read a computer-based text on chemical processes of washing and answered questions on cognitive load (mental effort, perceived difficulty) and comprehension (retention, transfer, drawing). Instruction varied according to a 2x2-experimental design with ‘learner-generated pictures’ (yes, no) and ‘provided pictures’ (yes, no) as factors. Results indicate positive main effects of provided pictures on all three comprehension measures and negative main effects on both cognitive load measures. Additional analyses revealed a mediation effect of perceived difficulty on retention and transfer, i.e., learning with provided pictures decreased cognitive load and enhanced comprehension. Furthermore, results show a positive main effect of learner-generated pictures on drawing and mental effort, but no mediation effect. Taken together, computer-based learning with provided pictures enhances comprehension as it seems to promote active processing while reducing extraneous cognitive processing. Learners, generating pictures, however, seem to have less cognitive resources available for essential and generative processing, resulting in reduced comprehension. These results are in line with cognitive load theory, cognitive theories of multimedia learning, and generative theories of learning.

Keywords: cognitive load, multimedia learning, generative processes, reading comprehension

4.1 Introduction

Until now, several approaches have been proposed on how to improve students’ science text comprehension. On the one hand, multimedia approaches to learning have shown that learning with multiple representations - a combination of verbal and pictorial representations - can foster deep learning (“multimedia effect”; e.g., Mayer, 2009; Schnotz, 2005). Accordingly, various empirical studies revealed that students learn more deeply from well-designed multimedia materials including text and pictures than from text alone (see Carney & Levin, 2002, for an overview). To benefit from learning with multimedia, students have to engage in active cognitive processing during learning, including the selection of relevant verbal and pictorial information, the organization of the information into coherent verbal and pictorial mental representations, and the integration of the corresponding verbal and pictorial representations with each other and with relevant prior knowledge (active processing; Mayer, 2009). However, students often have problems with this cognitive highly

⁶ Based on a manuscript version of: Schwamborn, A., Thillmann, H., Opfermann, M. & Leutner, D. (2011). Cognitive load and instructionally supported learning with provided and learner-generated visualizations. *Computers in Human Behavior*, 27, 89-93.

demanding integration process (Ainsworth, 1999; Seufert, 2003). Correspondingly, several studies were not able to show the expected benefits of learning with text and provided pictures (e.g., Seufert, 2003). Based on Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 1999, 2005) research on multimedia learning provided some guidelines on how to design beneficial instructional messages in order to reduce extraneous cognitive load (e.g., multimedia design principles; Mayer, 2009; linked representations; Kozma, 2003) and to increase germane cognitive load (e.g., Bodemer, Ploetzner, Feuerlein, & Spada, 2004; Seufert, 2003; see Bodemer & Faust, 2006, for an overview).

In sum, effects of multimedia learning on text comprehension strongly depend on whether the instructional design promotes appropriate active cognitive processing during learning by increasing germane cognitive load and reducing extraneous cognitive load.

On the other hand, according to van Meter and Garner's (2005) "Generative Theory of Drawing Construction", giving learners text to read and asking them to generate visualizations that correspond to the main elements and relations described in the text encourages them to actively engage in cognitive and metacognitive processing and thus fosters deep level understanding of the text ("learner-generated drawing strategy"; van Meter, 2001, van Meter & Garner, 2005; van Meter, Aleksic, Schwartz, & Garner, 2006). As learner-generated drawing is a productive learning activity, it is in compliance with general generative theory ideas according to which deep level understanding occurs when students are encouraged to engage in productive learning activities (de Jong, 2005; Wittrock, 1990). Particularly, the integration of internal verbal and pictorial models into a coherent mental model should be forced as this mental model is the basis for generating the external pictorial representation (van Meter & Garner, 2005). Additionally, the active processing at a metacognitive level should also be enhanced as the transformation of verbal information into a pictorial representation by drawing pictures should foster metacognitive processing - e.g., self-monitoring (Leopold, 2009; van Meter, 2001). Correspondingly, several studies showed benefits of drawing instruction on text comprehension (Lesgold, Levin, Shimron, & Guttman 1975; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006; see van Meter & Garner, 2005, for an overview). However, research also indicated some boundary conditions for the benefits of learner-generated drawing. First, research has shown that studies which instructionally supported students' drawing processes - e.g., by giving them cut-out figures, guiding questions, or drawing prompts (Lesgold et al., 1975; van Meter, 2001; van Meter et al., 2006) - generally found benefits of the drawing strategy, whereas studies without giving

instructional support, did not (Leutner, Leopold, & Sumfleth, 2009). Second, results of Leutner and colleagues (2009) revealed that drawing pictures decreased text comprehension, mediated by increased cognitive load. Thus, benefits of the drawing strategy may depend on strategy instruction - that is, students do not profit from learning with pure, unsupported drawing instructions, because of increased cognitive demands caused by the logistics of managing their own drawing activity. Another limitation is that research on the drawing strategy so far only has focused on paper-pencil-based drawing processes (van Meter & Garner, 2005). Hence, there are no results on whether learner-generated drawing works the same way across various materials or media.

In sum, effects of the drawing instruction on text comprehension seem to depend on whether the instructional support for drawing promotes appropriate active cognitive processing during learning by increasing germane cognitive load and reducing extraneous cognitive load produced by drawing logistics.

Thus, this study followed two research questions. First, we investigated whether positive effects on text comprehension for learning with both provided and learner-generated pictures can be found within a computer-based learning environment. Second, we investigated whether this processing of different forms of pictures has differential impacts on or is even mediated by cognitive load. In general, given that our computer-based learning environment could prime adequate generative processing without requiring excessive extraneous processing, we assumed positive effects on text comprehension for learning with both provided and learner-generated pictures.

4.2 Method

Participants and Design

One hundred ten German 9th and 10th graders from higher track secondary schools participated in this study. Because of missing log-file data we will refer to one hundred two students in the following. Their mean age was 15.03 years ($SD = 0.61$), and 48% were female. The study followed a 2x2-experimental design with 'learner-generated pictures' (yes, no) and 'provided pictures' (yes, no) as the two factors. Within their classes, students were randomly assigned to one of the four treatment conditions with $20 < N < 30$ students per condition. The groups were balanced according to students' gender, $\chi^2(3) = 1.35, p = .718$.

Materials

The materials consisted of four adjunct tests, a computer-based learning environment, a cognitive load post-test and three performance post-tests.

The adjunct tests included a participant questionnaire assessing demographic information, a prior knowledge test, a spatial ability test, and a verbal ability test, all paper-pencil-based. In order to account for individual differences in domain-specific prior knowledge, a science test was used consisting of two open-ended questions. An example is: “Please, explain the surface tension of water”. As potential moderator variables verbal ability (“verbal analogies” scale of the KFT; Heller & Perleth, 2000), and spatial ability (paper-folding test; Ekstrom, French, & Harman, 1976) were measured. Additionally, students’ individual learning times were recorded into log-files.

The computer-based learning environment consisted of a short tutorial section and a learning section. The learning section consisted of four different conditions, each including an identical science text about the chemistry of washing with soap and water (Figure 4.1).

