

Der Einfluss der Präsentationsgeschwindigkeit
auf das Wahrnehmen und Verstehen beim Lernen
mit einer Animation

Vom Promotionsausschuss des Fachbereichs Psychologie der
Universität Koblenz-Landau zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie (Dr. phil.) genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Katja Hartig

Vorsitzender des Promotionsausschusses: Prof. Dr. Manfred Schmitt

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Wolfgang Schnotz

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Holger Horz

Datum der wissenschaftlichen Aussprache: 05. Juni 2014

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
1 EINFÜHRUNG UND ZIELE DER ARBEIT	5
I THEORETISCHER HINTERGRUND.....	10
2 LERNEN UND VERSTEHEN	11
2.1 <i>Lernen als Prozess</i>	11
2.2 Begriffsbestimmung: mentale Repräsentationen	12
2.2.1 Bilder als externe Repräsentationen	12
2.2.2 Mentale Repräsentationen	13
2.2.3 Vorteile von Bildern bei der Konstruktion mentaler Repräsentationen	16
3 GEDÄCHTNISMODELLE	18
3.1 <i>Das Mehr-Speichermmodell von Atkinson und Shiffrin</i>	18
3.2 <i>Die Rolle des Kurzzeitgedächtnisses als Arbeitsgedächtnis</i>	20
3.3 <i>Cognitive Load Theory</i>	22
4 KOGNITIVE THEORIEN DES LERNENS MIT MULTIMEDIA	25
4.1 <i>Duale Kodierungstheorie von Paivio</i>	26
4.2 <i>Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Mayer</i>	28
4.3 <i>Die Integrative Theorie des Text- und Bildverstehens von Schnotz und Bannert</i>	31
5 KOGNITIVE THEORIEN DES BILDVERSTEHENS	35
5.1 <i>Arten und Funktionen von Bildern im Lernkontext</i>	35
5.1.1 Bildarten	36
5.1.2 Funktionen von Bildern	37
5.2 <i>Prozessmodell des Bildverstehens nach Weidenmann</i>	39
5.2.1 Verarbeitungsmodi/Verstehensmodi	40
5.2.2 Prozess des Bildverstehens	43
6 LERNEN MIT ANIMATIONEN	44
6.1 <i>Definition von Animation</i>	45
6.2 <i>Merkmale von Animationen</i>	45
6.2.1 Räumliche und zeitliche Strukturen.....	45

6.3 <i>Verarbeitung von Animationen</i>	47
6.3.1 <i>Wahrnehmung</i>	47
6.3.2 <i>Kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen</i>	50
6.4 <i>Vorteile und Schwierigkeiten beim Lernen mit Animationen</i>	52
6.5 <i>Empirische Befunde zum Lernen mit Animationen</i>	54
6.5.1 <i>Interaktivität</i>	54
6.5.2 <i>Manipulation der Geschwindigkeit</i>	57
6.6 <i>Bedeutung von Lernermerkmalen beim Lernen mit Animationen</i>	59
6.6.1 <i>Räumliches Vorstellungsvermögen</i>	60
6.6.2 <i>Vorwissen</i>	63
7 <i>THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN UND ÜBERBLICK ÜBER DIE EMPIRISCHEN STUDIEN</i>	67
7.1 <i>Zusammenfassung und Herleitung der Fragestellungen der Arbeit</i>	67
7.2 <i>Überblick über die empirischen Studien</i>	72
II EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN	74
8 <i>PILOTSTUDIE</i>	75
8.1 <i>Zielsetzung</i>	75
8.2 <i>Fragestellung</i>	75
8.3 <i>Methode</i>	76
8.3.1 <i>Lernmaterial</i>	76
8.3.2 <i>Messinstrumente</i>	78
8.3.3 <i>Design</i>	84
8.3.4 <i>Stichprobe</i>	84
8.3.5 <i>Durchführung</i>	85
8.3.6 <i>Statistische Auswertung</i>	86
8.4 <i>Ergebnisse</i>	87
8.4.1 <i>Itemanalyse</i>	87
8.4.2 <i>Deskriptive Ergebnisse</i>	90
8.5 <i>Zusammenfassung und Diskussion</i>	94
9 <i>STUDIE 1 – WIE FUNKTIONIERT EIN VIERTAKTMOTOR?</i>	96
9.1 <i>Zielsetzung</i>	96
9.2 <i>Fragestellung und Hypothesen</i>	96

9.3 Methode.....	100
9.3.1 Lernmaterial	100
9.3.2 Messinstrumente.....	101
9.3.3 Design	104
9.3.4 Stichprobe.....	104
9.3.5 Durchführung	105
9.3.6 Statistische Auswertung	106
9.4 Ergebnisse.....	107
9.4.1 Analyse des Lernerverhaltens.....	107
9.4.2 Beantwortung der Forschungsfragen	110
9.5 Zusammenfassung und Diskussion.....	119
10 STUDIE 2 – ANALYSE VON BLICKBEWEGUNGEN.....	123
10.1 Zielsetzung	123
10.2 Fragestellung und Hypothesen	124
10.3 Methode.....	126
10.3.1 Lernmaterial	126
10.3.2 Messinstrumente.....	127
10.3.3 Design	130
10.3.4 Stichprobe.....	131
10.3.5 Durchführung	131
10.3.6 Auswertung	132
10.4 Ergebnisse.....	133
10.4.1 Analyse der Blickbewegungsdaten.....	133
10.4.2 Testung der Hypothesen 3 bis 7.....	140
10.5 Zusammenfassung und Diskussion.....	145
11 STUDIE 3 – SEQUENZIERUNG VON GESCHWINDIGKEITEN	149
11.1 Zielsetzung	149
11.2 Fragestellung und Hypothesen	150
11.3 Methode.....	153
11.3.1 Lernmaterial	153
11.3.2 Messinstrumente.....	154
11.3.3 Design	155

11.3.4 Stichprobe	155
11.3.4 Durchführung.....	156
11.3.5 Auswertung.....	157
<i>11.4 Ergebnisse</i>	<i>158</i>
11.4.1 Testung der Hypothesen 1 und 2.....	158
11.4.2 Testung der Hypothesen 3 bis 7	161
<i>11.5 Zusammenfassung und Diskussion</i>	<i>176</i>
III GESAMTDISKUSSION	181
12 DISKUSSION UND AUSBLICK.....	182
12.1 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse.....	182
12.2 Implikationen.....	190
12.3 Ausblick.....	192
ZUSAMMENFASSUNG	195
LITERATURVERZEICHNIS	196
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	212
TABELLENVERZEICHNIS	214
ANHANG.....	216
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	249
DANKSAGUNG	250
LEBENS LAUF	251

1 Einführung und Ziele der Arbeit

Bei der Gestaltung von Lernmaterial hat der Einsatz von Bildern in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen. Die Funktion von Bildern in instruktionalen Kontexten, das heißt in Kontexten in denen Wissenserwerb stattfinden soll, ist unter anderem in der Veranschaulichung von Sachverhalten und in der Hilfe beim Verstehen von Inhalten zu sehen. Der lernförderliche Aspekt von instruktionalen Bildern ist weithin bekannt und konnte bisher in einer Vielzahl von Studien gefunden werden (siehe hierzu die Metaanalysen von Levie & Lentz, 1982 und Levin, Anglin & Carney, 1987; Dwyer, 1978; Joseph & Dwyer, 1984; Kosslyn, 1989; Larkin & Simon, 1987; Mayer, 1993; Mayer, 1994; Peeck, 1993).

Mit der Weiterentwicklung der Technik finden sich auch immer mehr Wege des Einsatzes von dynamischen Bildern¹, also Bildern, die dynamische Sachverhalte explizit zeigen (Chandler, 2004). Die technischen Möglichkeiten sind mittlerweile auf einem Stand, der es erlaubt, dass Animationen, Simulationen und interaktive Lernmaterialien einfach herzustellen sind. Dies geschieht häufig in der einfachen und naiven Annahme, dass dynamische Bilder besser für die Vermittlung von Wissen geeignet sind als statische Bilder, besonders wenn es um die Darstellung dynamischer Lerninhalte geht. Hierbei werden empirische Ergebnisse aus der Text-Bildforschung übertragen auf das Lernen mit Animationen (Lewalter, 1997). Dies funktioniert jedoch nicht ohne weiteres, wie sich aus den heterogenen Ergebnissen zum Lernen mit Animationen versus dem Lernen mit statischen Bildern ablesen lässt (Höffler & Leutner, 2007; Rieber, 1990a; Tversky, Bauer Morrison & Bétrancourt, 2002).

Einerseits kann durchaus angenommen werden, dass Animationen das Verstehen von dynamischen Sachverhalten fördern können, insbesondere das Verstehen von räumlichen und zeitlichen Aspekten eines Sachverhalts. Dynamische Bilder bieten alle Informationen, die für die Herstellung einer mentalen Repräsentation der Bewegung relevant sind und sollten daher ein tieferes Verstehen fördern. Aber warum es gibt nur wenig empirische Evidenz für diese Annahme? Die Anforderungen, die die Bearbeitung von dynamischen Bildern an den Lerner stellen, sind komplex. Dynamische Bilder sind flüchtiger Natur (Lowe, 1999, 2003), das heißt, Informationen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Gleichzeitig ist es für das Verstehen von Bildern wesentlich, dass relevante Informationen auch erfolgreich entnommen werden

¹ Dynamische Visualisierungen, dynamische Repräsentationen und Animationen werden in der Literatur synonym verwendet (Ainsworth & van Labeke, 2004), so auch in dieser Arbeit.

können (Mayer & Gallini, 1990). Diese erfolgreiche Extraktion relevanter Informationen ist, wie verschiedene Studien zum Lernen mit Animationen zeigen konnten (Lowe, 1999, 2003), nicht immer gewährleistet. Insbesondere, wenn es sich bei den Lernenden um Novizen handelt. Andererseits ist es auch möglich, dass Animationen als ein „einfaches“ Lernmedium eingestuft und dementsprechend nicht tief genug verarbeitet werden (Salomon, 1984).

Der Vorteil von Animationen gegenüber statischen Bildern, nämlich das explizite Darstellen von Prozessen, kann aber auch genutzt werden, um die Konstruktion eines angemessenen mentalen Modells zu einem dargestellten Sachverhalt effektiv zu unterstützen. Dies soll vor allem dann gelten, wenn der zu lernende Sachverhalt dynamische Informationen enthält, zum Beispiel biologische Prozesse oder mechanische Funktionsweisen. Dabei ist die instruktionale Gestaltung der Visualisierung von Lehrinhalten von entscheidender Bedeutung. Das Design von Animationen muss die perzeptuellen und kognitiven Voraussetzungen des Lerners beachten und mit einbeziehen (Lowe, 2002; Schwan, 2002) ebenso wie das Bedürfnis von Lernenden nach Unterstützung beim Lernen mit Animationen (Lowe, 2002). Nur so können Animationen lernförderlich sein. Die Frage nach einer guten instruktionalen Gestaltung betrifft nicht nur die Darstellung von Bildern, die räumliche Anordnungen von Texten und Bildern im Lernmaterial oder die Nutzung verschiedener Sinnesmodalitäten, sondern und insbesondere die Frage nach der Präsentationsgeschwindigkeit von dynamischem Lernmaterial. Dieser Frage widmet sich die vorliegende Arbeit. Es wird angenommen, dass die Geschwindigkeit, in der eine Animation präsentiert wird, die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung des dargestellten Sachverhalts beeinflusst. Die zeitliche Gestaltung als instruktionales Mittel fand in der bisherigen Forschung wenig Beachtung. In einer Studie von Fischer, Lowe und Schwan (2006) wurde experimentell untersucht, wie sich unterschiedliche Geschwindigkeiten einer Animation (Realgeschwindigkeit vs. Zeitraffer) auf das Verstehen der Funktionsweise einer Pendeluhr auswirken. Die Variation der Geschwindigkeit sollte die Aufmerksamkeitsverteilung und das Verstehen beeinflussen. So sollten bei langsamer Geschwindigkeit der Animation andere Ereignisse betont werden als bei schneller Geschwindigkeit der Animation. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass die Konstruktion eines dynamischen mentalen Modells durch die Manipulation der Darbietungsgeschwindigkeit beeinflusst werden kann.

Animationen besitzen räumliche und zeitliche Strukturen, die hierarchisch sind. Genauso wie die räumlichen Eigenschaften eines (statischen oder dynamischen) Bildes in Teil-Ganzes-Beziehungen aufgegliedert werden können, kann die zeitliche Struktur von Animationen in

Ereignisse und Subereignisse untergegliedert werden (Zacks & Tversky, 2001). So wie beispielsweise ein Auto aufgegliedert werden kann in die Einzelteile, aus denen es besteht, so kann auch das Funktionieren eines Motors als Ereignis in einzelnen hierarchisch untergliederten Teilereignisse beschrieben werden. Auf diese Weise konstituiert sich eine *Partonomie* von Ereignissen bestehend aus dynamischen Mikro- und Makroereignissen (Miller & Johnson-Laird, 1976; Tversky, 1990; Tversky & Hemenway, 1984). Es ist dabei anzunehmen, dass die Salienz verschiedener hierarchischer Ebenen durch die Präsentationsgeschwindigkeit einer Animation beeinflusst werden kann (Fischer & Schwan, 2010; Schnotz & Lowe, 2008). Eine hohe Geschwindigkeit sollte langsamere Mikroereignisse betonen und eine niedrige Geschwindigkeit schnellere Mikroereignisse. Dies geschieht infolge der Beschränkungen des menschlichen Wahrnehmungsapparates. Eine Bewegung kann nur wahrgenommen werden, wenn sie sich innerhalb eines bestimmten Bereichs der Sensitivität für dynamische Kontraste befindet. Zu langsame und zu schnelle Bewegungen, die außerhalb dieses Bereichs liegen, können nicht wahrgenommen werden. Darüber hinaus kann nur ein kleiner Teil der Darstellung einer Animation zu einer Zeit gesehen werden. Es ist daher beim Lernen mit Animationen besonders wichtig, dass die visuelle Aufmerksamkeit zur richtigen Zeit auf die richtige Stelle gelenkt wird, um relevante Informationen erfolgreich extrahieren zu können (Lowe, 1999; Schnotz & Lowe, 2008).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses der Präsentationsgeschwindigkeit auf die Wahrnehmung und Verarbeitung eines dynamischen Sachverhalts. Im Speziellen geht es um die Beantwortung folgender Fragen:

Hat die Präsentationsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz dynamischer Hierarchieebenen?