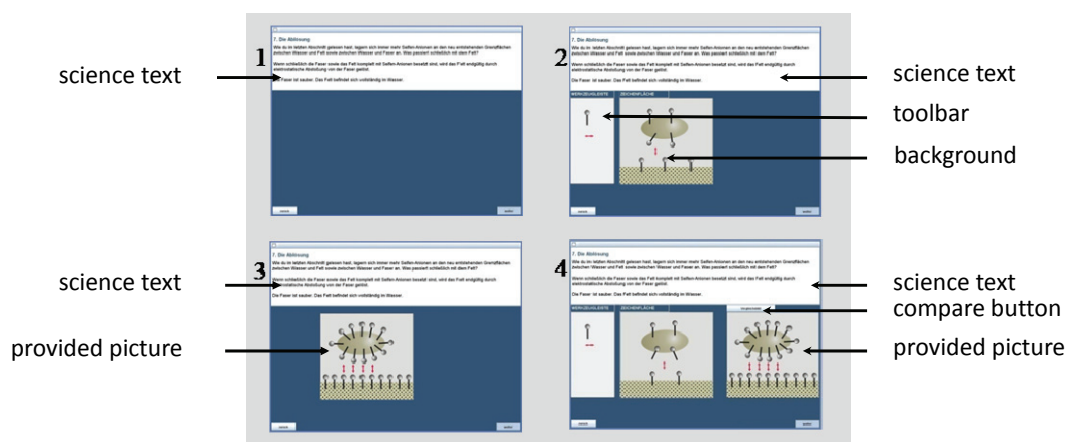


Figure 4.1: Computer-based learning environment for the seventh paragraph: “Control” condition (1); “Provision” condition (2); “Generation” condition (3); “Generation + Provision” condition (4) (German version)

The text (~1000 words) explained causal steps in a washing process and was divided into seven paragraphs, each presented on one slide on the computer screen. The control condition contained seven slides with a text paragraph on top. The generation condition contained seven slides with a text paragraph on top and a drawing prompt on the left bottom

side. This drawing prompt included two parts: (1) a toolbar showing all the relevant pictorial elements - as described in the text - for generating a picture for that text paragraph by moving and combining the elements on the computer screen by means of “drag’n’drop” and (2) a partly pre-drawn background for generating a picture. Elements were replaced and could be used arbitrarily often. The provision condition contained seven slides with a text paragraph on top and a picture of that content on the right bottom side. The provided pictures were static functional pictures representing main ideas of each paragraph and consisted of pictorial elements identical to those provided in the drawing prompt (Figure 4.2). The generation + provision condition included seven slides with a text paragraph on top and the two-part drawing prompt at the bottom as described above. Right aside the drawing prompt, there was an additional button for clicking after having generated the picture. When clicking this button, a picture of that text paragraph right aside to the drawing prompt was provided, and there was an additional instruction to compare the self-generated with the provided picture. Provided pictures were the same as in the provision condition.

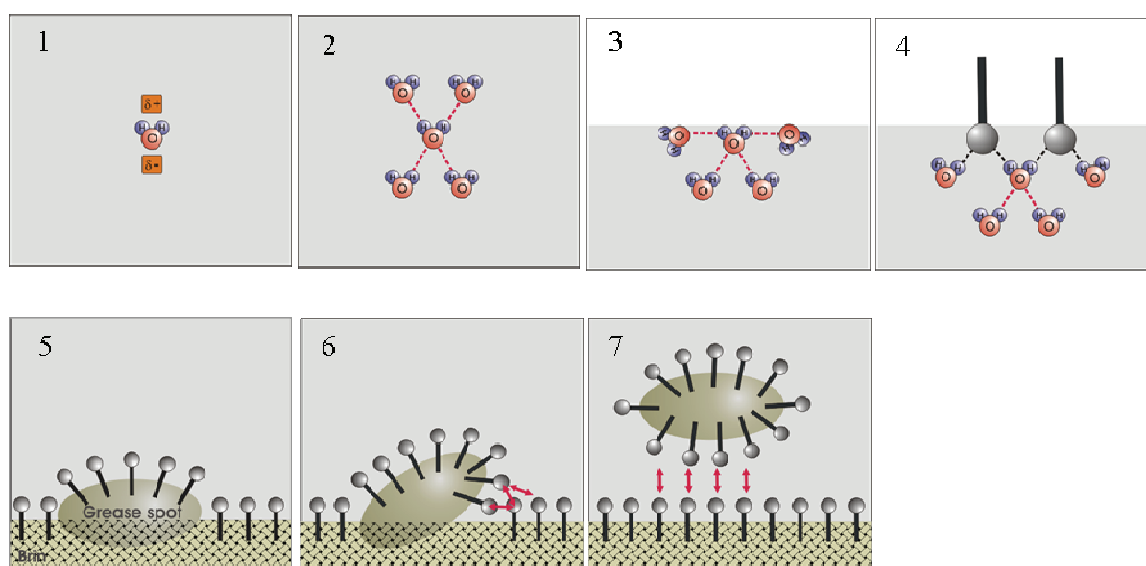


Figure 4.2: Provided pictures illustrating the content of the science text on chemical processes of washing with soap and water (approximately 1000 words; divided into seven paragraphs)

As a dependent variable, which could also serve as a potential mediator of the effects of the experimental factors on performance, the amount of cognitive load experienced after reading the whole text in each condition was assessed with two items (Kalyuga, Chandler, & Sweller, 1999; Paas, 1992) answered on a seven-point rating scale. These were “When

reading for comprehension I invested very low ... very high mental effort” and “Comprehending the text was very easy ... very difficult” and aimed at measuring learners’ mental effort and perceived difficulty.

The three performance post-tests - intended to assess students’ amount of text comprehension - were retention, transfer, and drawing tests, each paper-pencil-based. The retention test (10 multiple-choice items; Cronbach’s $\alpha = .59$) assessed learners’ retention of factual and conceptual information covered in the text. An example is: “How does the surface tension of water arise? (a) rejection forces between water molecules, (b) attraction forces between water molecule and air, (c) imbalance of attraction forces at the surface, or (d) balance of attraction forces at the surface”. The transfer test (3 open-ended questions; Cronbach’s $\alpha = .58$) assessed learners’ ability to transfer information presented in the text to new situations. An example is: “Suppose you would like to clean a table which is soiled with marker tint. If you would try to clean it with water nothing will happen, using acetone, however, it will run. Please explain why it runs with acetone. Advise: Acetone acts like surfactants.” The drawing test assessed learners’ comprehension of conceptual information presented in the text. It consisted of three items, in which students were asked to draw sketches depicting key concepts of the text and their spatial relations (Cronbach’s $\alpha = .82$). An example is “Adding soap to water, which impact does this have on the surface tension of water? Please draw a picture.”

Procedure

Participants were individually tested in their schools’ classrooms. Students first answered the participant questionnaire and the prior knowledge test. They were then given the paper-folding test (Ekstrom et al., 1976). Afterwards, the computer-based learning environment started: Each student had about ten minutes time to work with the tutorial section before starting with the learning section. All students were instructed to use a maximum of 40 minutes to work within the learning section. They were instructed to read the text carefully in order to comprehend the material. Students in the generation condition were instructed to read the text and draw a picture (using the drawing prompt) representing the main ideas of each text paragraph. Students in the provision condition were instructed to read and additionally look at pictures representing main ideas of each paragraph. Students in the generation + provision condition were instructed to read, draw a picture (using the drawing prompt) representing main ideas of each paragraph, and finally to compare their picture to

a provided picture representing main ideas of each paragraph correctly. Students in the control group were instructed to read the text for comprehension.

After the learning phase, students answered the cognitive load questionnaire. Afterwards, they received the transfer test, the drawing test, and the retention tests, and had 30 minutes to work on these post-tests without access to the learning materials. Finally, students were given the verbal ability test. Overall, the experiment took about 90 minutes.

4.3 Results

Data analysis included analyses of variance and covariance (ANOVA, ANCOVA). First, an ANOVA revealed that conditions did not differ on prior knowledge, $F(3, 98) = 1.76$, $MSE = 0.001$, $p = .160$, spatial ability, $F < 1$, $MSE = 11.33$, or verbal ability, $F(3, 98) = 2.06$, $MSE = 14.76$, $p = .111$. However, conditions differed significantly on learning time, $F(3, 98) = 9.13$, $MSE = 24.90$, $p < .001$; $partial\ eta^2 = .22$. A Tukey test ($p < .05$) revealed that the two generation conditions needed more learning time (generation group: 26.57 minutes, $SD = 2.61$; generation + provision group: 24.58 minutes, $SD = 2.95$) than the other two conditions (provision group: 20.36 minutes, $SD = 6.54$; control group: 20.91 minutes, $SD = 7.00$).

Second, ANCOVAs predicting text comprehension (retention, transfer, drawing) with picture generation and picture provision as factorial independent variables and learning time as covariate showed positive main effects of picture provision on all comprehension measures (Table 4.1). Learners provided with pictures performed better on retention, $F(1, 97) = 3.20$, $MSE = 0.04$, $p(\text{directional hypothesis}) = .037$, $partial\ eta^2 = .03$, transfer, $F(1, 97) = 4.79$, $MSE = 0.03$, $p = .031$, $partial\ eta^2 = .05$, and drawing, $F(1, 97) = 79.25$, $MSE = 0.04$, $p < .001$, $partial\ eta^2 = 0.45$, than learners without. A positive main effect of picture generation was found for the drawing test only, $F(1, 97) = 68.73$, $MSE = 0.04$, $p < .001$, $partial\ eta^2 = .42$. Additionally, a significant interaction effect was found for the drawing test, $F(1, 97) = 13.38$, $MSE = 0.04$; $p < .001$, $partial\ eta^2 = .12$.

Table 4.1: Mean proportion correct on retention, transfer and drawing for the four conditions

Condition	Retention test			Transfer test		Drawing test	
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Control	26	.64	.18	.18	.17	.12	.12
Generation	26	.61	.19	.21	.18	.62	.21
Provision	20	.67	.23	.26	.14	.63	.27
Generation + Provision	30	.69	.23	.26	.19	.83	.19

Third, ANOVAs predicting cognitive load (mental effort, perceived difficulty) with picture generation and picture provision as factorial independent variables were calculated, without including learning time as covariate. Instead, to test whether learning time mediates potential effects of picture generation and picture provision on cognitive load, additional mediation analyses (Baron & Kenny, 1986) were calculated by including learning time as an additional predictor in the aforementioned linear models. A mediation effect would be detected if effects of picture generation and picture provision on cognitive load would significantly decrease. Results of the ANOVAs showed significant negative main effects of picture provision on mental effort, $F(1, 98) = 8.55$, $MSE = 2.46$, $p = .004$, $partial\ eta^2 = .08$, and on perceived difficulty, $F(1, 98) = 7.57$, $MSE = 2.37$, $p = .007$, $partial\ eta^2 = .07$: Students who learned with provided pictures indicated less mental effort ($M = 4.20$, $SD = 1.59$) and less perceived difficulty ($M = 3.54$, $SD = 1.39$) than those who had not (mental effort: $M = 5.09$, $SD = 1.59$; perceived difficulty: $M = 4.38$, $SD = 1.65$). Results also revealed a small but consistent positive main effect of picture generation on mental effort, $F(1, 98) = 3.90$, $MSE = 9.60$, $p(\text{directional hypothesis}) = .026$, $partial\ eta^2 = .04$: Learners who generated pictures reported higher mental effort ($M = 4.96$, $SD = 1.24$) than those who did not ($M = 4.35$, $SD = 1.99$). Results of the mediation analyses showed that the effect of picture generation on mental effort was mediated by learning time, indicated by reducing the direct effect of picture generation on mental effort from $\eta^2 = .04$ to $\eta^2 < .001$, $p(\text{directional hypothesis}) = .452$, whereas the effects of picture provision on cognitive load variables were not.

Fourth, we combined the results on text comprehension and cognitive load and tested whether cognitive load mediated the observed effects of picture generation and picture provision on text comprehension. Given the reported effects of picture provision on both,

retention and transfer, both cognitive load measures were included in the linear model to test for mediation effects. Including perceived difficulty in the linear model for predicting retention and transfer scores reduced this effect from $\eta^2 = .03$ to $\eta^2 < .001$ for retention, and from $\eta^2 = .05$ to $\eta^2 < .001$ for transfer, being no longer statistically significant, $p = .234$ and $p = .196$, respectively. Including mental effort in the linear model, however, did not reveal a mediation effect. Thus, benefits of learning with provided pictures on retention and transfer are mediated by perceived difficulty. On the other hand, none of the treatment effects on the drawing test was mediated by cognitive load.⁷

4.4 Discussion

The present study investigated whether positive effects on text comprehension for learning with provided and learner-generated pictures can be found within a computer-based learning environment, and whether this processing of different forms of pictures has differential impacts on cognitive load that might even mediate the effects on comprehension. Based on Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 1999, 2005), the Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2009), and generative theories (de Jong, 2005; van Meter & Garner, 2005; Wittrock, 1990) positive effects on text comprehension for learning with computer-based provided pictures and computer-based learner-generated pictures were predicted - given that the instructional design promotes appropriate active processing during learning by increasing germane cognitive load and reducing extraneous cognitive load.

First, learning with computer-based provided pictures led to higher retention, transfer and drawing test scores. Additionally, students learning with computer-based provided pictures reported less invested mental effort and less perceived difficulty than students who learned without. Furthermore, perceived difficulty appeared to mediate the effects of picture provision on retention and transfer performance. These results are consistent with CLT (Sweller, 1999, 2005) and the CTML (Mayer, 2009), which claim that students can learn better from text and pictures than from text alone because this promotes appropriate active processing during learning while reducing extraneous cognitive processing. As in the present study a multimedia effect appeared in a computer-based learning environment, the results are in line with the “method affects learning” hypothesis - thus, benefits of learning with multi-

⁷ Additional result: Note that the accuracy score of learner-generated pictures that learner produced during learning correlated significantly and positively with each of the three learning outcome tests: retention test $r = .37, p < .01$; transfer test, $r = .41, p < .01$; and drawing test, $r = .68, p < .01$.

media work the same way across various materials (Moreno, 2006). Overall, results emphasize the advantage of provided pictures when learning from science texts.

Second, students learning with computer-based learner-generated pictures only performed better on the drawing test, which is not surprising since generating pictures during learning and drawing in a post-test corresponds to near transfer. Additionally, these students reported higher mental effort and needed more learning time than students who did not have to generate pictures by themselves. At a first glance, results seem to be not consistent with general generative theory ideas according to which deep level understanding occurs when students are encouraged to engage in productive learning activities (de Jong, 2005; van Meter & Garner, 2005; Wittrock, 1990). At a second glance, however, results seem to show that benefits of learner-generated drawing might depend on the media used. While benefits of learner-generated drawing so far only have been shown when instructing students to draw on paper (van Meter & Garner, 2005), students in the present study generated their pictures by moving and combining pictorial elements on a computer screen by means of “drag’n’drop”. First, with regard to CLT (Sweller, 1999, 2005), instructing people to use a computer-based learning environment they are not yet experts in, seems to demand too much extraneous cognitive load by means of increased mental effort and learning time, thereby leaving less cognitive resources available for essential and generative processing, which impairs meaningful learning (Mayer, 2009, Sweller, 1999, 2005). It might be assumed that students who are well-trained in the computer-based generation process would perform better (Kellogg & Mueller, 1993). Thus, future research should determine whether reducing extraneous cognitive load of computer-based drawing, for example, by extended training tutorials or optimized drawing tools, will produce better effects on learning outcome.

Third, with regard to research on the “learner-generated drawing strategy” (van Meter & Garner, 2005) it might be assumed that moving and combining provided elements on a computer screen did not encourage students to actively engage in metacognitive processes, as the transformation of verbal into pictorial representations is constrained, and thus did not foster deep level understanding. Thus, further research is needed to specify the underlying processes of paper-pencil-based versus computer-based generation processes. This could be realized, for example, by comparing the “drag’n’drop” condition of this study to a paper-based condition, in which the same elements would have to be used to generate with the help of cut-out paper elements.

Of course, our study was limited in some areas that should be investigated in future research. Results, for example, were found for low prior knowledge learners; whether they would differ for high prior-knowledge learners remains an open question. It might be suggested that students' cognitive capacities were overwhelmed as the information was new and the used computer-based generation processes were unfamiliar. Additionally, learning outcomes were tested immediately after reading, which might not represent a realistic learning situation. Finally, results were found with a specific learning content - reading a science text on washing for comprehension - and it remains an open question whether these results hold for other subject matters.