Wie werden dynamisch dargestellte Sachverhalte perzeptuell und kognitiv verarbeitet?

Welches Geschwindigkeitsmuster im Sinne verschiedener Sequenzen von Animationsgeschwindigkeiten eignet sich am besten für den Aufbau mentaler Modelle?

Konzeptueller Aufbau Die vorliegende Arbeit gliedert sich in drei Teile: den theoretischen Hintergrund, die Darstellung der empirischen Studien und eine abschließende Diskussion mit Ausblick.

Im theoretischen Teil geht es in *Kapitel 2* zunächst um die Klärung grundlegender Begriffe. Was wird (in dieser Arbeit) unter Lernen verstanden? Wie sind Bilder zu charakterisieren? Wie kann man sich das Ergebnis von Lernen im Kopf des Lerners vorstellen? Nach der Klärung dieser Begriffe wird es in *Kapitel 3* um den Ort gehen, an dem Lernen stattfindet: das Gedächtnis. Dabei soll, ausgehend von einem Modell des Gedächtnisses, welches mehrere Speicherkomponenten annimmt, das Arbeitsgedächtnis als der Ort beschrieben, an dem zentrale Lernprozesse stattfinden. Zusätzlich wird mit der Cognitive Load Theory auf eine Theorie eingegangen, die sich mit verschiedenen Quellen der kognitiven Belastung auf die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beschäftigt. Nachdem der Ort für Lernprozesse lokalisiert wurde, werden in *Kapitel 4* Modelle dargestellt, die sich mit der Beschreibung der Prozesse beschäftigen, die im Arbeitsgedächtnis stattfinden. Es werden dabei Modelle vorgestellt, die Annahmen darüber treffen, wie mentale Repräsentationen aufgebaut werden. Während sich die in *Kapitel 4* beschriebenen Modelle mit der Verarbeitung von Texten und Bildern beschäftigen, werden in *Kapitel 5* Bilder als Lernmedium sowie ihre Verarbeitung beleuchtet. Es geht zunächst um verschiedene Arten von Bildern und ihre Funktionen im Lernkontext, um im Anschluss daran ein Modell zur Verarbeitung von Bildern vorzustellen. *Kapitel 6* widmet sich schließlich dem eigentlichen Forschungsgegenstand der Arbeit, den dynamischen Bildern. Hier werden neben einer Begriffsdefinition von Animationen deren Merkmale sowie perzeptuelle und kognitive Aspekte der Verarbeitung von Animationen thematisiert. Es werden außerdem Vorteile und Schwierigkeiten des Lernens mit Animationen beleuchtet und empirische Befunde berichtet. In *Kapitel 7* werden die Fragestellungen der Arbeit aus den theoretischen Vorüberlegungen abgeleitet und ein Überblick über die empirischen Studien gegeben.

Im empirischen Teil der Arbeit werden insgesamt vier Studien vorgestellt. Die Darstellung aller Studien folgt dabei einem vergleichbaren Aufbau. Zunächst werden die Zielsetzung und die sich daraus ergebenden Fragestellungen beschrieben. Es werden Forschungshypothesen aufgestellt, Erhebungs- und Auswertungsmethoden dargestellt, Ergebnisse berichtet und diskutiert. Die *Pilotstudie* hatte das Ziel, die Eignung des entwickelten Lernmaterials zur Funktionsweise des Viertaktmotors sowie des eigens konstruierten Wissenstest zu überprüfen. Zum Einsatz kam eine Version des Lernmaterials mit der Möglichkeit, zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten und Ansichten des Motors selbst zu wählen. Dies diente zum einen der Beantwortung der Frage nach „guten“ schnellen und langsamen Präsentationsgeschwindigkeiten, zum anderen sollte untersucht werden, ob und wie Lerner

die interaktiven Möglichkeiten der Animation nutzen. *Studie 1* diente der Untersuchung der Frage des Einflusses der Abspielgeschwindigkeit der Animation auf die Salienz dynamischer Hierarchieebenen und damit auf den Lernerfolg beim Lernen mit einer interaktiven Animation. Dazu kam eine modifizierte Version des Lernmaterials zum Einsatz. *Studie 2* untersuchte die perzeptuellen und kognitiven Prozesse beim Lernen mit einer Animation mithilfe von Blickbewegungsaufzeichnungen. In diesem Laborexperiment kam eine systemgesteuerte Animation zum Einsatz, die zwei verschiedene Geschwindigkeiten in unterschiedlichen Sequenzen (schnell-langsam vs. langsam-schnell) präsentierte. *Studie 3*² sollte schließlich den Einfluss verschiedener Sequenzen von Geschwindigkeiten auf den Lernerfolg untersuchen und dabei der Frage nach dem Verhältnis zwischen perzeptueller und kognitiver Verarbeitung dynamischer Informationen nachgehen. Das Design entsprach dabei dem von Studie 2 allerdings mit einer zusätzlichen Testung des Wissens nach jeder Animationssequenz. In *Kapitel 12* werden schließlich die Ergebnisse der Studien zusammenfassend diskutiert und in den aktuellen Stand der Forschung eingeordnet. Zudem wird ein Ausblick für zukünftige Forschung gegeben.

² Die Durchführung dieser Studie geschah mit maßgeblicher Beteiligung von Maria Angela Geißert, die die Daten auch im Rahmen ihrer Diplomarbeit nutzte.

I Theoretischer Hintergrund

2 Lernen und Verstehen

Dass die reine Wahrnehmung und Betrachtung von visuellen Information nicht ausreichend für das Verstehen eines Sachverhaltes ist, scheint einleuchtend und konnte bereits in verschiedenen Studien empirisch belegt werden (Salomon, 1984; Weidenmann, 1988b). Vielmehr muss ein Lerner, um einen Sachverhalt zu verstehen, diesen mental repräsentieren. Dazu müssen Informationen selektiert, organisiert und integriert werden (Mayer, 2005; Schnotz, 2002b; Steiner, 2006). Es handelt sich hierbei um eine gezielte Extraktion von Informationen mit dem Ziel der Bildung eines kohärenten mentalen Modells, welches mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis (Vorwissen) verknüpft und so gespeichert wird. Die Konstruktion einer mentalen Repräsentation, einer „Abbildung“ des Sachverhaltes im Kopf des Lerners, muss also stattfinden, um einen dargestellten Sachverhalt zu verstehen. Theorien, die diese Prozesse beschreiben, werden in Kapitel 4 dargestellt. In diesem Kapitel geht es zunächst um die Definition von Lernen als Prozess, um Bilder als externe Repräsentationen und um die Beschreibung von mentalen Repräsentationen als Ergebnis des Lernprozesses.

2.1 Lernen als Prozess

In dieser Arbeit wird der Begriff „Lernen“ als *Wissenserwerb* verstanden. „Lernen im Sinne des Wissenserwerbs ist ein bereichsspezifischer, komplexer Prozess, der den Aufbau und die fortlaufende Modifikation von Wissensrepräsentationen umfasst“ (Steiner, 2006, S. 163). Ziel des Lernprozesses ist es demnach, Wissen zu erwerben und anzuwenden. Der Prozess des Wissenserwerbs umfasst dabei die Teilprozesse *Verstehen*, *Speichern* und *Abrufen*. Informationen müssen also zuerst aktiv angeeignet und „verstanden“ werden, bevor eine weitere Verarbeitung stattfindet. Ort für diese Verstehensprozesse ist das Arbeitsgedächtnis (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley, 1992). Die Ergebnisse der Verstehensprozesse, auch *mentale Repräsentationen* genannt, werden im Langzeitgedächtnis gespeichert. Das erworbene Wissen kann nun aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden, um verfügbar für den Erwerb von neuem Wissen oder für die Anwendung des Wissens auf neue Situationen oder Problemstellungen zu sein. Diese Anwendung oder auch *Transfer* von Wissen kann als das eigentliche Ziel des Wissenserwerbsprozesses gesehen werden. Wichtig ist zu erwähnen, dass die Veränderungen von Wissensrepräsentationen, die durch das Lernen stattfinden, dauerhaft sein müssen. Laut Sweller (2005) hat kein Lernen stattgefunden, wenn keine Veränderung im Langzeitgedächtnis stattgefunden hat.

2.2 Begriffsbestimmung: mentale Repräsentationen

Bevor in Kapitel 4 das Verstehen von Bildern als das Konstruieren von mentalen Repräsentationen thematisiert werden kann, muss in einem ersten Schritt geklärt werden, worum es sich beim Begriff der *mentalen Repräsentationen* handelt. Ausgehend von der Beschreibung von Bildern als externen Repräsentationen eines Sachverhalts werden mentale Repräsentationen genauer beleuchtet. Aufbauend darauf wird kurz auf die Vorteile von Bildern beim Konstruieren mentaler Modelle eingegangen.

2.2.1 Bilder als externe Repräsentationen

„Der Repräsentationsbegriff beinhaltet, dass etwas für ein anderes steht“ (Schnotz, 1994a, S.145). Diesem Zitat ist zu entnehmen, dass zu einem Sachverhalt jeweils eine Repräsentation dieses Sachverhalts existiert. Diese Repräsentation kann sowohl *extern*, in Form eines Bildes oder eines Textes, als auch *intern*, in Form einer mentalen Struktur im Kopf einer Person, vorliegen. In diesem Abschnitt werden externe Repräsentationen genauer beschrieben, wobei der Fokus, mit Hinblick auf das Thema der Arbeit, auf Bildern als externen Repräsentationen liegt.

Schnotz und Bannert (1999) unterscheiden in ihrem integrierten Modell des Text- und Bildverstehens (siehe Kapitel 4.3) zwischen deskriptionalen und depiktionalen Repräsentationen. Diese Unterscheidung wird getroffen aufgrund unterschiedlicher Zeichensysteme, mit denen Repräsentationen dargestellt sind. So gehören Texte zu den *deskriptionalen* Repräsentationen, da sie Sachverhalte durch eine arbiträre Zeichenstruktur beschreiben, welche mit dem Bezeichneten durch gelernte Konventionen verbunden sind. Dies können beispielsweise verschiedene Sprachen sein. Bilder hingegen werden den *depiktionalen* Repräsentationen zugeordnet. Sie bestehen aus ikonischen Zeichen, die mit dem bezeichneten Sachverhalt durch gemeinsame Strukturmerkmale verbunden sind. Depiktionale Repräsentationen weisen dabei eine Ähnlichkeit zum repräsentierten Sachverhalt (*Repräsentandum*) auf, die mehr oder weniger stark ausgeprägt sein kann. Bezogen auf die Ähnlichkeit zwischen Repräsentant und Repräsentandum kann man zwischen unterschiedlichen Abstufungen unterscheiden. *Realistische Bilder* wie Fotos, Zeichnungen oder auch Gemälde sind dem zu repräsentierenden Sachverhalt sehr ähnlich und stimmen in verschiedenen Merkmalen wie Farbe, Form, aber auch relativer Größe und Relationen von Teilen zueinander überein. *Logische Bilder*, wie beispielsweise Diagramme sind dem Sachverhalt, den sie repräsentieren weniger ähnlich. Sie stellen vielmehr qualitative und

quantitative Merkmale eines Sachverhalts dar und stimmen in der Struktur auf abstrakte Weise mit dem Repräsentandum überein.

Bilder enthalten dabei keine expliziten Relationszeichen wie zum Beispiel Verben oder Propositionen, sondern besitzen vielmehr inhärente Struktureigenschaften, die den jeweiligen Gegenstand repräsentieren. Nach Palmer (1978a) sind Bilder folglich den intrinsischen Repräsentationen zuzuordnen.

2.2.2 Mentale Repräsentationen

Die grundsätzliche Annahme einer mentalen (internen) Abbildung von Wissensstrukturen im Kopf eines Individuums spielt eine zentrale Rolle für die Beschreibung des Wissenserwerbs in den Theorien multimedialen Lernens, die in Kapitel 4 dargestellt werden. Diese Abbildungen von Wissensstrukturen werden *mentale Repräsentationen* genannt und sind, im Gegensatz zu Bildern und Texten als externen Repräsentationen, den internen Repräsentationen zuzuordnen. Dabei kann man nicht davon ausgehen, dass mentale Repräsentationen ein Ebenbild von externen Repräsentationen im Kopf einer Person darstellen. Mentale Repräsentationen stellen zwar Abbildungen von Sachverhalten dar, diese Abbildungen sind aber nicht als detailgetreu zu verstehen. Nur bedeutsame Merkmale eines extern repräsentierten Sachverhalts werden gespeichert, auf unwichtige Details wird beim Speichern der Information verzichtet (Anderson, 1996). Die mentale Repräsentation „Auto“ beispielsweise würde sich darauf beschränken, dass ein Auto durch Merkmale wie vier Räder, eine Karosserie und ein Lenkrad definiert ist. Farbe, Größe und Form wären hier keine definierten Merkmale und könnten variieren. Ein anderes Beispiel ist das „Gesichts-Schema“. Eine bestimmte Anordnung von Punkten und Linien lässt uns Gesichter erkennen, egal ob es sich dabei um ein Arrangement von verschiedenen Gemüsen (Abbildung 2.1) oder von Gesteinen auf dem Mars (Abbildung 2.2) handelt.



Abbildung 2.1. Guiseppe Arcimboldo: Vertemmus, Italien, ca. 1527-1593, Öl auf Leinwand (aus Palmer, 1978b)



Abbildung 2.2. Der Schatten eines verwitterten Tafelbergs auf dem Mars, Foto der US-Sonde "Viking 1", 25. Juli 1976 (Spiegel Online, 2013)

Innerhalb der mentalen Repräsentation von Wissen kann man zwischen Schemata, Skripten, Propositionen und mentale Modellen unterscheiden.

Der Begriff *Schema* wurde 1932 von Frederic Bartlett in die Gedächtnispsychologie eingeführt. Es handelt sich hierbei um prototypische, abstrakte Vorstellungen von bestimmten Sachverhalten. Die Abstraktion dieser Sachverhalte, auch *konzeptionelles Wissen*, wird in Schemata repräsentiert. Indem nur allgemeine Merkmale und Bedeutungen eines Sachverhalts im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden, unterstützen Schemata die Systematisierung von Wissen. Die Abwesenheit von Details bedeutet aber auch, dass Schemata Leerstellen aufweisen, die durch spezifische Merkmalsausprägungen eines Exemplars einer Kategorie gefüllt werden können. So kann das Schema „Auto“ durch eine detaillierte Vorstellung darüber angereichert werden, wie das Auto des Nachbarn aussieht (z.B. ein weißer Transporter mit roten Kennzeichen).