4.5 References

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education, 33*, 131-151.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology, 51*, 1173-1182.
- Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior, 22*, 27-42.
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I., & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualizations. *Learning and Instruction, 14*, 325-341.
- Carney, R. N., & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review, 14*, 5-26.
- De Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 215-228). New York: Cambridge University Press.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., & Harman, H. H. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Heller, K. A., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4.-12. Klassen, Revision [Cognitive ability test for grades 4-12, revised version]*. Göttingen: Hogrefe.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology, 13*, 351-371.
- Kellogg, R. T., & Mueller, S. (1993). Performance amplification and process restructuring in computer-based writing. *International Journal of Man-Machine Studies, 39*, 33-49.
- Kozma, R. B. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction, 13*, 205-226.
- Leopold, C. (2009). *Lernstrategien und Textverstehen*. [Learning strategies and text comprehension]. Waxmann: Münster.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J., & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology, 67*, 636-642.
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior, 25*, 284-289.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.

- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method affects learning hypothesis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 149-158.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics - A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49-69). New York: Cambridge University Press.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 227-237.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 69, 129-140.
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A., & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 142-166.
- van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawings: literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 12, 261-312.
- Wittrock, M. C. (1990). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345-376.

5 Zusammenfassende Diskussion

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildete das aus der Schulpraxis und aus internationalen Vergleichsstudien wie PISA (Baumert et al., 2001) bekannte sowie durch die allgemeinen Modelle des Textverstehens (z. B. Kintsch & van Dijk, 1978; Schnotz, 1994, 2003; van Dijk & Kintsch, 1983) theoretisch gut fundierte Problem, dass Lernende häufig mit den kognitiven Anforderungen, die das verstehende Lesen eines komplexen und schwierigen Textes an sie stellt, überfordert sind. Um den Lernenden den Umgang mit den an sie gestellten hohen kognitiven Anforderungen zu erleichtern, wurde in den letzten Jahren der Nutzen von Visualisierungen für das Textverstehen diskutiert. Das Ziel dieser Arbeit war es daher, die Wirksamkeit der folgenden zwei Arten des Einsatzes von Visualisierungen als Verstehenshilfe beim Lernen aus Sachtexten zu untersuchen:

- *Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen:* Basierend auf Theorien zum multimedialen Lernen (vgl. Mayer, 2001; 2005; Schnotz, 2002, 2005; Schnotz & Bannert, 2003) können Visualisierungen zu einem Text vorgegeben werden.
- *Lernen mit selbst generierten Visualisierungen:* Vor dem Hintergrund der Forschung zum selbstregulierten Lernen (z. B. Boekaerts, 1997, 1999; Leutner & Leopold, 2006; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000; Zimmerman, 2001) können Visualisierungen zu einem Text vom Lernenden selbst generiert werden (sog. Strategie des selbstständigen Visualisierens; vgl. Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005).

Die Betrachtung der Forschungslage zeigte, dass der Fokus vor allem auf dem Lernen mit Text und vorgegebenen Visualisierungen liegt, in dem Sinne, dass zahlreiche empirische Studien die Wirksamkeit von vorgegebenen Visualisierungen auf das Textverstehen als auch den Nutzen verschiedener instruktionaler Gestaltungsprinzipien belegen konnten (vgl. Carney & Levin, 2000; Mayer, 2001). Die Forschungslage zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen konnte hingegen noch keine eindeutigen Belege für oder gegen die Wirksamkeit selbst generierter Visualisierungen auf das Textverstehen und dementsprechend auch keine instruktionalen Gestaltungsprinzipien liefern (für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005). Anhand von vier experimentellen Studien

wurde daher in dieser Arbeit zum einen die generelle Wirksamkeit von vorgegebenen Visualisierungen (im Sinne einer Replikation der bestehenden Befunde) sowie von selbst generierten Visualisierungen (im Sinne einer Erweiterung der bestehenden Forschungslage) als Verstehenshilfen beim Lesen eines Sachtextes im Hinblick auf das aus dem Text erworbene Verständnis sowie die wahrgenommene mentale Belastung während des Lernens überprüft. Darüber hinaus wurden verschiedene Aspekte der instruktionalen Gestaltung beim Lernen mit vorgegebenen bzw. selbst generierten Visualisierungen betrachtet. Der Fokus lag hierbei auf der Gestaltung der Lernzeit sowie der Art der instruktionalen Unterstützung. In Bezug auf das Lernen mit selbst generierten Visualisierungen wurde zudem die Bedeutung der Qualität der selbst generierten Visualisierungen untersucht. In diesem Kapitel werden nun zunächst die zentralen Ergebnisse der vier beschriebenen Studien anhand der einzelnen Forschungsfragen zusammengefasst, und der daraus resultierende theoretische als auch praktische Ertrag dieser Arbeit wird erläutert. Abschließend werden Anknüpfungspunkte für weitere Forschung aufgezeigt.

5.1 Zentrale Ergebnisse

Bezogen auf die in dieser Arbeit formulierten zentralen Forschungsfragen zeigen sich folgende Ergebnisse:

(1) Sind vorgegebene Visualisierungen eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext, das heißt welchen Einfluss hat das Hinzufügen von Visualisierungen zu einem Sachtext auf (a) den *Lernerfolg* und (b) die *mentale Belastung*?

(a) *Lernerfolg*: Zur Beantwortung dieser Frage können die Ergebnisse der ersten, zweiten und vierten Studie herangezogen werden (vgl. Kapitel 2 und 4). Die Ergebnisse der ersten beiden Studien mit papierbasierten Lernmaterialien zeigen, dass Schüler, die mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext lernten, im Behaltens- und im Zeichentest (Studie I) bzw. im Zeichentest (Studie II) denjenigen Schülern überlegen waren, die nicht mit vorgegebenen Visualisierungen lernten. In der vierten Studie, in der die Lernenden mit computerbasierten Lernmaterialien lernten, ergab sich die Überlegenheit des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen in allen drei Lernerfolgsmaßen. Zusammengefasst zeigt sich in dieser Arbeit der positi-

ve Nutzen des Einsatzes von vorgegebenen Visualisierungen beim Lernen aus einem Sachtext auf den Lernerfolg sowohl in papierbasierten als auch computerbasierten Lernumgebungen.

- (b) *Mentale Belastung*: Die mentale Belastung wurde in dieser Arbeit in der vierten, computerbasierten Studie (vgl. Kapitel 4) nach der Lernphase anhand eines Items zur wahrgenommen mentalen Anstrengung während der Lernphase (*mental effort*) sowie eines Items zur wahrgenommen Schwierigkeit des Lernmaterials (*perceived difficulty*) erfasst. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Schüler, die mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext lernten, sowohl ihre mentale Anstrengung als auch die Schwierigkeit des Lernmaterials geringer einschätzten als Schüler, die nicht mit vorgegebenen Visualisierungen lernten. Hierbei zeigt sich zudem, dass die in dieser Studie vorhandenen positiven Effekte des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen im Behaltens- und Transfertest über die reduzierte wahrgenommene Schwierigkeit vermittelt wurden. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse der vierten Studie darauf hin, dass sich vorgegebene Visualisierungen beim Lesen eines Sachtextes reduzierend auf die mentale Belastung der Lernenden auswirken.

(2) Sind selbst generierte Visualisierungen eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem naturwissenschaftlichen Sachtext, das heißt welchen Einfluss hat die Instruktion zum selbstständigen Generieren von Visualisierungen zu einem Sachtext auf (a) den *Lernerfolg* und (b) die *mentale Belastung*?

- (a) *Lernerfolg*: Um diese Fragestellung zu erörtern, können die Ergebnisse aller vier in dieser Arbeit vorgestellten Studien mit einbezogen werden (vgl. Kapitel 2, 3 und 4). Die Ergebnisse der ersten, papierbasierten Studie zeigen, dass Schüler, die instruiert wurden, Visualisierungen zu einem Sachtext zu generieren, in einem anschließenden Behaltens⁸- und Zeichentest denjenigen Schülern überlegen waren, die keine Visualisierungen generierten. Die Lernwirksamkeit des selbstständigen Visualisierens zeigt sich darüber hinaus sowohl in der zweiten als auch dritten, papierbasierten Studie im Transfertest. Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse der

⁸ Dieser positive Effekt des selbstständigen Visualisierens auf den Behaltentest ist in Studie I über die aktuelle Motivation der Lernenden mediiert. Dieser Mediationseffekt konnte in keiner der übrigen Studien reproduziert werden und wird daher im Folgenden nicht ausführlich diskutiert.

computerbasierten Studie (vgl. Kapitel 4) für das Lernen mit selbst generierten Visualisierungen nur eine Überlegenheit im Lernerfolg, wenn der Lernerfolg mit einem Zeichentest erfasst wurde. Zusammengefasst zeigt sich in dieser Arbeit der positive Nutzen des Einsatzes von selbst generierten Visualisierungen beim Lernen aus einem Sachtext auf den Lernerfolg in papierbasierten Lernumgebungen, während er in computerbasierten Lernumgebungen hingegen nur eingeschränkt auftritt.

(b) *Mentale Belastung*: Zur Beantwortung dieser Frage können wiederum die Ergebnisse des Fragebogens zur mentalen Belastung aus der vierten Studie betrachtet werden (vgl. Kapitel 4). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Schüler, die instruiert wurden, eine Visualisierung zu einem Sachtext computerbasiert zu generieren, ihre mentale Anstrengung während des Lernens höher einstufen als Schüler, die keine Visualisierungen generierten. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse der computerbasierten Studie demzufolge darauf hin, dass das Generieren von Visualisierungen innerhalb einer computerbasierten Lernumgebung zu einer Erhöhung der mentalen Belastung der Lernenden führt.

(3) Welchen Einfluss auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes hat die Gestaltung der Lernzeit (fixiert vorgegeben versus lernerbestimmt) (a) beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen sowie (b) beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

(a) *Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen*: Über die ersten beiden, papierbasierten Studien wurde die Lernzeit unter Verwendung des gleichen experimentellen Designs variiert (vgl. Kapitel 2). Während in der ersten Studie unter der Bedingung einer auf 30 Minuten fixierten Lernzeit der verstehensförderliche Effekt des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen im Behaltens- und Zeichentest auftrat, blieb er in der zweiten Studie unter der Bedingung einer durch die Schüler selbst bestimmten Lernzeit nur im Zeichentest bestehen. Hierbei ergab eine grobe Erfassung der selbst bestimmten Lernzeit in der zweiten Studie eine minimale Lernzeit von 5 Minuten beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das Ausmaß des positiven Nutzens des Einsatzes von vorgegebenen Visualisierungen als Verstehenshilfe beim Lernen aus einem Sachtext von der Gestaltung der Lernzeit beeinflusst wird. Eine auf eine Min-

destdauer fixierte Lernzeit scheint das Auftreten des verstehensförderlichen Effektes vorgegebener Visualisierungen zu begünstigen.

- (b) *Lernen mit selbst generierten Visualisierungen*: Wie bereits beschrieben wurde die Lernzeit unter Verwendung des gleichen experimentellen Designs über die ersten beiden, papierbasierten Studien variiert (vgl. Kapitel 2). Während sich in der ersten Studie unter der Bedingung einer fixierten Lernzeit von 30 Minuten der verstehensförderliche Effekt des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen im Behaltens- und Zeichentest zeigte, trat er in der zweiten Studie unter der Bedingung einer durch die Schüler selbst bestimmten Lernzeit darüber hinaus auch im Transfertest auf. Eine grobe Erfassung der selbst bestimmten Lernzeit beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen in der zweiten Studie zeigte eine maximal benötigte Lernzeit von 50 Minuten. In der dritten Studie (vgl. Kapitel 3), in der die Lernenden mit einer verlängerten vorgegebenen Lernzeit von 35 Minuten lernten, zeigte sich der verstehensförderliche Effekt des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen gegenüber einer Kontrollgruppe, die nur mit dem Text lernten, in allen drei Lernerfolgsmaßen. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse dieser Arbeit darauf hin, dass das Ausmaß des positiven Nutzens des Einsatzes von selbstständig generierten Visualisierungen als Verstehenshilfe beim Lernen eines Sachtextes von der Gestaltung der Lernzeit beeinflusst wird. Eine ausreichende Lernzeit scheint sich demzufolge verstehensförderlich auszuwirken.

(4) Welchen Einfluss auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes hat die Art der instruktionalen Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

Die Art der instruktionalen Unterstützung beim Lernen mit selbstständig generierten Visualisierungen wurde in dieser Arbeit durch drei unterschiedliche Maßnahmen während des Visualisierens sowie durch eine Maßnahme nach dem Visualisieren untersucht. Hierbei zeigt sich erstens, dass der positive Nutzen des Einsatzes von selbstständig generierten Visualisierungen als Verstehenshilfe beim Lernen eines Sachtextes in papierbasierten Lernumgebungen im Behaltens-, Transfer- und Zeichentest auftrat, wobei die Lernenden während des Prozesses des Generierens in Form einer *baseline*-Unterstützung, bestehend aus vorgegebenen Zeichenelementen und Bildhintergründen instruktional unterstützt wurden (vgl. Kapitel 2 und 3; siehe auch Abbildungen 2.2 und

3.1). Demgegenüber trat der lernförderliche Effekt des selbstständigen Visualisierens mit *baseline*-Unterstützung in der computerbasierten Lernumgebung (vgl. Kapitel 4) nur im Zeichentest auf. Zweitens erbrachte die in der dritten Studie (vgl. Kapitel 3) implementierte Erweiterung der *baseline*-Unterstützung um die Instruktion zum Text-Highlighting sowie um die Instruktion zum Mental Imagery keinen zusätzlichen verstehensförderlichen Nutzen. Über alle vier Studien hinweg zeigt sich drittens, dass eine zusätzliche instruktionale Unterstützung nach dem Prozess des Generierens der Visualisierungen in Form vorgegebener Vergleichsvisualisierungen nur in der computerbasierten Studie im Zeichentest einen zusätzlichen verstehensförderlichen Nutzen hatte. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das selbstständige Generieren von Visualisierungen mit *baseline*-Unterstützung in papierbasierten Lernumgebungen einen positiven Einfluss auf das Verstehen eines naturwissenschaftlichen Sachtextes hat.

(5) Welche Bedeutung hat die Qualität der Visualisierung beim Lernen mit selbstgenerierten Visualisierungen zu einem Sachtext?

Über alle vier Studien hinweg zeigen sich statistisch bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Qualität der während der Lernphase selbst generierten Visualisierungen und dem anschließenden Lernerfolg. Ergänzend belegen die Ergebnisse der dritten Studie (Median-Split), dass Schüler, die qualitativ gute Visualisierungen generieren, stärker von der Lernstrategie des selbstständigen Visualisierens in allen drei Lernerfolgsmaßen profitieren, als Schüler, die qualitativ schlechtere Visualisierungen generieren. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Lernende, die in der Lage sind, die Strategie des selbstständigen Visualisierens gut (im Sinne einer qualitativ guten Anwendung) umzusetzen, ein höheres Textverständnis erwerben, als diejenigen, denen diese qualitativ gute Anwendung nicht bzw. weniger gut gelingt.

5.2 Theoretischer Ertrag

Insgesamt ergibt sich aus den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten vier experimentellen Studien zum Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen (im Sinne des multimedialen Lernens) und selbstständig generierten Visualisierungen zu einem Sachtext folgender theoretischer Ertrag.