Bei der Rezeption neuen Wissens dienen Schemata als Schablone für das Erkennen von Objekten, Personen und Situationen. Durch diese Tatsache wird der Einfluss von bereits vorhandenem Wissen in Form von Schemata auf das Lernen von neuen Sachverhalten verdeutlicht. Schemata, auf die zurückgegriffen werden kann, helfen beim Aufbau mentaler Modelle und propositionaler Repräsentationen (siehe weiter unten im Text), indem sie durch bestimmte Merkmale im Bild oder Beschreibungen im Text aktiviert werden und die weitere Verarbeitung von Bild und Text beeinflussen. Diese Beeinflussung geschieht beispielsweise dadurch, dass Ableseprozesse am Bild schemageleitet fortgeführt werden (vgl. Kapitel 4.3;

Kintsch & van Dijk, 1978; Schnotz, 1994a; Schnotz & Bannert, 1999). Der Zusammenhang zwischen mehreren Schemata wird als semantisches Netzwerk bezeichnet.

Skripte können als eine Art Spezialfall von Schemata verstanden werden. Auch sie sind prototypisch und abstrakt. Bei Skripten handelt es sich aber um Schemata für Handlungsabläufe (Shank & Abelson, 1977). Man kann sich Skripte als eine Art Drehbuch vorstellen. Skripte sind hierarchisch organisiert und bestehen aus Haupt- und Unterkomponenten. Ein häufig zitiertes Beispiel ist das „Restaurant-Skript“ von Bower, Black und Turner (1979). Das Restaurant-Skript beispielsweise besteht aus Hauptkomponenten wie Bestellen, Tischmanieren oder Bezahlen, die wiederum jeweils Unterkomponenten enthalten. Skripte sind insofern prototypisch als dass auch sie Leerstellen aufweisen, die durch die Spezifikation eines Sachverhaltes mit Details angereichert werden können. So lässt sich das Restaurant-Skript beispielsweise auf verschiedene Arten von Restaurants wie Cafés, Kneipen oder Kantinen anwenden. Skripte erlauben so einerseits das Verstehen von Vorgängen wie auch Vorhersagen über bestimmte Ereignisse. Sie beeinflussen die Planung und Ausführung von Routineaktivitäten.

Bei *Propositionen* handelt es sich um symbolbasierte Repräsentationen, welche aus sprachlichen Informationen konstruiert werden (Anderson, 1996; Johnson-Laird, 1987). Da diese Arbeit die kognitive Verarbeitung von Bildern fokussiert, wird auf diese Art der mentalen Repräsentation nicht näher eingegangen. Erwähnt sei sie aber dennoch, da auch aus mentalen Modellen heraus Informationen propositional gespeichert werden und zwischen analogen Strukturen und Propositionen Interaktionen stattfinden (Schnotz & Bannert, 1999).

Mentale Modelle spielten eine zentrale Rolle für die Erklärung von Verstehensprozessen. Der Begriff wurde zuerst von Johnson-Laird (1980; 1983) eingeführt.

„In short, our view of the world is causally dependent both on the way the world is and on the way we are. There is an obvious but important corollary: all knowledge of the world depends on our ability to construct models of it“ (Johnson-Laird, 1983, S. 402).

Mentale Modelle bilden externe Repräsentationen eines Sachverhalts als interne analoge Repräsentationen ab. Bestimmte Eigenschaften wie die Struktur und die Funktion des extern repräsentierten Sachverhalts bleiben im mentalen Modell erhalten und werden räumlich repräsentiert. Insofern sind mentale Modelle spezifischer als semantische Netzwerke, aber abstrakter als die visuelle Wahrnehmung. Man kann mentale Modelle auch als

"gegenstandsnah" (Schnotz, 1988) beschreiben. Mentale Modelle sind vorwissensabhängig, die Konstruktion eines mentalen Modelles auf Basis desselben Lernmaterials kann bei Lernern mit unterschiedlichem Vorwissen unterschiedlich ausfallen. Schnotz und Bannert (1999) charakterisieren mentale Modelle als sensorisch unspezifisch, also unabhängig davon, ob sie visuell, auditiv oder über andere Sinne wahrgenommen wurden.

Es handelt sich bei mentalen Modellen um Vorstellungen, die zu komplexen Abläufen und Zusammenhängen entwickelt werden (Weidenmann, 1993). Mentale Modelle können vor dem inneren Auge „durchgespielt“ werden. Auch Auswirkungen von Manipulationen sind auf diese Weise in Gedanken vorstellbar. Dies betrifft beispielsweise die Funktionsweise verschiedener technischer Geräte, aber auch Problemlöseaufgaben. So können mittels mentaler Manipulation eines mentalen Modells Vorhersagen über Veränderungen am wirklichen Objekt getroffen werden. Mentale Modelle können dabei unterschiedlich stark elaboriert sein. Der Grad der Elaboriertheit hängt eng mit dem Grad der Expertise auf einem bestimmten Gebiet zusammen. Er nimmt mit dem Grad der Expertise zu. Mentale Modelle können auch unterschiedlich komplex sein. Hierbei spielt die Anzahl der konzeptuellen Entitäten eine Rolle (Greeno, 1983). Wenn die Zahl der konzeptuellen Entitäten zu groß ist, um in ein einziges mentales Modell integriert werden zu können, können statt eines zu komplexen Modells auch mehrere Modelle aus verschiedenen Perspektiven konstruiert werden, deren Funktionsweisen dann durch Mappingprozesse aufeinander bezogen werden (Ullrich, 2011).

Rieber (2002) versteht in Anlehnung an Gentner und Stevens (1983) unter mentalen Modellen die Konzeptionalisierung oder auch die persönliche Theorie einer Person über einen bestimmten Sachverhalt. In diesem Sinne haben mentale Modelle eine erklärende und auch eine voraussagende Funktion. Sie sind nicht sehr starr organisiert und verändern sich in Interaktion mit der Umwelt.

2.2.3 Vorteile von Bildern bei der Konstruktion mentaler Repräsentationen

Es wird angenommen, dass Bilder beim Lernen eine besondere Rolle einnehmen. Aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit den Objekten, die sie repräsentieren, sollten sie besonders gut für die Konstruktion mentaler Modelle geeignet sein (Weidenmann, 1994b). Sowohl externe als auch interne Depiktionen, also Bilder und mentale Modelle, sind dabei analog beschaffen; beiden liegt die visuelle Wahrnehmung zugrunde. Weiterhin kann man annehmen, dass das

image als bildhafte Repräsentation im Arbeitsgedächtnis und das *picture* als externe Repräsentation sich sehr ähnlich sind und sich die Verarbeitungsprozesse dementsprechend gleichen (Weidenmann, 1994b). An Bildern kann man räumliche Beziehungen von Entitäten zueinander leichter ablesen als in einem Text. Kausale Beziehungen dagegen müssen bei Bildern inferiert werden, da sie bildlich nicht explizit dargestellt werden können.

Weidenmann (1994b) beschreibt die Beziehung zwischen Bildern und mentalen Modellen mit folgenden Stichworten: Abruf, Fokussierung, Konstruktion und Ersatz. *Abruf* meint die Möglichkeit der Aktivierung von mentalen Modellen durch Bilder, das heißt durch Bilder können mentale Modelle aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Mit *Fokussierung* ist das Hervorheben von Details eines mentalen Modells gemeint. Bilder können auf bestimmte Teile eines mentalen Modells fokussieren. Bilder können auch bei der *Konstruktion* oder *Elaboration* mentaler Modelle hilfreich sein, indem sie zeigen, wie bereits bekannte Sachverhalte in eine neue Struktur eingefügt werden. Bilder, insbesondere dynamische Bilder, können einen *Ersatz* darstellen für ein mentales Modell, indem ein Sachverhalt mit seinen Komponenten und ihrer Dynamik explizit gezeigt wird.

Bilder haben verschiedene Nutzungseigenschaften, die sie für bestimmte instruktionale Zwecke geeigneter machen als Texte. So beschreibt Schnotz (2006b) Bilder als weniger *ausdrucksmächtig*, da sie spezifischer sind als Texte. Ein Foto einer Katze beispielsweise gibt immer auch Auskunft darüber, um was für eine Art von Katze es sich handelt, während das Wort *Katze* als Oberbegriff die ganze Familie der Katzen zusammenfasst. Bilder sind aufgrund ihrer strukturellen Eigenschaften innerhalb des darzustellenden Sachverhaltes vollständig, sie beinhalten also immer auch Informationen über die Größe, Farbe, Position von Objekten sowie über Relationen von Teilen des Bildes zueinander. Weiterhin eignen sich Bilder besonders zum Ziehen von *Schlussfolgerungen*, da sie das direkte Ablesen von Informationen ermöglichen. Bilder haben außerdem die Eigenschaft einer hohen Robustheit. Selbst wenn Teile eines Bildes entfernt werden, wird die Lesbarkeit nicht unbedingt zerstört. Wenn hingegen Teile eines Textes fehlen, ist der Inhalt des Textes möglicherweise nicht mehr zu verstehen. Außerdem ist bei Bildern eine innere Konsistenz gewährleistet, was bedeutet dass die dargestellten Sachverhalte widerspruchsfrei veranschaulicht werden.

Aufgrund der beschriebenen Nutzungseigenschaften eignen sich Bilder besonders für die Darstellung von Lerninhalten, aus denen mentale Modelle konstruiert werden sollen. Bestimmte Sachverhalte wie etwa das Aussehen von Objekten, deren räumliche Anordnung

oder auch der Ablauf von bestimmten Ereignissen, beispielsweise die Funktionsweise eines Viertaktmotors, lassen sich leichter durch Bilder als durch Sprache kommunizieren.

3 Gedächtnismodelle

In diesem Kapitel sollen die für diese Arbeit relevanten Modelle der Informationsverarbeitung vorgestellt werden. Die Annahme eines Modells des Gedächtnisses als Mehr-Speichersystem, wie es von Atkinson und Shiffrin (1968) beschrieben wurde, stellt die Grundlage dar, auf der die kognitionspsychologischen Theorien des Lernens mit Multimedia aufbauen. *Multimedia* bezieht sich dabei im instruktionspsychologischen Kontext weniger auf das Medium, mit dem Informationen vermittelt werden, sondern auf die Kodalität der Informationen (verbal, bildlich) und die durch das Lernmaterial angesprochenen Sinnesmodalitäten (Auge, Ohr) (für eine ausführliche Darstellung siehe Weidenmann, 1997; 2006).

Ein wichtiger Bestandteil des Mehrspeicher-Modells, das *Kurzzeitgedächtnis*, wird anschließend genauer betrachtet. Im Kurzzeitgedächtnis als *Arbeitsgedächtnis* (*working memory*) finden Informationsverarbeitungsprozesse statt, die zu einer Veränderung der mentalen Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses (= Lernen) führen. Eines der bekanntesten Modelle des Arbeitsgedächtnisses, das Modell von Baddeley und Hitch (1974; Baddeley, 1992; 1995; 2000; 2001) wird in Abschnitt 3.2 beschrieben. Abschließend wird in Kapitel 3.3 mit der *Cognitive Load Theory* ein instruktionspsychologisches Gedächtnismodell vorgestellt, welches von unterschiedlichen Quellen der kognitiven Belastung auf die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ausgeht.

3.1 Das Mehr-Speichermodell von Atkinson und Shiffrin

Im Modell von Atkinson und Shiffrin (1968) werden verschiedene Gedächtnissysteme angenommen, denen unterschiedliche Aufgaben zukommen. In Abbildung 3.1 sind die Komponenten und Prozesse des Mehr-Speichermodells von Atkinson und Shiffrin (1968) dargestellt.

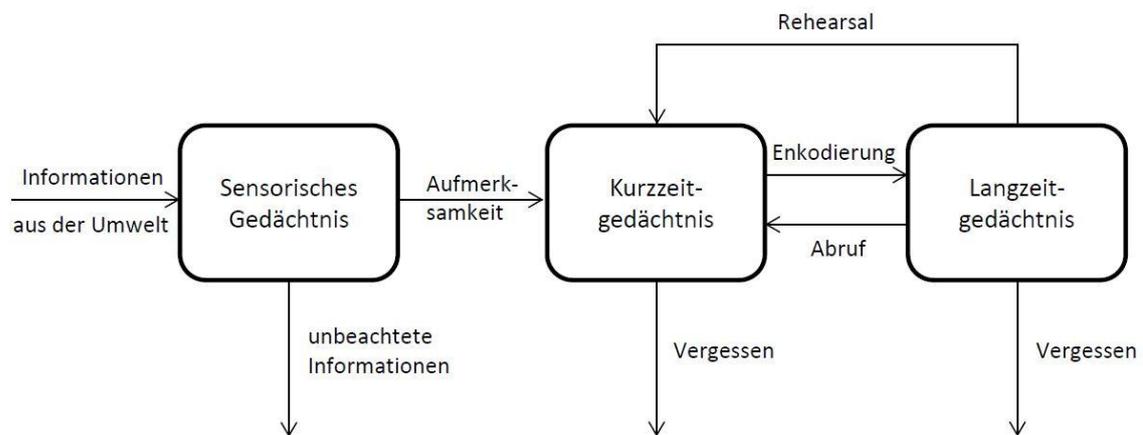


Abbildung 3.1. Das Mehr-Speichersmodell nach Atkinson und Shiffrin (1968).

Im *sensorisches Gedächtnis* (*sensory memory*) werden Informationen über die Sinnesorgane aufgenommen und für eine sehr kurze Zeit, ca. 250 Millisekunden, gespeichert. Um im sensorischen Gedächtnis gespeicherte Informationen auswählen und weiterleiten zu können, müssen diese Informationen mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis verglichen werden. Diese Prozesse finden präattentiv und automatisiert statt, unterliegen also keiner bewussten Kontrolle. Informationen, die aus dem sensorischen Gedächtnis im Kurzzeitgedächtnis ankommen, sind Interpretationen der wahrgenommenen Reize auf Basis von Erfahrungen und Wissen (Atkinson & Shiffrin, 1968).