Bezogen auf die *Forschung zum multimedialen Lernen* kann diese Arbeit einen weiteren Beitrag zur Überprüfung der Lernwirksamkeit multimedial aufbereiteter Lerninhalte sowie Hinweise zur instruktionalen Gestaltung multimedialer Lernmaterialien erbringen:

So liefern die Ergebnisse erstens weitere Evidenz für den zentralen Aspekt der Theorien zum multimedialen Lernen, nach dem Lernende von multimedialen Lernmaterialien profitieren können, wenn sie in der Lage sind, ohne sich kognitiv zu überlasten, ein kohärentes mentales Modell des zu lernenden Sachverhaltes zu erstellen (Chandler & Sweller, 1991; Mayer, 2001, 2005; Schnotz, 2001, 2005; Sweller, 1999, 2005; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Der zugrunde liegende lernförderliche Einfluss der verringerten mentalen Belastung wurde in dieser Arbeit nicht nur implizit anhand des aus dem Text erworbenen Verständnisses belegt, sondern zudem durch eine Messung der mentalen Belastung empirisch bestätigt (vgl. Kalyuga, Chandler & Sweller, 1999; Mayer & Chandler, 2001; Paas, Tuovinen, Tabbers & Van Gerven, 2003). Ergänzend konnte über die Bestätigung des Multimediaeffektes in papierbasierten wie auch computerbasierten Lernumgebungen ein weiterer empirischer Beleg der „*method affects learning*“ *hypothesis* (vgl. Mayer, 2003; Moreno, 2006) erbracht werden.

Zweitens konnten Unterschiede in den Effekten multimedialer Design-Maßnahmen beobachtet werden, die eine Interpretation im Zusammenhang mit der in dieser Arbeit untersuchten Lernzeit nahe legen. So zeigen sich zwischen der Instruktion zum Lernen mit lernerbestimmter Lernzeit und der Instruktion zum Lernen mit vorgegebener fixierter Lernzeit unterschiedliche Effektmuster. Während beim Lernen mit lernerbestimmter Lernzeit ein positiver Effekt des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen zu einem Text nur im Zeichentest auftrat, konnten beim Lernen mit fixierter Lernzeit positive Effekte des Lernens mit vorgegebenen Visualisierungen sowohl im Behaltenstest als auch im Zeichentest beobachtet werden. Auch wenn die Ergebnisse an dieser Stelle eine kausale Interpretation nicht zulassen, deuten sie auf einen Einfluss der Gestaltung der Lernzeit auf den Verständniserwerb beim multimedialen Lernen hin. Dabei bleibt bislang offen, ob die unterschiedlichen Ergebnisse auf das unterschiedliche Ausmaß an Selbstregulation der Lernzeit oder eine unterschiedliche Dauer der Lernzeit zurückzuführen sind. Ausgehend von der Annahme, dass die Selbstregulation der Lernzeit eine weitere metakognitive Anforderung an den Lernenden stellt, die er zu bewältigen im Stande sein muss, könnte die Forschung zur so genannten *illusion of knowing* (Glenberg, Wilkinson & Epstein, 1982) bzw. zum selbstregulierten Lernen (z. B. Butler & Winne, 1995; Zimmerman, 2001) eine mögliche Erklä-

erbringen. So könnte angenommen werden, dass, ähnlich wie beim Lernen mit vorgegebenen instruktionalen Erklärungen (vgl. Schworm & Renkl, 2006), Lernende beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen zu einer Überschätzung ihres erworbenen Wissens gelangen und deswegen weniger Zeit in die aktive Verarbeitung von Text und Bild investieren. Eine festgelegte Lernzeit könnte dieser *illusion of knowing* entgegenwirken. Bezogen auf die Dauer der Lernzeit können in dieser Arbeit nur eingeschränkt Vermutungen angestellt werden. Lediglich das in der papierbasierten zweiten Studie erfasste sehr grobe Zeitmuster könnte zu der Vermutung führen, dass Lerner beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen und der Möglichkeit zur Selbstregulation der Lernzeit eine für das Verständnis zu geringe Lernzeit in Anspruch nehmen. Insgesamt weisen die Ergebnisse dieser Arbeit darauf hin, dass die Gestaltung der Lernzeit beim Lernen mit vorgegebenen Visualisierungen ein für den Lernerfolg relevanter Faktor sein kann. Letztendlich können die Ergebnisse dieser Arbeit jedoch nur erste Hinweise auf eine optimale Gestaltung der Lernzeit bei der Bearbeitung multimedialer Lernmaterialien liefern; für eine detaillierte Erklärung bedarf es weiterer Forschung.

Bezogen auf die *Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen* kann diese Arbeit einen weiteren Beitrag zur Überprüfung der generellen Lernwirksamkeit dieser Lernstrategie sowie Hinweise auf eine effektive instruktionale Gestaltung als auch einen allgemeinen Beitrag zur Forschung zum selbstregulierten Lernen erbringen.

So liefern die Ergebnisse erstens Evidenz für einen der zentralen Aspekte der Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen, nach dem Lernende vom Einsatz selbst generierter Visualisierungen zu einem Text profitieren können, wenn sie in der Lage sind qualitativ gute Visualisierungen zum Text zu erstellen (vgl. vgl. Green, 1989; Hall, Bailey & Tillmann, 1997; Lesgold, DeGood & Levin, 1977; Lesgold, Levin, Shimron & Guttman, 1975; Stern, Aprea & Ebner, 2003, van Meter, 2001; für einen Überblick siehe Alesandrini, 1984; van Meter & Garner, 2005). Der positive Zusammenhang zwischen der Qualität der vom Lernenden während der Lernphase generierten Visualisierungen und der Lernwirksamkeit des selbstständigen Visualisierens konnte in allen vier Studien repliziert werden.

Zweitens sind die Ergebnisse dieser Arbeit anschlussfähig an die bestehende Forschungslage, nach welcher instruktionale Unterstützung des Visualisierungsprozesses sich begünstigend auf die Lernwirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen aus-

wirken kann (van Meter & Garner, 2005). So konnten Lernende vom papierbasierten Einsatz selbst generierter Visualisierungen zu einem Text profitieren, wobei sie durch eine in Anlehnung an die Befunde von Alesandrini (1981) sowie Lesgold und Kollegen (1975, 1977) entwickelte *baseline*-Unterstützung bestehend aus vorgegebenen Bildelementen sowie Zeichenhintergründen unterstützt wurden. Vor dem Hintergrund, dass jedoch in dieser Arbeit kein Treatment-Check dieser *baseline*-Unterstützung - im Sinne eines experimentellen Vergleiches der puren, nicht unterstützten Visualisierungsinstruktion mit der *baseline*-unterstützten Visualisierungsinstruktion - durchgeführt wurde, ist zur endgültigen Klärung der Wirksamkeit der *baseline*-Unterstützung weitere Forschung notwendig. Darüber hinaus zeigen die Befunde, dass Lernende nicht von einer computerbasierten *baseline*-unterstützten Visualisierungsinstruktion profitieren konnten. Ein in diesem Zusammenhang angenommener Mediationseffekt der mentalen Belastung, durch den der Effekt der Visualisierungsinstruktion auf den Lernerfolg vermittelt wird, konnte als mögliche Ursache jedoch nicht belegt werden. Somit bedarf es weiterer Forschung zur Erklärung des unterschiedlichen Effektmusters zwischen dem papierbasierten und dem computerbasierten Einsatz selbst generierter Visualisierungen sowie zur Untersuchung eines möglichen Einflusses der mentalen Belastung. Bezogen auf zusätzliche Methoden zur instruktionalen Unterstützung des Lernens mit papierbasierten selbst generierten Visualisierungen konnte in dieser Arbeit weder die Wirksamkeit der Darbietung einer Vergleichsvisualisierung nach dem Prozess des Generierens (vgl. van Meter, 2001; van Meter et al., 2006) noch die Wirksamkeit der Instruktion zum Einsatz zusätzlicher Lernstrategien in Form des Text-Highlighting oder des Mental Imagery bestätigt werden. Mittels der Ergebnisse dieser Arbeit kann allerdings nicht geklärt werden, ob diese zusätzlichen Unterstützungsmaßnahmen des papierbasierten Visualisierungsprozesses tatsächlich ineffektiv sind oder ob ihre Effektivität durch die Wirksamkeit der vorhandenen *baseline*-Unterstützung „gedeckt“ worden ist.

Drittens ergeben sich Anhaltspunkte für einen weiteren Einflussfaktor auf die Wirksamkeit des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen. So liefern die unterschiedlichen Effektmuster der Studien einen Hinweis darauf, dass - neben einer geeigneten instruktionalen Unterstützung - eine ausreichende Lernzeit eine notwendige Voraussetzung dafür ist, dass Lernende vom Lernen mit selbst generierten Visualisierungen profitieren können. So müssen die Lernenden beim Generieren von Visualisierungen zu einem Text nicht nur die kognitiven sowie metakognitiven Prozesse der Informationsverarbeitung, sondern ebenfalls die

motorischen Prozesse der Bildgenerierung adäquat ausführen, um ein optimales Lernergebnis zu erzielen. Auch wenn eine kausale Interpretation der Befunde weiterer empirischer Überprüfung bedarf, scheint eine ausreichende Lernzeit der durch den verstärkten Strategieeinsatz erhöhten motorischen Anforderungen und mentalen Belastung entgegenzuwirken und auf diesem Weg zu einer effektiven Nutzung der selbst generierten Visualisierungen beitragen zu können (Chandler & Sweller, 1991; Leutner et al., 2009; Sweller, 1999, 2005).

Viertens leisten die Ergebnisse einen Beitrag zur Forschung zum selbstregulierten Lernen. Zum einen konnte der positive Nutzen einer aktiven, selbstregulierten Verarbeitung von Lernmaterialien, wie sie durch das Lernen mit selbst generierten Visualisierungen induziert wird, bestätigt werden (z. B. Boekaerts, 1997, 1999; Leutner & Leopold, 2006; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000; Zimmerman, 2001). Über die Interpretation der Qualität der selbst generierten Visualisierungen als Qualitätsindikator der Strategienutzung konnte zum anderen wiederholt die Bedeutung der Qualität der Strategieausführung für den Lernerfolg belegt werden (vgl. Leopold, 2009; Leopold & Leutner, 2004; Leutner & Leopold, 2003, 2006).

5.3 Praktischer Ertrag

Im Hinblick auf den praktischen Ertrag dieser Arbeit können die folgenden drei zentralen Aspekte angeführt werden.

Erstens kann bestätigt werden, dass vorgegebene Visualisierungen zu einem Text eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem Sachtext sein können (= *Multimedia Principle*; Mayer, 2001). Darüber hinaus konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass auch das selbstständige Generieren von Visualisierungen zu einem Text eine geeignete Verstehenshilfe beim Lernen aus einem Sachtext sein kann (= *Generative Drawing Principle*).

Zweitens ergeben sich praktische Empfehlungen für die instruktionale Gestaltung beider Visualisierungsarten. So sollten bei der instruktionalen Gestaltung multimedialer Lernmaterialien in Form von vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext die beschriebenen unterschiedlichen Effektmuster bezogen auf die Gestaltung der Lernzeit beachtet werden. Bei der instruktionalen Gestaltung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen sollte einbezogen werden, dass Lernende nicht nur instruktionale Unterstützung während des Visualisierungsprozesses, sondern zudem auch eine ausreichende Lernzeit zu benöti-

gen scheinen, um ein kohärentes mentales Modell sowie ein qualitativ gutes externes Bild des zu lernenden Sachverhaltes zu generieren.

Drittens ergeben sich Hinweise für die Nutzung von Visualisierungen als Textverstehenshilfe im Kontext Schule, in dem bestimmte Lehrinhalte, Lehrziele, Lernzeiten und Lernorte durch den Lehr- bzw. Stundenplan festgelegt sind. Die Ergebnisse der hier vorgelegten Arbeiten weisen zum einen darauf hin, dass der Einsatz multimedialer Lernmaterialien in Form von vorgegebenen Visualisierungen zu einem Sachtext geeigneter erscheint, wenn die Lernzeit der Lernenden durch eine Lehrkraft extern vorgegeben werden kann. Der Einsatz von selbst generierten Visualisierungen erscheint demgegenüber vor allem dann angebracht, wenn den Lernenden eine individuelle und ausreichende Lernzeit zur Verfügung steht. Darüber hinaus erweist sich in dieser Arbeit die Qualität der selbst generierten Visualisierungen zu einem Sachtext als geeigneter Prädiktor für das aus dem Text erworbene Verständnis (= *Prognostic Drawing Principle*). Vor dem Hintergrund einer adaptiven Unterrichtsgestaltung bietet sich daher die Nutzung der Qualität der selbst generierten Visualisierungen als Mittel zur formativen Diagnostik an, indem sowohl die Lehrenden als auch die Lernenden eine zeitnahe Rückmeldung über den Lernfortschritt erhalten (vgl. Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008).

5.4 Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit können für die zukünftige Forschung folgende Empfehlungen gegeben werden.

Für die *Forschung zum multimedialen Lernen* wäre eine systematische Untersuchung des in dieser Arbeit angedeuteten Zusammenhanges zwischen der Gestaltung der Lernzeit und der Wirksamkeit des Lernens mittels Text und vorgegebenen Visualisierungen wünschenswert. Dazu sollte innerhalb desselben experimentellen Designs die Dauer der Lernzeit und die Selbstregulation der Lernzeit sowohl in papierbasierten als auch computerbasierten multimedialen Lernumgebungen variiert werden. Hierbei sollten zukünftige Studien nicht nur die Effekte beim Lernen mit geschriebenem Text und vorgegebenen Visualisierungen fokussieren, sondern zudem auch den Einfluss der Art der Lernzeit bei weiteren multimedialen Lern-Arrangements wie dem Lernen mit gesprochenem Text und vorgegebenen Visualisierungen oder dem Lernen mit Animationen untersuchen.

Für die *Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen* wäre vor dem Hintergrund der bisher inkonsistenten empirischen Befunde über diese Arbeit hinaus eine weitere Replikation der lernförderlichen Wirkung des selbstständigen Visualisierens sinnvoll. Insbesondere die aus der Studie von Leutner und Kollegen (2009) belegte, in dieser Arbeit jedoch nicht hinreichend bestätigte Bedeutung der mentalen Belastung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen sollte anhand weiterer Untersuchungen differenzierter untersucht werden. Denkbar wäre z. B., die mentale Belastung zu mehreren Messzeitpunkten, das heißt nach der Bearbeitung jedes Textabschnittes, zu erfassen (vgl. DeLeuw & Mayer, 2008; van Gog, Kirschner & Paas, 2009).

Zweitens liefert diese Arbeit zwar Belege für die lernförderliche Wirkung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen, jedoch keine Belege für die in der *Generative Theory of Drawing Construction* (GTDC; van Meter & Garner, 2005) angenommenen zugrunde liegenden Wirkmechanismen einer verstärkten Anregung kognitiver und metakognitiver Prozesse. Eine detaillierte Untersuchung dieser beiden Wirkmechanismen zur empirischen Stützung der GTDC wäre demzufolge notwendig.

Drittens konnten in dieser Arbeit Hinweise auf die Wirksamkeit einer *baseline*-Unterstützung beim Lernen mit selbst generierten Visualisierungen gezeigt werden. Zur endgültigen Klärung der Wirksamkeit der *baseline*-Unterstützung müssen allerdings in zukünftigen Studien experimentelle Vergleiche der puren, nicht unterstützten Visualisierungsinstruktion mit der *baseline*-unterstützten Visualisierungsinstruktion durchgeführt werden. Zudem blieb die Frage nach dem notwendigen Ausmaß an instruktionaler Unterstützung offen. Zukünftige Studien sollten daher das Ausmaß der instruktionalen Unterstützung noch differenzierter variieren. So könnte z. B. die Wirksamkeit der beiden Elemente der *baseline*-Unterstützung (Zeichenelemente versus Zeichenhintergrund) einzeln überprüft werden. In diesem Kontext könnte zudem auch die Wirksamkeit anderer Unterstützungsmaßnahmen getrennt von der *baseline*-Unterstützung überprüft werden.