Im *Kurzzeitgedächtnis* (*working memory*) beträgt die Speicherdauer ungefähr 10-20 Sekunden. Die Kapazität, die für das gleichzeitige Präsenthalten von Informationen zur Verfügung steht, ist begrenzt auf 7 plus minus 2 Einheiten (Miller, 1956). Diese Begrenztheit kann jedoch überwunden werden, indem Einzelinformationen zu größeren Einheiten zusammengefasst werden. So kann beispielsweise die aus fünf Einheiten bestehende Zahlenreihe 0 6 3 4 1 auch als eine Einheit „Telefonvorwahl von Landau“ (*Chunkbildung*; Schnotz, 1994a) gespeichert werden. Die Speicherprozesse im Kurzzeitgedächtnis sind dem Bewusstsein zugänglich und können verbalisiert werden. Sie dienen der bewussten Verarbeitung von Informationen, die aus dem sensorischen Gedächtnis eintreffen unter Hinzunahme von aktivierten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis.

Die Kapazität des *Langzeitgedächtnisses* (*long-term memory*) ist beinahe unbegrenzt. Dies ist der Ort, an dem Informationen in Form von mentalen Repräsentationen für unbegrenzte Zeit abgespeichert werden. Es ist wichtig, dass die Wissensstrukturen des

Langzeitgedächtnisses sinnvoll aufgebaut sind, so dass benötigte Informationen schnell und flexibel genutzt werden können für das Lernen neuer Informationen oder den Transfer von vorhandenem Wissen.

3.2 Die Rolle des Kurzzeitgedächtnisses als Arbeitsgedächtnis

„Working memory has been found to require the simultaneous storage and processing of information“ (Baddeley, 1992, S. 556).

Das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch (1974; Baddeley, 1992, 1995, 2000) ist ein Modell des Kurzzeitgedächtnisses, welches in seiner ursprünglichen Form aus drei Komponenten besteht, denen bei der Informationsverarbeitung verschiedene Aufgaben zukommen. Wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben, ist eine zentrale Annahme des Kurzzeitgedächtnisses, dass die zur Informationsverarbeitung zur Verfügung stehende Kapazität begrenzt ist auf 7 plus minus 2 Einheiten (Miller, 1956). Um mehr Informationen gleichzeitig im Gedächtnis halten zu können, müssen diese in Form von *chunks* oder kognitiven Schemata (Schnotz, 1994a) organisiert werden. Baddeley geht in seinem Modell davon aus, dass visuell-räumliche Informationen und sprachliche Informationen in unterschiedlichen Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet werden. Er postuliert deshalb zwei unabhängige kodalitätsspezifische Speichersysteme für visuell-räumliche und sprachliche Informationen.

In der *phonologischen Schleife* (*phonological loop*) werden sprachliche Informationen, wie zum Beispiel ein gehörter oder gelesener Text, aufgenommen, verarbeitet und in einem phonologischen Kode gespeichert. Das zweite Subsystem, der *räumlich-visuelle Notizblock* (*visuospatial sketchpad*) dient der Verarbeitung und Speicherung bildhafter Informationen. Als übergeordnete und kodalitätsunspezifische Komponente koordiniert die *zentrale Exekutive* (*central executive*) die Informationen aus den beiden Subsystemen. Die zentrale Exekutive ist verantwortlich für die Verteilung der begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen von und zu den Subsystemen. Von hier aus werden auch Informationen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen. Innerhalb beider Subsysteme werden weitere Subkomponenten angenommen. Die phonologische Schleife besteht demnach aus zwei Subkomponenten, dem phonologischen Speicher (*phonological store*) und einem artikulatorischen Kontrollprozess (*articulatory rehearsal*). Informationen können im phonologischen Speicher nur für 1 bis 2 Sekunden gehalten werden. Durch einen artikulatorischen Kontrollprozess, ein Rehearsal,

werden Informationen wiederholt und können so länger im phonologischen Speicher gehalten werden. Außerdem dient der artikulatorische Kontrollprozess der Sprachproduktion und somit auch der Enkodierung geschriebener Sprache in einen phonetischen Kode zur Weiterverarbeitung im phonologischen Speicher. Innerhalb des räumlich-visuellen Notizblocks werden getrennte Verarbeitungssysteme für räumliche Informationen wie beispielsweise die Position oder Bewegung von Objekten und visuelle Informationen wie zum Beispiel Formen und Farben angenommen.

Später erweiterte Baddeley (2000) sein Arbeitsgedächtnismodell um eine neue Komponente, den *episodischen Zwischenspeicher (episodic buffer)*. Dieser kapazitätsbegrenzte Speicher bietet die Möglichkeit, multimodal kodierte Informationen „abzulegen“. In diesem Subsystem werden also visuelle und auditive Informationen für kurze Zeit in Form von Episoden gespeichert. Der episodische Puffer ist außerdem verantwortlich für die Koordination von Informationen zwischen räumlich-visuellem Notizblock und phonologischer Schleife sowie dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 2001). Hier ist also der Ort, an dem mentale Modelle oder propositionale Strukturen konstruiert werden können. Das Langzeitgedächtnis als weitere Komponente wurde dem Modell erst im Jahr 2001 hinzugefügt. Das Langzeitgedächtnis steht mit sowohl mit der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichem Notizblock als auch mit dem episodischen Zwischenspeicher in Verbindung. Der Austausch von Wissen findet dabei in beide Richtungen statt. Einerseits wird von den Subsystemen Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen, andererseits wird Wissen aufgebaut, welches im Langzeitgedächtnis gespeichert wird. In Anlehnung an Horn und Catell (1966) unterscheidet Baddeley (2001) zwischen einem kristallinen und einem fluiden System. Das Langzeitgedächtnis ist ein Bestandteil des kristallinen Systems. Dieses System wird durch Lernvorgänge selbst modifiziert. Die vier Komponenten des Arbeitsgedächtnisses bezeichnet Baddeley hingegen als fluide Systeme, die durch Lernprozesse selbst nicht verändert werden. Abbildung 3.2 zeigt eine Darstellung des Arbeitsgedächtnis-Modells von Baddeley in der revidierten Fassung (Baddeley, 2000; 2001).

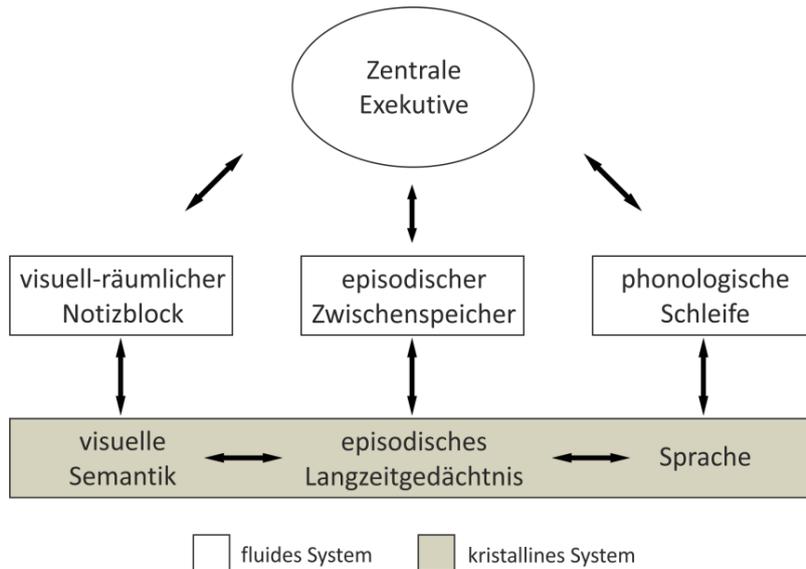


Abbildung 3.2. Revidierte Fassung des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (nach Baddeley, 2001).

Die Erweiterung des Modells ist insofern von Bedeutung als dass durch die Annahme des episodischen Zwischenspeichers die Integration von Informationen verschiedener Repräsentationsformate erklärt werden kann. Außerdem können Lernprozesse durch den episodischen Zwischenspeicher als Ort der Informationsverarbeitung mit Verbindung zum Langzeitgedächtnis besser beschrieben werden.

3.3 Cognitive Load Theory

„Cognitive load can be defined as a multidimensional construct representing the load that performing a particular task imposes on the learner’s cognitive system“
(Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003, S. 64).

Eine zentrale Annahme der Theorie der kognitiven Belastung (*Cognitive Load Theory*; Chandler & Sweller, 1996; Chandler & Sweller, 1991; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998) ist die begrenzte Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wird dabei von verschiedenen Arten der kognitiven Belastung beansprucht. Der Theorie folgend existieren drei verschiedene Arten kognitiver Belastung: *intrinsic load*, *extraneous load* und *germane load*. *Intrinsic load* bezieht sich auf den Lerninhalt und ist abhängig von dessen Komplexität. Die Komplexität des Lerngegenstands wiederum ist definiert durch die Anzahl der miteinander in Verbindung stehenden einzelnen Elemente (*element interactivity*). Um die Komplexität zu reduzieren, können Prozesse in kleinere Einheiten zerlegt werden. So wird die Interaktivität der Elemente verringert und das

Lernen komplexer Zusammenhänge wird durch den schrittweisen Aufbau einer komplexen Repräsentation erleichtert. *Extraneous load* bezeichnet die durch die Gestaltung des Lernmaterials hervorgerufene lernhinderliche Belastung. Hier spielen das Design der Lernumgebung, die Form der Darstellung des Lerninhalts, wie z.B. die Strukturierung des Lerninhaltes, die Einhaltung von Designprinzipien und die Verwendung von Text und Bild eine Rolle. Diese Art der Belastung ist durch ein entsprechendes Instruktionsdesign beeinflussbar. *Germane load* bezeichnet die Belastung, die durch Lernaktivitäten hervorgerufen wird. Diese Art der Belastung ist notwendig für das Lernen und wird durch eine aktive Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial hervorgerufen.

Es wird aufgrund der limitierten kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses davon ausgegangen, dass sich die drei Arten der kognitiven Belastung additiv verhalten (Sweller, 2005). Dies bedeutet, dass wenn ein sehr komplexes Lernmaterial ein hohes Maß extrinsischer Belastung aufweist, für die sinnvolle Auseinandersetzung im Sinne von *germane load* kaum Kapazität bleibt. Angelehnt an die Theorie der kognitiven Belastung sollte bei der Gestaltung von Lernmaterial also die lernhinderliche Belastung durch eine geeignete Gestaltung des Lernmaterials gering gehalten werden, um genügend Kapazität für lernförderliche kognitive Prozesse frei zu halten. Da die intrinsische Belastung im Lernmaterial begründet liegt, ist sie nur in Maßen manipulierbar und muss in Zusammenhang mit Lernermerkmalen wie dem Vorwissen oder räumlichen Fähigkeiten gesehen werden. So kann das Verstehen komplexer Prozesse für einen Experten aufgrund der vorhandenen Wissensrepräsentationen im LZG, auf die er zurückgreifen kann, eine geringe intrinsische Belastung bedeuten, wohingegen die intrinsische Belastung für einen Laien hier sehr hoch ist, da dieser sehr viele Informationen im Arbeitsgedächtnis verarbeiten muss. Neben Lernerigenschaften wie Vorwissen und räumlichen Fähigkeiten liegt es nah, dass auch motivationale Variablen eine Rolle spielen. Der Aspekt der motivationalen Bedingungen des Lernens wird in der Theorie laut Schnotz, Fries und Horz (2009) bisher vernachlässigt. Es liegen jedoch Befunde vor, die den Zusammenhang zwischen Motivation und mentaler Anstrengung betonen. Domagk, Zander, Niegemann und Brünken (2007) konnten beispielsweise zeigen, dass Verstehensprozesse dann stattfinden, wenn Lerner das Material als herausfordernd betrachten und bereit sind, mentale Anstrengung (*mental effort*; Paas & van Merriënboer, 1993) in das Verstehen des Lerninhalts zu investieren. Motivationale Faktoren scheinen also durchaus einen Einfluss auf die kognitive Belastung zu haben,

insbesondere im Hinblick auf germane cognitive load (Paas, Tuovinen, van Merriënboer & Darabi, 2005). In diesem Bereich ist in jedem Fall noch Forschungsbedarf vorhanden.

Neben der Kritik an der fehlenden Beachtung motivationaler Bedingungen gibt es einen weiteren Kritikpunkt: Dieser betrifft die Schwierigkeiten der differenzierten Erfassung der verschiedenen Arten kognitiver Belastung (Gerjets, Scheiter & Cierniak, 2009; Schnotz & Kürschner, 2007; van Gog & Paas, 2008). Es existieren Verfahren, die die wahrgenommene kognitive Belastung beim Lernen (*mental load*) und die mentale Anstrengung, die beim Lernen investiert wurde (*mental effort*) über subjektive Ratingskalen erfassen (Hart & Staveland; 1988; Paas & van Merriënboer; 1993; Paas, van Merriënboer & Adam, 1994). Diese Instrumente sind aufgrund ihrer Kürze ökologisch valide. Die den Ratingsskalen zugrundeliegende Annahme, dass Lerner wirklich in der Lage sind, genaue Auskunft über ihre subjektiv erlebte kognitive Belastung und ihre investierte mentale Anstrengung zu geben, kann aber angezweifelt werden (Schnotz & Kürschner, 2007). Neben der subjektiven Erfassung der kognitiven Belastung wurde auch versucht, objektive Verfahren wie das *Dual-Task-Paradigma* zur Messung einzusetzen (Brünken, Plass & Leutner, 2004; Brünken, Plass & Leutner, 2003; Brünken, Steinbacher, Plass & Leutner, 2002). Hier wird die kognitive Belastung mittels des simultanen Einsatzes einer Primär- und einer Sekundäraufgabe gemessen, wobei die Leistung in beiden Aufgaben von Interesse ist. Zum einen sollte sich die Leistung in der Primäraufgabe bei gleichzeitiger Bearbeitung einer Sekundäraufgabe verschlechtern im Vergleich zur Bearbeitung der Primäraufgabe allein. Zum anderen kann die Leistung in der Sekundäraufgabe Aufschluss darüber geben, welches Maß an kognitiver Belastung durch die Primäraufgabe induziert wird. So sollten verschiedene Primäraufgaben, die in unterschiedlichem Umfang kognitive Belastung hervorrufen, zu dementsprechend unterschiedlichen Leistungen in der Sekundäraufgabe führen.

Aber auch die Forschung zum Dual-Task-Paradigma konnte keinen wesentlichen Beitrag zur getrennten Messung der einzelnen Load-Arten liefern. Ein empirischer Nachweis der drei Belastungsarten kann demnach derzeit nicht erbracht werden.

Trotz der Kritik muss hier der Wert der Theorie für das Lernen mit multimedialen Lernmaterialien herausgestellt werden. Es gibt eine ganze Reihe von instruktionalen Gestaltungsprinzipien, die aus der Cognitive Load Theory abgeleitet werden können. Diese betreffen zum einem Prinzipien, die die extrinsische kognitive Belastung reduzieren, wie z.B. das *redundancy principle*, das *coherence principle* und der *contiguity effect*. Zum anderen gibt

es Gestaltungsprinzipien, die sich mit der optimalen Nutzung der verfügbaren kognitiven Ressourcen beschäftigen (*segmenting principle, pretraining principle, modality effect, split-attention effect*; Brünken & Leutner, 2001) und auf die Förderung der Konstruktion von neuem Wissen abzielen (*multimedia effect, personalization principle*). Des Weiteren gibt es Prinzipien, die auf die individuellen Unterschiede zwischen Lerner im Hinblick auf Lernpräferenzen und Vorwissen fokussieren (*individual differences effect, expertise reversal effect*; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 2003; Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Ein Überblick über die hier erwähnten Gestaltungsprinzipien sowie empirische Befunde zu den Prinzipien findet sich bei Mayer (2008).

Der praktische Wert der Theorie soll abschließend mit folgendem Zitat beschrieben werden: „The central tenet of cognitive load theory is that in order to be effective, instruction should be designed in alignment with learners’ cognitive architecture” (van Gog & Paas (2008, S.16).

4 Kognitive Theorien des Lernens mit Multimedia

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben wurde, kommt mentalen Repräsentationen eine wichtige Rolle bei der Beschreibung kognitiver Verstehensprozesse zu. Die Vorstellungen darüber, wie mentale Repräsentationen aufgebaut werden, sind aber durchaus unterschiedlich (vgl. Mayer, 2005; Schnotz & Bannert, 1999). In den hier vorgestellten Theorien sind sowohl Arbeitsgedächtnis als auch Langzeitgedächtnis von Bedeutung. Im Arbeitsgedächtnis werden Informationen aktiv verarbeitet. Dabei werden zur Verarbeitung notwendige Informationen aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen. Alle vorgestellten Theorien gehen von einer getrennten Verarbeitung von sprachlichen und bildlichen Informationen aus. Die *duale Kodierungstheorie* von Paivio (1986) war die erste, die getrennte Verarbeitungswege für unterschiedlich kodierte Informationen postulierte. Die nachfolgend entstandenen Theorien von Mayer (2005) und Schnotz und Bannert (1999) bauen auf dieser Theorie auf.

Um den Nutzen der Theorien für die vorliegende Arbeit herauszustellen, sei darauf hingewiesen, dass alle hier vorgestellten Modelle keine Unterscheidung treffen zwischen statischen und dynamischen Bildern. Die Annahmen der Modelle lassen sich also durchaus auch auf das Verstehen von dynamischen Bildern anwenden.

4.1 Duale Kodierungstheorie von Paivio

Allan Paivio entwickelte 1971 ein Modell zur Beschreibung der Sprach- und Bildverarbeitung (Clark & Paivio, 1991; Paivio, 1986). In seiner Theorie der Dualen Kodierung geht er davon aus, dass sprachliche und bildliche Informationen zu unterschiedlichen mentalen Repräsentationen führen, da sie in unterschiedlichen Kanälen verarbeitet werden (siehe Abbildung 4.1).

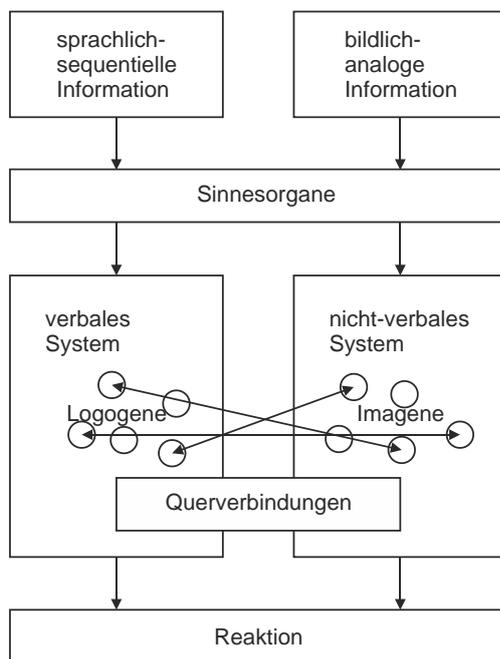


Abbildung 4.1. Die duale Kodierungstheorie von Paivio (1971).

So wird Sprache in einem verbalen Kanal verarbeitet und in einer abstrakten Repräsentation in Form von *Logogenen* gespeichert, wohingegen Bilder in einem imaginalen Verarbeitungssystem enkodiert werden und analog als *Imagene* repräsentiert werden. Zusätzlich zur verbalen Kodierung können verbale Inhalte imaginal auch verarbeitet werden, indem sie durch bildhafte Vorstellungen ergänzt werden. Dies geschieht immer dann, wenn sprachliche Informationen einen konkreten Sachverhalt beschreiben, welcher der Vorstellung einer Person direkt zugänglich ist. Das kann beispielsweise das Wort „Auto“ sein. Weniger konkrete Sachverhalte wie der Begriff „Freiheit“ würden demnach das bildhafte Gedächtnis nicht aktivieren. Bildhafte Informationen dagegen werden immer im imaginalen wie auch im verbalen System verarbeitet. Dies geschieht durch den Umstand, dass Bilder auch verbal benannt werden können. Auf diese generelle doppelte Kodierung von Bildern wird das gute

Behalten von bildhafter Information zurückgeführt. Zwischen dem verbalen und dem bildhaften Verarbeitungssystem bestehen referentielle Verknüpfungen, so dass die bei der Verarbeitung von Texten und Bildern entstehenden mentalen Repräsentationen inhaltlich aufeinander Bezug nehmen. Folglich führt die Präsentation von Bild und Wort zu besserer Behaltensleistung als die Präsentation eines Bildes oder Wortes allein (besonders bei kurzer Präsentationszeit). Die Präsentation nur eines Bildes führt aufgrund der doppelten Kodierung zu besserem Behalten als die Präsentation eines Wortes. Dies wird damit erklärt, dass die doppelte Kodierung den Abruf aus dem Gedächtnis erleichtert, da sozusagen zwei Wege des Abrufs zur Verfügung stehen.

Die Theorie der Dualen Kodierung wird häufig herangezogen, um den vielfach gefundenen Bildüberlegenheitseffekt (*pictorial superiority effect*; vgl. Levie, 1987; Nelson, 1979; Nelson, Reed & Walling, 1976) zu erklären. Dieser Effekt, der besagt, dass Bilder aufgrund ihrer doppelten Kodierung besser behalten werden als Wörter, konnte in vielen Studien empirisch belegt werden (Deno, Johnson & Jenkins, 1968; Paivio, 1975; Paivio & Csapo, 1973; Paivio & Csapo, 1969).

Bezugnehmend auf den Bildüberlegenheitseffekt kritisiert Engelkamp (1990; Engelkamp & Mohr, 1994), dass Bilder nicht automatisch eine verbale Verarbeitung aktivieren und somit nicht unbedingt auch verbal gespeichert werden. Er schlägt daher eine alternative Erklärung des Bildüberlegenheitseffektes basierend auf seiner *multimodalen Theorie des Gedächtnisses* vor. Laut dieser Theorie führen wahrgenommene Bilder zu einer sogenannten *Bildmarke*, gehörte oder gelesene Wörter dagegen zu einer phonemischen oder graphemischen *Wortmarke*. Die semantische Verarbeitung der Bild- oder Wortmarken findet in Interaktion mit einem nonverbalen oder verbalen konzeptuellen System statt. Bilder werden hier als Referenzkonzept gespeichert, Wörter als Wortkonzept. Es wird angenommen, dass der Weg von der Bildmarke zum Referenzkonzept unmittelbarer ist und dass auch bestimmte sensorische Eigenschaften von Wörtern bildlich repräsentiert werden. Nach dieser Theorie ist der Bildüberlegenheitseffekt darauf zurückzuführen, dass Bilder Referenzkonzepte schneller verfügbar machen als Wörter (Engelkamp, 1990).

Eine weitere kritische Anmerkung zu Paivios Theorie ist, dass hier bei der Verarbeitung von sowohl verbalen als auch bildlichen Informationen keine abstrakten mentalen Repräsentationen angenommen werden. Man kann aber davon ausgehen, dass es eine analoge „Bild-im-Kopf“-Vorstellung (Kluwe, 1990; S. 152) so nicht gibt. Es ist wahrscheinlicher, dass bildliche Informationen als abstrakte, analoge Formen der Abbildung bestimmter

räumlicher Beziehungen und Eigenschaften des bildlichen Inhalts, als mentale Modelle (*Referenz- und Wortkonzept* bei Engelkamp, 1990) gespeichert werden. Dieser abstrakt-propositionalen Kode wurde von Pylyshyn (1973) und von Anderson und Bower (1973) ergänzt. Nelson (1979) fügte dem Modell von Paivio ein semantisches System hinzu, welches weit weniger enkodierungsspezifisch ist als das verbale und visuelle System. Demnach findet nach der sensorischen Verarbeitung der Informationen eine semantische Verarbeitung im konzeptuellen System statt.

Auch wenn ihr praktischer Wert zur Erklärung von Lernprozessen gering ist, so ist die duale Kodierungstheorie doch eines der ersten Modelle der Informationsverarbeitung, welches getrennte Systeme für das Verstehen von Text und Bild annimmt (vgl. Ullrich, 2011).

4.2 Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens von Mayer

Die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von Mayer (1997) verbindet die Annahmen des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (1986) mit denen der dualen Kodierungstheorie von Paivio (1978). Es werden, wie bei Baddeley, separate Kanäle für visuelle und auditive Informationen angenommen sowie, vergleichbar zu den Annahmen von Paivio, separate Kanäle für bildliche und verbale Informationen. Weiterhin geht auch Mayer von einer limitierten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (Miller, 1956; Sweller, 2005) aus.

Lernen wird in dieser Theorie als aktive Konstruktion von Wissen verstanden. Dabei sind, in Anlehnung an Wittrocks Theorie des generativen Lernens (1989) drei Prozesse von Bedeutung: Selektion, Organisation und Integration. Im Mittelpunkt der Theorie steht die Annahme zweier unterschiedlicher kognitiven Systeme: einem verbalen System für geschriebene oder gesprochene Sprache und einem visuellen System für räumliche und bildliche Informationen. Im Lernprozess richtet der Lerner seine Aufmerksamkeit zunächst auf die relevanten textuellen oder bildlichen Informationen und selektiert diese.

Der *Selektionsprozess* führt zu kodalitätsspezifischen Oberflächenrepräsentationen, bei der Informationen als textuell oder bildlich erkannt werden. Die verbale Selektion führt zu einer propositionalen Repräsentation, die bildhafte Selektion führt zu einer bildhaften Basis. In einem nächsten Schritt werden die Informationen *organisiert* und führen zur Konstruktion eines textbasierten bzw. bildbasierten mentalen Modells. Die *Integration* dieser kodalitätsspezifischen mentalen Modelle ist der letzte Schritt der Verarbeitung. Hierbei

werden die entsprechenden Elemente und Relationen unter Einbezug von Vorwissen referentiell miteinander verknüpft (*referential connections*; Paivio, 1986). Abbildung 4.2 zeigt die Grundzüge der Theorie.

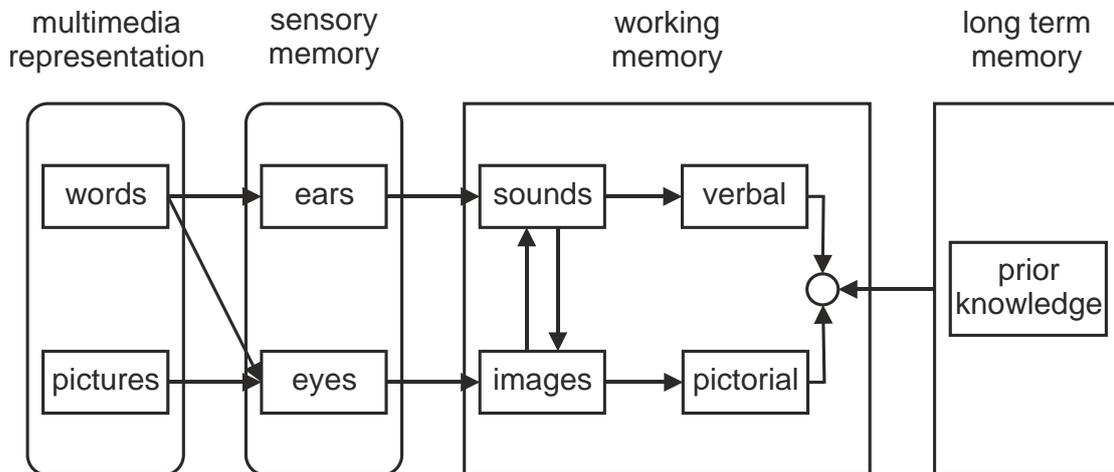


Abbildung 4.2. Cognitive Theory of Multimedia Learning (nach Mayer, 2001).