Viertens wäre es wünschenswert, die in dieser Arbeit aufgezeigten Unterschiede im Effektmuster der Instruktion zum papierbasierten Visualisieren und der Instruktion zum computerbasierten Visualisieren detaillierter zu untersuchen. Hierbei sollte innerhalb desselben experimentellen Designs überprüft werden, ob es sich bei dem in dieser Arbeit gefundenen Unterschied tatsächlich um einen durch das Medium bedingten Effekt handelt. In diesem Zusammenhang sollte zudem überprüft werden, ob der fehlende positive Effekt des computerbasierten Visualisierens möglicherweise durch eine nicht-optimale instruktionaler

Gestaltung der in dieser Arbeit eingesetzten computerbasierten Lernumgebung erzeugt worden ist. Denkbar wäre es daher, die computerbasierte Lernumgebung z. B. über eine zusätzliche Trainingsphase, in der die Lernenden mit dem Umgang der Lernumgebung vertraut gemacht werden, zu optimieren (Kellogg & Mueller, 1993).

Fünftens wäre es wünschenswert, die Strategie des selbstständigen Visualisierens in den realen Schul- bzw. Lernalltag von Schülern und Lehrern zu implementieren. So könnte z. B. anhand einer Interventionsstudie überprüft werden, inwiefern der Einsatz des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen mit *baseline*-Unterstützung in Form von so genannten Workbooks, wie sie aus dem Fremdsprachenunterricht bekannt sind, die Schüler bei der selbstständigen Bearbeitung von Sachtexten unterstützen kann und ob Schüler diese Hilfe tatsächlich nutzen. Wünschenswert wäre es hierbei, den prädiktiven Nutzen der Qualität der selbst generierten Visualisierungen für den anschließenden Lernerfolg im Sinne einer formativen Diagnostik zu integrieren. In diesem Zusammenhang wäre es sinnvoll, den Nutzen von Vergleichsvisualisierungen durch die Integration von Kohärenzhilfen oder von metakognitiven Prompts erneut zu überprüfen (vgl. Bannert, 2007; Brünken, Seufert & Zander, 2005; Plötzner, Bodemer & Feuerlein, 2001; Seufert, 2003a, b).

Abschließend ist festzustellen, dass in dieser Arbeit insbesondere für die Forschung zum Einsatz selbst generierter Visualisierungen als Textverstehenshilfen eine Vielzahl viel versprechender Ansatzpunkte für weiterführende Fragestellungen aufgezeigt werden konnten. Basierend auf den in dieser Arbeit vorgestellten Befunden sollte das primäre Ziel zukünftiger Forschung zum Lernen mit selbst generierten Visualisierungen darin bestehen, eine umfangreiche theoretische und empirische Einbettung zu leisten, wie sie für die Forschung zum multimedialen Lernen weitestgehend bereits besteht. Diese sollte in eine empirisch belegte Sammlung von Gestaltungsprinzipien zur optimalen instruktionalen Gestaltung des Lernens mit selbst generierten Visualisierungen münden.

5.5 Literatur

- Alesandrini, K. L. (1981). Pictorial-verbal and analytic-holistic learning strategies in science learning. *Journal of Educational Psychology*, *73*, 358-368.
- Alesandrini, K. L. (1984). Pictures and adult learning. *Instructional Science*, *13*, 63-77.
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedia. Erfassung, Beschreibung und Vermittlung wirksamer metakognitiver Lernstrategien und Regulationsaktivitäten*. Münster: Waxmann.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, *7*, 161-186.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International Journal of Educational Research*, *31*, 445-457.
- Brünken, R., Seufert, T. & Zander, S. (2005). Förderung der Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *19*, 61-75.
- Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: a theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, *65*, 245-281
- Carney, R. N. & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, *14*, 5-26.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, *8*, 293-332.
- DeLeeuw, K. E. & Mayer, R. E. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, *100*, 223-234.
- Glenberg, A. M., Wilkinson, A.C. & Epstein, W. (1982). The illusion of knowing: Failure in the self-assessment of comprehension. *Memory and Cognition*, *10*, 597-602.
- Greene, T. R. (1989). Children's understanding of class inclusion hierarchies: The relationship between external representation and task performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, *48*, 62-89.
- Hall, V. C., Bailey, J. & Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, *89*, 677-681.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, *13*, 351-371.
- Kellogg, R. T. & Mueller, S. (1993): Performance amplification and process restructuring in computer-based writing. *International Journal of Man-Machine Studies*, *39*, 33-49.

- Kintsch, W. & van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85, 363-394.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254-284.
- Leopold, C. (2009). *Lernstrategien und Textverstehen*. Münster: Waxmann
- Leopold, C. & Leutner, D. (2004). Selbstreguliertes Lernen und seine Förderung durch prozessorientiertes Training. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 364-376). Münster: Waxmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen: Lehr-/lerntheoretische Grundlagen. In U. Witthaus, W. Wittwer & C. Espe (Hrsg.), *Selbst gesteuertes Lernen - Theoretische und praktische Zugänge* (S. 43-67). Bielefeld: Bertelsmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Leutner, D., Leopold, C. & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior*, 25, 284-289.
- Lesgold, A. M., DeGood, H. & Levin, J. R. (1977). Pictures and young children's prose learning: A supplementary report. *Journal of Reading Behavior*, 9, 353-360.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J. & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology*, 67, 636-642.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125-139.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93, 390-397.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 43-52.
- Moreno, R. (2006). Does the modality principle hold for different media? A test of the method affects learning hypothesis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 149-158.

- Paas, F., Tuovinen, J., Tabbers, H. & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38, 63-71.
- Plötzner, R., Bodemer, D. & Feuerlein, I. (2001). Facilitating the mental integration of multiple sources of information in multimedia learning environments. In C. Montgomerie & J. Viteli (Hrsg.), *Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, Norfolk, VA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Schnotz, W. (1994). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 65-81). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (2003). Informationsintegration mit Sprache und Bild. In G. Rickheit, W. Deutsch & T. Herrmann (Hrsg.), *Psycholinguistik: Ein internationales Handbuch* (S. 577-587). Berlin: De Gruyter.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 49-70). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- Schworm, S. & Renkl, A. (2006). Computer-supported example based learning: When instructional explanations reduce self-explanations. *Computers and Education*, 46, 426-445.
- Seufert, T. (2003a). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 227-237.
- Seufert, T. (2003b). *Wissenserwerb mit multiplen Repräsentationen. Wirksamkeit von Kohärenzbildungshilfen*. Berlin: Logos.
- Seufert, T., Zander, S. & Brünken, R. (2007). Das Generieren von Bildern als Verstehenshilfe beim Lernen aus Texten. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39, 33-42.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78, 153-189.
- Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13, 191-203.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.

- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Orlando: Academic Press.
- van Meter, P. (2001). Drawing construction as a strategy for learning from text. *Journal of Educational Psychology*, 93, 129-140.
- van Meter, P. & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17, 285-325.
- van Meter, P., Aleksic, M., Schwartz, A. & Garner, J. (2006). Learner-generated drawing as a strategy for learning from content area text. *Contemporary Educational Psychology*, 31, 142-166.
- van Gog, T., Kirschner, F. & Paas, F. (2009). Messen kognitiver Belastung beim Lernen. In PAEPs Saarbrücken (Hrsg.), *Tagungsbandbeitrag der 12. Fachtagung Pädagogischer Psychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs)* (S. 145). Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (S. 315-327). New York: Macmillan.
- Wild, K. -P. (2000). *Lernstrategien im Studium*. Münster: Waxmann.
- Winne, P. H. & Hadwin, A. F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D. J. Hacker, J. Dunlosky & A. C. Graesser (Hrsg.), *Metacognition in educational theory and practice* (S. 277-304). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Winne, P. H. & Perry, N. E. (2000). Measuring self-regulated learning. In M. Boekaerts, P. Pintrich & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (S. 531-566). Orlando: Academic Press.
- Zimmerman, B. J. (2001). Theories of self-regulated learning and academic achievement: An overview and analysis. In B. J. Zimmerman & D. H. Schunk (Hrsg.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theoretical Perspectives* (S. 1-37). Mahwah, NJ: Erlbaum.