Neu an dieser Theorie im Vergleich zu Paivios Doppelkodierungstheorie ist, dass es nicht um das Behalten unterschiedlich kodierter Inhalte in Form von Wort- oder Bildlisten geht, sondern um das Verstehen von Sachverhalten. Das Modell kann empirische Befunde der Multimediaforschung erklären und es können eine Reihe von Effekten oder Prinzipien für die instruktionale Gestaltung von Lernmaterialien aus ihr abgeleitet werden. Einer dieser Effekte ist der viel beforschte *Multimedia-Effekt* (Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2002), der postuliert, dass Bilder den Lernprozess unterstützen („People learn better from words and pictures than from words alone“, Mayer, 2005, S. 6). Er wird herangezogen, um die lernförderliche Wirkung simultan präsentierter Texte und Bilder zu erklären. Durch eine Verknüpfung von verbaler und visueller Repräsentationsform wird der Lerngegenstand doppelt kodiert und besser im Gedächtnis verankert. Die doppelte Kodierung von sprachlichen und bildlichen Informationen wirkt sich demnach positiv auf den Lernerfolg aus, da so nicht nur eine parallele Verarbeitung von Informationen in beiden kognitiven Systemen stattfindet, sondern diese Repräsentationen auch miteinander verknüpft werden können. Dabei sollten die Informationen zeitlich und/oder räumlich simultan präsentiert werden (*contiguity effect*, Mayer & Moreno, 2002). Laut Mayer (1997; 2001) ist die doppelte Kodierung dann besonders hilfreich, wenn die visuelle Aufmerksamkeit nicht auf Text und Bild gerichtet werden muss (*split-attention effect*, vgl. Brünken & Leutner, 2001), sondern die visuelle

Aufmerksamkeit auf das Bild und die auditive Aufmerksamkeit auf den Text gerichtet wird (*modality effect*, Mayer & Moreno, 2002). Dieser Effekt wird damit erklärt, dass visuelle Bilder und Texte das gleiche (visuell-räumliche) Arbeitsgedächtnissystem belasten, während auditive Texte eine zusätzliche Ressource des Arbeitsgedächtnisses erschließen (Moreno & Mayer, 1999). Rummer, Schweppe, Scheiter und Gerjets (2008) diskutieren diese Annahme anhand einschlägiger Arbeitsgedächtnismodelle (z.B. Baddeley, 1986). Die Autoren weisen dabei auf das Missverständnis hin, dass Baddeleys Modell als modalitätsspezifisch interpretiert wird. Vielmehr ist Baddeleys Annahme zur Verarbeitung von Sprache aber so, dass sowohl gehörter als auch geschriebener Text ohne Umwege in der phonologischen Schleife gespeichert wird. Es wird in diesem Modell also nicht durch die Modalität bestimmt, in welches Subsystem verbale Information zunächst gelangt, sondern schon vor der kognitiven Verarbeitung aufgrund der Wahrnehmung der Informationen. Gehörter Text gelangt direkt in den phonologischen Speicher während gelesener Text durch den artikulatorischen Kontrollprozess (Rehearsal) in den phonologischen Speicher eingelesen wird. Vor diesem Hintergrund gehen Rummer et al. (2008) davon aus, dass der Modalitätseffekt auf unterschiedliche Beschränkungen des auditiven und visuellen Wahrnehmungssystems zurückgeht. Damit verbunden ist die Annahme, dass bei der Verarbeitung von geschriebenem Text und Bild höhere Behaltens- und Rekonstruktionsanforderungen entstehen als bei der Verarbeitung von gehörtem Text und Bild, insbesondere bei der gleichzeitigen Präsentation von Text und Bild. Der Modalitätseffekt ist demnach eher ein *split-attention-Effekt* (Mayer, 2001; Brünken & Leutner, 2001), der sich aus Problemen der gleichzeitigen visuellen Wahrnehmung von Text und Bild ergibt als ein Effekt, der durch Überlastung bei der kognitiven Verarbeitung im visuell-räumlichen Subsystems des Arbeitsgedächtnisses zustande kommt. Die Erklärung wurde in verschiedenen Studien einer empirischen Prüfung unterzogen (siehe hierzu Rummer, Schweppe, Fürstenberg, Scheiter & Zindler, 2011; Rummer, Schweppe, Fürstenberg, Seufert & Brünken, 2010; Schüler, Scheiter, Rummer & Gerjets, 2012).

Eine weitere kritische Anmerkung zu Mayers kognitiver Theorie des multimedialen Lernens ist, dass die Verarbeitung von Texten und Bildern als paralleler Prozess angenommen wird (1997; 2005). Diese Annahme kann jedoch angezweifelt werden, da Texte und Bilder, wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, auf unterschiedlichen Zeichensystemen basieren und es anzunehmen ist, dass für diese unterschiedlichen Zeichenkodes unterschiedliche Verarbeitungsprozesse notwendig sind (Schnotz & Bannert, 1999). So entsteht bei der

Verarbeitung von Sprache eine auf symbolischen Zeichen basierende propositionale Repräsentation während bei der Verarbeitung eines Bildes ein analoges mentales Modell konstruiert wird.

4.3 Die Integrative Theorie des Text- und Bildverstehens von Schnotz und Bannert

Ausgangspunkt des Modells von Schnotz und Bannert (1999; Schnotz, 2005) ist die Annahme, dass unterschiedliche Zeichensysteme Inhalte auf unterschiedliche Art und Weise repräsentieren. Demnach werden Texte symbolisch repräsentiert. In einem Text wird ein Sachverhalt beschrieben, Beziehungen zwischen einzelnen Elementen werden mithilfe von Verben und Präpositionen ausgedrückt. Sprachliche Repräsentationen sind deskriptional und, insofern als Beziehungen zwischen Elementen explizit beschrieben werden, extrinsisch (Palmer, 1978a). Bilder bestehen dagegen aus ikonischen Zeichen. Diese Zeichen haben eine Ähnlichkeit zum Sachverhalt durch gemeinsame Struktureigenschaften. Elemente und räumliche Beziehungen zwischen Elementen entsprechen dem dargestellten Sachverhalt und sind dem Bild inhärent. Insofern sind depiktionale Repräsentationen intrinsisch (Palmer, 1978a).

Schnotz und Bannert (1999; Schnotz, 2005) kritisieren das Modell von Mayer (2005) dahingehend, dass sie die von Mayer beschriebenen parallelen Verarbeitungsprozesse für Texte und Bilder nicht annehmen. Vielmehr gehen die Autoren davon aus, dass unterschiedliche Zeichensysteme aufgrund ihrer unterschiedlichen Repräsentation des Inhalts unterschiedlich verarbeitet werden. Beim Verstehen eines Textes werden zunächst durch verbale Organisationsprozesse Symbole analysiert. Diese subsemantische Analyse geschieht nach syntaktischen und morphologischen Regeln. Auf diese Weise entsteht eine deskriptionale Oberflächenrepräsentation des Textes. Die semantische Analyse findet erst in einem zweiten Schritt durch die Interaktion von auf- und absteigenden Schemaaktivierungen statt. Durch absteigende Prozesse (top-down) werden zur Aufgabenbearbeitung notwendige Informationen ausgewählt, während durch aufsteigende (bottom-up) Prozesse bereits vorhandene Schemata im Langzeitgedächtnis aktiviert werden. Diese wiederum leiten die Informationsaufnahme. Durch die konzeptuelle Organisation entsteht eine propositionale Repräsentation des Sachverhalts, aus welcher dann in einem nächsten Schritt ein mentales Modell konstruiert werden kann (van Dijk & Kintsch, 1983; Schnotz, 1994).

Der Prozess des Bildverstehens wird von Schnotz und Bannert (1999; 2003) als "Prozess der schemageleiteten analogen Strukturabbildung (im Unterschied zu Prozessen der Symbolverarbeitung bei Texten) von visuell-räumlichen Relationen auf ein System von semantischen Relationen" beschrieben (1999; S. 222). Beim Bildverstehen werden zuerst grafische und räumliche Eigenschaften des Bildes durch Identifikations- und Diskriminationsprozesse analog repräsentiert. Diese Wahrnehmungsprozesse basieren auf Gestaltgesetzen als perzeptuellen Organisationsprozessen (Wertheimer, 1938) und führen zu einer bildlichen Oberflächenrepräsentation des Bildes. In einem nächsten Schritt wird das Bild semantisch verarbeitet. Auch bei Bildern finden auf jeder Stufe der Verarbeitung Selektions-, Organisations- und Integrationsprozesse statt. Wahrgenommene Bildinformationen aktivieren bestimmte kognitive Schemata (bottom-up), welche wiederum die Selektion bestimmter Text- oder Bildinformationen leiten (top-down). Das Bild wird so konzeptuell organisiert und ein mentales Modell des Bildes wird konstruiert. In einem weiteren Schritt kann durch die Inspektion des mentalen Modells eine propositionale Repräsentation aufgebaut werden. Abbildung 4.3 zeigt das Modell in der überarbeiteten Version (Schnotz & Bannert, 2003).

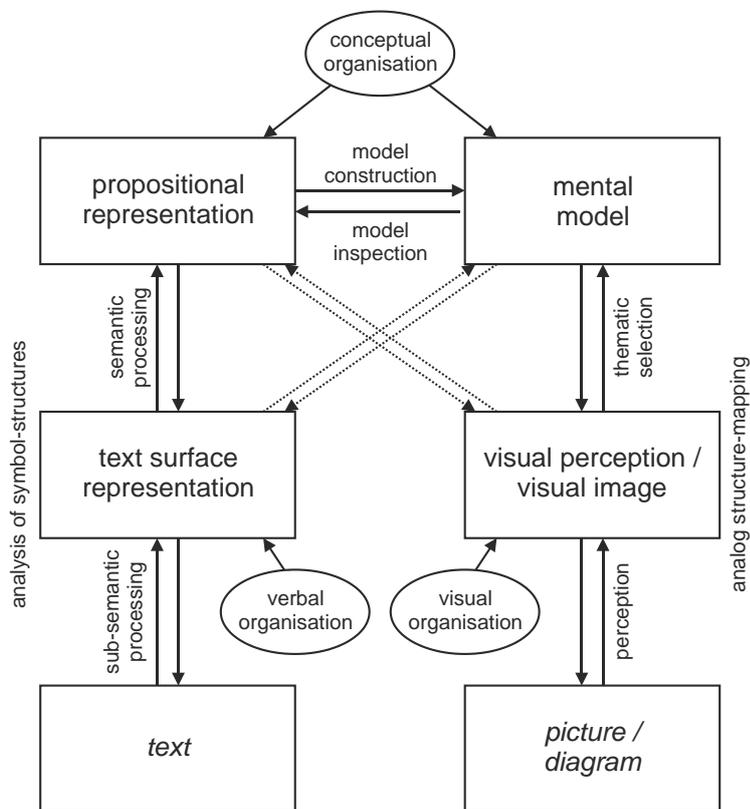


Abbildung 4.3. Integratives Modell des Text- und Bildverstehens (nach Schnotz & Bannert, 2003).

Auf- und absteigende Prozesse interagieren während der Text-/Bildverarbeitung und führen zum Aufbau einer möglichst kohärenten Repräsentation des Textes oder Bildes. Spezifischer sind es Prozesse der Modellinspektion und der Modellkonstruktion, die dahingehend interagieren, als dass das mentale Modell zum Ablesen von Informationen dient, die dann propositional gespeichert werden und die propositionale Repräsentation wiederum der Konstruktion und Differenzierung des mentalen Modells dient. Dieses Wechselspiel von Modellinspektion und –konstruktion dient der Kohärenzbildung.

In einer überarbeiteten Version des Modells wurden auch Interaktionen zwischen Textoberflächenrepräsentationen auf der Ebene der Textbasis und visuellen Bilder auf der Ebene der visuellen Wahrnehmung sowie zwischen mentalem Modell und Textbasis und propositionaler Repräsentation und visueller Wahrnehmung postuliert (Schnotz & Bannert, 2003). So können mentale Modelle beispielsweise unterstützend wirken beim Aufbau einer Textbasis. Diese Wechselspiele sind in Abbildung 4.3 durch die gestrichelten Pfeile gekennzeichnet. Dennoch ist zu betonen, dass die Kohärenzbildungsprozesse auf der Ebene der mentalen Repräsentationen, also auf Ebene der propositionalen Repräsentationen und mentalen Modelle, die eigentlich wichtigen sind, wenn es um das Verstehen eines Sachverhalts geht.

In einer weiteren Überarbeitung wurden dem Modell zusätzliche Annahmen hinzugefügt (Schnotz, 2005). Informationsverarbeitungsprozesse werden hier nun unterschiedlichen Gedächtnissystemen zugeordnet. Es werden zwei Verarbeitungsstufen angenommen: eine perzeptuelle (modalitätsspezifische) und eine kognitive (kodalitätsspezifische). Auf der perzeptuellen Stufe gelangen visuelle oder auditive Informationen in den *sensorischen Speicher*. Die Informationen, auf die während der perzeptuellen Verarbeitung die Aufmerksamkeit des Lernenden gerichtet wird, gelangen in das *Arbeitsgedächtnis*, welches, in Anlehnung an Paivio (1971), aus zwei kodalitätsspezifischen Subsystemen besteht. Hier existieren verbale und bildliche Filter, in Abbildung 4.4 dargestellt durch die grauen Dreiecke. Je nach erkannter Oberflächenstruktur werden die hier gefilterten Informationen einer semantischen Verarbeitung zu propositionaler Repräsentation oder mentalem Modell zugeführt. Das *Langzeitgedächtnis* spielt im Modell eine zentrale Rolle beim Aufbau mentaler Repräsentationen, weil es einen Einfluss auf die Qualität der extrahierten Informationen hat, dadurch dass Schemata die Informationsextraktion leiten (siehe top-down Prozesse bei der Informationsverarbeitung, gleicher Abschnitt). Außerdem kann im Langzeitgedächtnis gespeichertes Vorwissen einen Mangel an externen Informationen, eine geringere

Arbeitsgedächtniskapazität und auch Defizite in der propositionalen Repräsentation kompensieren (Schnotz, 2005).

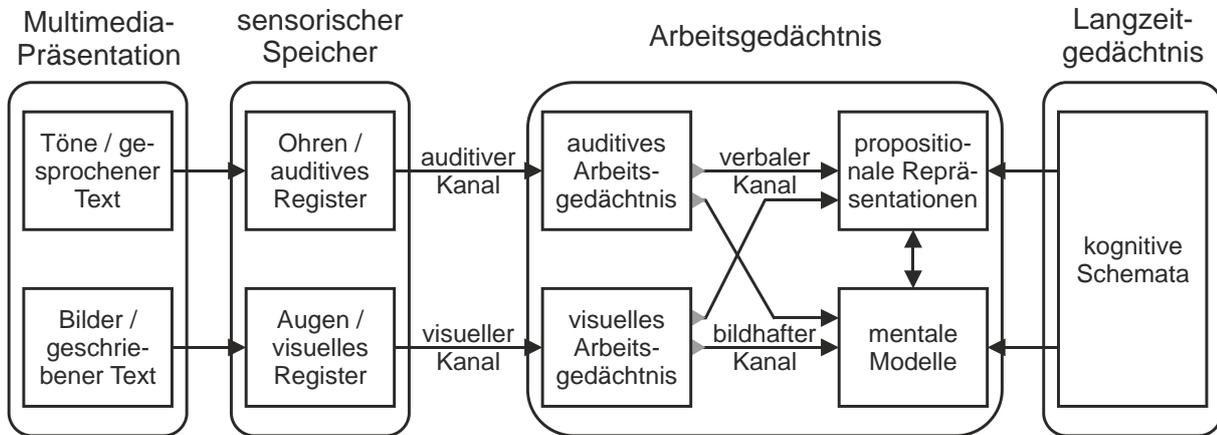


Abbildung 4.4. Integratives Modell des Text- und Bildverständnisses, Überarbeitung (nach Schnotz, 2005).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass, im Unterschied zum Modell von Mayer, Text-Bild-Integrationsprozesse deutlich früher angenommen werden als erst auf der Stufe der propositionalen Repräsentationen und mentalen Modelle. Außerdem ist die Sicht auf das mentale Modell differenzierter als in der kognitiven Theorie des Lernens mit Multimedia (Mayer, 2001). Während hier keine Unterscheidung zwischen text- und bildbasierten mentalen Modellen getroffen wird, unterscheiden Schnotz und Bannert (1999) auch auf der Ebene der mentalen Repräsentationen zwischen unterschiedlichen Kodierungen und beschreiben mentale Modelle im Hinblick auf ihre Struktur als grundsätzlich analog. Im Gegensatz zum Modell von Mayer (2005) wird die Unterscheidung zwischen Deskription und Depiktion also nicht nur auf der Ebene der externen Repräsentationen getroffen sondern auch auf der der mentalen Repräsentationen. Dabei ist nochmals zu betonen, dass sich auch die Prozesse unterscheiden, die zu den jeweiligen internen Repräsentationen führen (Verarbeitung von Symbolstrukturen vs. Prozesse der analogen Strukturabbildung). Neu am Modell von Schnotz und Bannert (1999) ist auch, dass nicht nur Bilder sondern auch Texte dual kodiert werden. Der Vorteil beim Aufbau von verbalen und bildlichen internen Repräsentationen liegt nicht nur darin, dass mehr als eine Repräsentation zum Abruf bereit stehen, sondern auch darin, dass sich die beiden internen Repräsentationsformen unterscheiden und ergänzen (Schnotz, 1999).

Das Modell von Schnotz und Bannert (2003; 2005) ist der detaillierteste der hier vorgestellten Ansätze. Es bietet einen theoretischen Rahmen, um bekannte Phänomene der Multimediaforschung zu erklären und ermöglicht außerdem die Interpretation von empirischen Befunden, die den Prinzipien multimedialen Lernens scheinbar widersprechen.

5 Kognitive Theorien des Bildverstehens

Wie bereits in Kapitel 2.1 thematisiert wurde, muss der Lerner, um einen Sachverhalt zu verstehen, ein mentales Modell dieses dargestellten Sachverhalts entwickeln. Es geht dabei um eine gezielte Extraktion von Informationen und die Bildung eines kohärenten mentalen Modells, welches mit Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis (Vorwissen) verknüpft und so gespeichert wird. Modelle, die diese Prozesse für die Verarbeitung von Texten in Kombination mit Bildern beschreiben, wurden in Abschnitt 4.4 dargestellt. Die Forschung zum Verstehen mit Bildern ist dagegen noch relativ jung. Mit der zunehmenden Bedeutung von Bildern im Rahmen der Wissensvermittlung entwickelten sich aber seit den 70er Jahren auch Ansätze, die die Bedeutung des Bildes als Instrument zur Vermittlung von Wissen (Bilder als *visual arguments*; Weidenmann, 1994a) erkennen und nicht nur das Bild als zusätzliche Information zu einem Text verstehen (vgl. für einen Überblick: Barlow, Blakemore & Weston-Smith, 1990; Issing & Klimsa, 2002; Mayer, 2001; Schnotz & Kulhavy, 1994; Weidenmann, 1994c; Willows & Houghton, 1987). Auch ein Bild allein kann zur Vermittlung von Wissen über einen Sachverhalt eingesetzt werden. Um diese kognitive Funktion von Bildern, in Abgrenzung zu affektiv und emotionalen Funktionen, die Bilder auch haben können (Levie & Lentz, 1982), geht es in diesem Kapitel. Dabei soll im Folgenden zunächst noch einmal auf die schon in Kapitel 2.2.1 kurz angesprochenen Bildarten und die damit verknüpften Funktionen von Bildern eingegangen werden, bevor in Abschnitt 5.2 die Bildverarbeitung thematisiert wird.

5.1 Arten und Funktionen von Bildern im Lernkontext

Bilder können zum einen aufgrund der Art ihrer Darstellung kategorisiert werden, zum anderen aufgrund ihrer Funktion, die sie im Lernkontext erfüllen. Im folgenden Abschnitt wird zunächst die Kategorisierung im Hinblick auf Bildarten thematisiert.

5.1.1 Bildarten

Bilder können gemäß ihrer Darstellung unterschiedlichen Arten zugeordnet werden. Wobei Schnotz (1994b) darauf hinweist, dass in manchen Fällen eine eindeutige Zuordnung eines Bildes zu einer Bildart schwierig sein kann. Zum einen kann die Ähnlichkeit realistischer Bilder mit dem dargestellten Sachverhalt sehr variieren, zum anderen können auch logische Bilder darstellende Bilder (in Form von Pfeilen z.B.) enthalten. Nach Weidenmann (2004) können darstellende Bilder und logische oder logisch-analytische Bilder unterschieden werden. Schnotz (2006a) unterscheidet realistische, logische und Analogiebilder. Ballstaedt (1997) unterscheidet zwischen Abbildern, Piktogrammen und Diagrammen. Die unterschiedlichen Terminologien der Autoren meinen an den meisten Stellen vergleichbares. Es wird hier nun beschrieben, was sich hinter den einzelnen Bildarten verbirgt.

Darstellende oder realistische Bilder oder Abbilder sind dem Sachverhalt, den sie repräsentieren, ähnlich. Dabei ist zu betonen, dass hier auch Bilder eingeschlossen sind, die einen Sachverhalt darstellen, der real nicht existiert. Die Ähnlichkeit der darstellenden Bilder zu den Sachverhalten, die sie repräsentieren, kann dabei mehr oder weniger ausgeprägt sein (siehe Abbildung 5.1). Zu den realistischen Bildern zählen üblicherweise Strichzeichnungen, Gemälde, Fotografien, Piktogramme, Cartoons und Landkarten. Ballstaedt (1997) differenziert Abbilder darüber hinaus in Anlehnung an Knowlton (1966) im Hinblick auf ihre zunehmende oder abnehmende Konkretheit beziehungsweise Abstraktheit. Ein Beispiel für Bilder unterschiedlichen Abstraktionsgrades findet sich in Abbildung 5.1. Ballstaedt unterscheidet realistische Bilder (Fotos, Zeichnungen, Gemälde), texturierte Abbilder, Linienabbilder (Strichzeichnungen, Umrissbilder) und schematische Abbilder (elektronische Schaltpläne, Verkehrsnetze, Landkarten). Auch bilden Piktogramme bei Ballstaedt eine eigene Bildart, bestehend aus prägnanten ikonischen und/oder symbolischen Zeichen (Ballstaedt, 1997). Auch Weidenmann zählt beispielsweise Landkarten und technische Zeichnungen zu den schematischen Bildern (Weidenmann 1994c, S. 13). Es handelt sich hierbei zwar auch um konkrete Realitätsausschnitte, aber die Darstellung beruht auf einer arbiträren Zeichenstruktur.

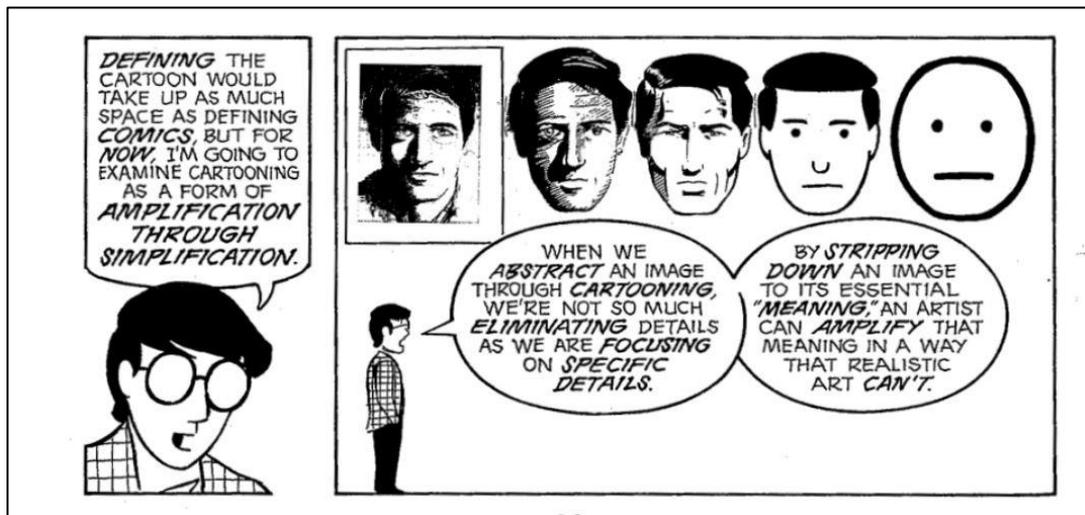


Abbildung 5.1. Darstellende Bilder unterschiedlichen Abstraktionsgrades (aus McCloud, 1993, S. 30).

Logische Bilder veranschaulichen abstrakte Sachverhalte und haben keine Ähnlichkeit mit dem Gemeinten. Sie sind vielmehr durch eine abstrakte strukturelle Übereinstimmung mit dem Sachverhalt gekennzeichnet, welche auf Analogierelationen basiert (Schnotz, 2006a; 2002). Beispiele hierfür sind alle Arten von Diagrammen, wie Struktur-, Kreis-, Säulen-, Linien- oder Streudiagramme. Durch Diagramme können sowohl Zusammenhänge zwischen qualitativen Merkmalen (z.B. in Strukturdiagrammen) als auch zwischen quantitativen Merkmalen (z.B. in Streudiagrammen) veranschaulicht werden.

Analogiebilder stehen in einer Analogiebeziehung zu dem Sachverhalt, den sie darstellen. Sie stellen also nicht den Sachverhalt selbst dar, den sie abbilden, sondern einen anderen, der dem Gemeinten in einer bestimmten Art und Weise gleicht (Schnotz, 2006a). In diesem Sinne kann man von Analogiebildern als einer Spezialform von realistischen Bildern sprechen.

5.1.2 Funktionen von Bildern

Im Hinblick auf ihre Funktion können nach Weidenmann (1994) *informierende*, *künstlerische* und *unterhaltende* Bilder unterschieden werden. Zwar lassen sich nach Weidenmann (1994) auch künstlerische und unterhaltende Bilder „informierend“ nutzen, aber der vom Bildautor intendierte Zweck ist ein anderer. In der vorliegenden Arbeit geht es um die Nutzung von Abbildern im instruktionalen Kontext. Deshalb liegt der Fokus dieses Abschnitts auf informierenden Bildern. Informierende Bilder haben den Zweck, Wissen und Können zu vermitteln. Bei der Entstehung eines informierenden Bildes sollte der Autor

immer den Lerner im Blick haben und das Bild so gestalten, dass der Prozess der Informationsentnahme unterstützt wird (Weidenmann, 1994).

Nach Levin et al. (1987) können vier kognitive Funktionen von Bildern unterschieden werden: eine Abbildungsfunktion, eine Interpretationsfunktion, eine Organisationsfunktion und eine Transformationsfunktion. Die *Abbildungsfunktion* (*Konkretisierungsfunktion*; Schnotz, 2006a) meint die bildliche Darstellung eines verbal beschriebenen Sachverhalts. Bilder mit *Interpretationsfunktion* sollen einen verbal beschriebenen Sachverhalt verständlich machen, also sozusagen beim Verstehen des Textes helfen. Die *Organisationsfunktion* bezieht sich darauf, dass Bilder einen Bezugsrahmen für detaillierte Informationen herstellen und Überblick über einen komplexen Sachverhalt geben können. Die *Transformationsfunktion* bezieht sich darauf, dass Bilder zu einer besseren Verankerung von Informationen im Gedächtnis zu führen können und damit letztlich auch zur besseren Abrufbarkeit der Informationen aus dem Gedächtnis.

Alternativ zu dieser Unterscheidung differenziert Weidenmann (2002) drei verschiedene kognitiven Funktionen von Bildern: eine Zeigefunktion, eine Situierungsfunktion und eine Konstruktionsfunktion. Mit der *Zeigefunktion* ist die allgemeine Tatsache gemeint, dass ein Bild etwas zeigen oder abbilden kann. Das Bild soll helfen, eine zutreffende mentale Repräsentation von einem Sachverhalt zu entwickeln. Aus instruktionspsychologischer Sicht ist es dazu notwendig, dass die Aufmerksamkeit des Lerners auf kritische Aspekte des Bildes gelenkt wird. Dies kann durch eine geeignete Gestaltung im Hinblick auf beispielsweise den Realismusgrad der Abbildung oder auf Merkmale wie den Bildausschnitt und den Blickwinkel geschehen, sowie im Hinblick auf syntaktische Gestaltungsmerkmale (Ballstaedt, 1997). Die Zeigefunktion entspricht der Abbildungsfunktion bei Levin et al. (1987).

Bilder mit *Situierungsfunktion* stellen Informationen in einem bestimmten Kontext dar. Der Lerner wird mit dem Bild über die Einordnung von Informationen in eine bestimmte Situation informiert. Dies wird beispielsweise beim Sprachenlernen genutzt, indem ein Gespräch eingebettet wird in eine bekannte Situation (Klassenzimmer, Café; vgl. Weidenmann, 2002). Durch situierende Bilder sollen beim Betrachter eigene Alltagserfahrungen aktiviert werden, die mehr Informationen beinhalten als das Bild selbst.

Bilder mit *Konstruktionsfunktion* sollen den Lerner beim Aufbau eines mentalen Modells über einen komplexeren Sachverhalt, wie etwa dem Funktionieren eines Motors, unterstützen. Sie beinhalten Informationen über Elemente des Sachverhalts und das Zusammenspiel der Elemente. Für die Abbildung verschiedener Zustände solcher komplexer Sachverhalte kann es

sinnvoll sein, eine Sequenz von Einzelbildern oder eine Animation zu nutzen. Für die instruktionale Gestaltung von Bildern mit Konstruktionsfunktion stellt sich die Frage, wie das Bildmaterial sequenziert sein muss, damit komplexe Zusammenhänge verstanden werden können. Denn bei einer zu kleinschrittigen Darstellung besteht die Gefahr, dass die Makrostruktur nicht erfasst wird (Weidenmann, 2002).

Der Vollständigkeit halber seien an dieser Stelle auch affektive und emotionale Funktionen von Bildern erwähnt (Levie & Lentz, 1982). Schnotz (2006a) bezeichnet diese auch als Dekorations- und Motivationsfunktion. Gemeint ist damit die Tatsache, dass Bilder beim Lerner Interesse wecken und ihn damit zur Auseinandersetzung mit dem Lernmaterial motivieren können (*Motivationsfunktion*). Außerdem können Bilder durch eine ästhetisch ansprechende Gestaltung ein Bedürfnis nach Schönheit befriedigen (*Dekorationsfunktion*).

5.2 Prozessmodell des Bildverstehens nach Weidenmann

Das von Weidenmann (1988a, 1994b) entwickelte Modell bildet das Verstehen von Bildern als Prozess ab. Weidenmann (1988a) basiert sein Modell auf dem Paradigma der Informationsverarbeitung und leitet aus diesem vier Kernannahmen für sein Modell des Bildverstehens ab. Zuerst werden Bilder vom Betrachter in ein mentales Format kodiert (*Transformationsannahme*). Die so entstandenen mentalen Inhalte werden in Interaktion mit dem Vorwissen des Betrachters elaboriert. Diese Interaktion der mentalen Repräsentation mit vorhandenem Wissen geschieht in Form von Ideen, Assoziationen und Vorstellungen und dient sowohl der Anreicherung der mentalen Repräsentation als auch der Inferenzbildung (*Elaborationsannahme*). Während der Verarbeitung des Bildes wird vom Betrachter eine möglichst kohärente und strukturierte mentale („stimmige“, Weidenmann, 1988, S. 23) Repräsentation konstruiert (*Konstruktionsannahme*). Die Verarbeitung des Bildes ist als Leistung eines psychischen Systems in Interaktion mit dem Bildmaterial zu betrachten (*Systemannahme*).

„Verstehen“ definiert Weidenmann als die Entwicklung einer „mentalen modellhaften Repräsentation, die über eine lediglich registrierende Perzeption hinausgeht“ (Weidenmann, 1988, S. 30). Diese mentale Repräsentation wird im Hinblick auf ihre Konsistenz mit dem wahrgenommenen Zielbereich und im Hinblick auf ihre interne Konsistenz mit dem eigenen Vorwissen evaluiert und gegebenenfalls korrigiert.

5.2.1 Verarbeitungsmodi/Verstehensmodi

Der von Weidenmann (1988) beschriebene mehrstufige Verarbeitungsprozess besteht - in Anlehnung an Neisser (1976) - aus präattentiven und attentiven Prozessen. Die *präattentive* Verarbeitung ist automatisiert und dient dem ersten globalen Erkennen des Bildes. Beim ersten Kontakt mit dem Bild werden (bottom-up gesteuert) Schemata aktiviert. *Attentive Prozesse*. Die durch die automatisierte erste Verarbeitung aktivierten Schemata leiten die bewusste, gezielte Weiterverarbeitung des Bildes. Die Aufmerksamkeit wird durch die aktivierten Schemata auf bestimmte Bereiche des Bildes gelenkt. Auf diese Weise werden dem Bild gezielt Informationen entnommen. Während der Ableseprozesse können wieder andere Schemata aktiviert werden, die die weitere Verarbeitung beeinflussen. So findet eine Interaktion von Schemaaktivierungs- und Informationsableseprozessen während der Verarbeitung eines Bildes statt. Die Wechselwirkung zwischen bottom-up- und top-down-Prozessen führt zu immer neuen Vergleichen zwischen dem Vorwissen und dem Ziel der Bildbetrachtung und somit zum Verstehen des Bildes.

Verstehensmodi

Ausgehend von verschiedenen Modellen, die zwischen unterschiedlichen Arten der Verarbeitung auf verschiedenen Ebenen unterscheiden (z.B. Marcel, 1983; Herrmann, 1985; Shiffrin & Schneider, 1977; zitiert nach Weidenmann, 1988), differenziert Weidenmann zwischen ökologischem und indikatorischem Bildverstehen. Beide Formen umfassen präattentive und attentive Prozesse der Wahrnehmung. Aber das jeweilige Ziel ist ein anderes. Beim *ökologischen* Bildverstehen geht es in erster Linie um das Identifizieren des Dargestellten. Ist der dargestellte Sachverhalt jedoch unbekannt, liegt eine Ambiguität zwischen externer Repräsentation und interner Repräsentation vor. Um diese aufzulösen, stellt sich ein Normalisierungsbedarf ein, durch den die Frage danach beantwortet wird, was auf dem Bild dargestellt ist. Dazu wird auf bekannte (und saliente) Schemata zurückgegriffen, die Bildinformationen werden „ökologisch normalisiert“ (Weidenmann, 1988, S. 77). Inhalte können „erkannt“ werden, aber auch um das eigene Vorwissen erweitert werden. Beispielsweise kann eine dargestellte Situation im Geiste erweitert werden um Dynamik (Inferieren von Bewegungen, siehe Abschnitt 6.3), um Farben oder auch Geräusche. Ökologisches Bildverstehen ist dabei nicht gleichzusetzen mit automatischem, also präattentivem Bildverstehen. Auch hier spielen nach der automatischen Enkodierung, dessen Produkt ein erstes bewusstes Perzept ist, attentive Verarbeitungsprozesse eine Rolle. Es kann aber dennoch davon ausgegangen werden, dass es sich beim ökologischen Bildverstehen um

eher automatisches Bildverstehen handelt, da die Normalisierung nach den Prinzipien der Ökonomie und Nützlichkeit stattfindet: Sobald ein passendes Schema aktiviert wurde, nimmt der Normalisierungsbedarf ab und die Verarbeitung des Bildes wird abgebrochen.

Beim *indikatorischen* Bildverstehen versucht der Betrachter, die Intention des Bildproduzenten zu verstehen. Bestimmte Merkmale eines Bildes werden ausgewertet im Hinblick auf ihre Bedeutung. Es wird versucht, das (intendierte) mentale Modell des Bildproduzenten zu rekonstruieren. Hier wird beim Bildverstehen neben Wissen über die Welt auch auf spezifisches Wissen über die Bildproduktion, über den Bildproduzenten, die Zeit, in der das Bild entstanden ist usw. einbezogen. Indikatorisches Bildverstehen baut auf dem ökologischen Bildverstehen auf und schließt es ein. In diesem Sinne kann nach Weidenmann von Bildverstehen erster (ökologisches) und zweiter (indikatorisches) Ordnung gesprochen werden. Schnotz (1994b) weist auf die Begrenztheit der attentiven Verarbeitungskapazität hin. Die schemageleitete Analyse eines Bildes muss demnach sequentiell ablaufen und bedarf eines hohen Zeitaufwandes. Indikatorisches Bildverstehen bei informierenden Bildern ist eher als gezielte Suche aufgabenrelevanter Informationen zu betrachten („Was soll ich hier lernen?“).

Beide Verstehensmodi unterscheiden sich auf Seiten des Rezipienten im Hinblick auf Aspekte wie dem mentalen Aufwand (gering vs. mittel bis hoch), einbezogenem Wissen (saliente Schemata vs. visual literacy als die Fähigkeit, visuelle Botschaften zu interpretieren oder selbst herzustellen; vgl. Petterson, 1994) und dem Normalisierungskriterium.

Beide Verstehensmodi können unterschiedlich intensiv stattfinden. Nach Weidenmann wird ein Bild umso intensiver verstanden, je mehr Bildelemente verarbeitet werden, je mehr Schemata aktiviert werden und je mehr psychische Prozesse (emotionale, motorische, ...) während der Verarbeitung stattfinden. Diese Variablen beeinflussen, wie dauerhaft das Gelernte im Langzeitgedächtnis gespeichert ist.

Verstehensintensität

Die Verstehensintensität steht in Zusammenhang mit dem perzipierten Normalisierungsbedarf und der Virulenz der aktivierten Schemata. Normalisierungsbedarf und Virulenz spielen bei der Bildverarbeitung eine wichtige Rolle und sollen im Folgenden kurz erläutert werden, bevor das Prozessmodell des Bildverstehens vorgestellt wird. Wie schon in im vorherigen Abschnitt erwähnt, dient die *Normalisierung* der Beseitigung von Ambiguität. Wenn kein passendes Schema zum Verstehen des Sachverhalts vorhanden ist,

muss diese Ambiguität beseitigt werden. Wenn dies geschehen ist, wurde das Bild verstanden. Der *perzipierte Normalisierungsbedarf* ergibt sich aus Bildmerkmalen und Betrachtermerkmalen. Er betrifft zum einen relativ dauerhafte Einstellungen des Lernalers zum Medium (Film, Bild, Text; siehe Salomon, 1984), zum anderen die aktuelle Einschätzung des Normalisierungsbedarfs. Der perzipierte Normalisierungsbedarf des Lernalers kann durch geeignete Instruktionen beeinflusst werden, welches wiederum einen Einfluss auf die Intensität der Verarbeitung hat (z.B. Tversky, 1973; Yarbus, 1967; zitiert nach Weidenmann, 1988). Aber nicht nur eine geeignete Instruktion kann den perzipierten Normalisierungsbedarf erhöhen, sondern auch die wahrgenommene Interessanztheit des Bildes: je interessanter ein Bild dem Betrachter erscheint, umso höher ist der wahrgenommene Normalisierungsbedarf und umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, sich intensiv mit dem Bild auseinanderzusetzen.

Die *Virulenz der aktivierten Konzepte* bezeichnet die Menge an Assoziationen, die durch ein Bild angeregt werden. Ausgangspunkt ist die Annahme der Repräsentation von Wissen in Form semantischer Netzwerke (z.B. Anderson & Bower, 1973), in denen Schemata mehr oder weniger stark miteinander verbunden sind. Je virulenter ein aktiviertes Schema ist, umso mehr weitere Schemata werden mitaktiviert. Neben kognitiven Schemata können dies auch nicht-kognitive wie emotionale oder motivationale Schemata sein. Die Virulenz der aktivierten Konzepte steht auch in Zusammenhang mit der wahrgenommenen Interessanztheit des Bildes: je mehr Schemata aktiviert werden, umso interessanter erscheint das Bild (Weidenmann, 1988).

Die Verstehensmodi und die Verstehensintensität lassen sich in zwei Prinzipien einfügen, dem *Ökonomieprinzip* und dem *perzeptuellen Trägheitsprinzip*.

Das *Ökonomieprinzip* besagt, dass ein Betrachter möglichst schnell und unaufwendig versuchen wird, Ambiguität zu beseitigen. Dies ginge entsprechend mit einer geringen Intensität der Verarbeitung einher. Demgegenüber steht das *Bedürfnis nach Stimulation und Abwechslung*. Das Auge erfasst Veränderungen sehr schnell und wendet das foveale Gesichtsfeld sofort diesen Veränderungen zu. Weidenmann beschreibt beide Prozesse als sich ergänzend: „eine ausgeprägte Ökonomie der Verarbeitung, im Sinne einer Disambiguierung der Wahrnehmungen, ermöglicht einen häufigen Wechsel der Foki; ein häufiger Wechsel verlangt andererseits ökonomische Verarbeitung“ (Weidenmann, 1988, S. 93). Weidenmann bezeichnet das Ökonomieprinzip auch als *Prinzip der minimalen Verstehensintensität*. Auf diese Weise kann die Aufmerksamkeit schnell auf die Verarbeitung neuer Reize gelenkt werden. Ein Bildabbruch, also eine Beendigung der Beschäftigung mit dem Bild, nach

Erreichen des perzipierten Normalisierungsbedarfs ist sehr wahrscheinlich. Es stellt sich daher die Frage, wie es dann zum indikatorischen Bildverstehen kommen kann? Antwort darauf gibt das *perzeptuelle Trägheitsprinzip*, welches besagt, dass wenn nach der ersten automatischen Normalisierungsphase der Verstehensprozess nicht abbricht, der Normalisierungsbedarf und die Virulenz anhalten und zu einem weiteren Anhalten des Verstehensprozesses führen. Natürlich nur bis zu einer gewissen Zeit.

Die hier beschriebenen Prozesskomponenten lassen sich nun in einen Prozess des Bildverstehens integrieren.

5.2.2 Prozess des Bildverstehens

In der *Vorphase* findet zunächst der erste Bildkontakt statt. In dieser Phase spielen vor allem verschiedene Aspekte der mentalen Situation des Lernalters eine Rolle. So ist der Bildkontakt z.B. beeinflusst von der kognitiven, motivationalen und emotionalen Verfassung. Durch eine geeignete Instruktion kann jedoch Einfluss genommen werden auf den ersten Kontakt mit dem Bild. So kann der Betrachter durch die Aktivierung von Vorwissen kognitiv aktiviert und auch motiviert werden.

In der darauf folgenden *Initialphase* findet eine erste Auseinandersetzung des Betrachters mit dem Bild statt. Durch automatische Normalisierungsversuche wird versucht, das Bild zu verstehen. Der Bedarf an Normalisierung entspricht dabei der wahrgenommenen Schwierigkeit (*perceived demand characteristic*, Salomon; 1984). Wenn der im Bild dargestellte Sachverhalt bekannt ist und verstanden scheint, nimmt der Normalisierungsbedarf ab. Wenn das Bild jedoch als schwierig zu verstehen wahrgenommen wird und noch nicht verstanden wurde oder der Betrachter unbekannte oder auch unerwartete Elemente im Bild entdeckt, hält der Normalisierungsbedarf an und es findet eine tiefere Verarbeitung statt. Diese tiefere Verarbeitung wird angeregt durch den wahrgenommenen Normalisierungsbedarf und die Virulenz der aktivierten Schemata.

In der *Progressionsphase* findet eine intensivere Verarbeitung der Bildinformation statt. Nach Weidenmann (1988b) handelt es sich hierbei um das Verstehen zweiter Ordnung, welche sowohl ökologisches als auch indikatorisches Bildverstehen beinhaltet. Der Bildkontakt wird hierbei aufrechterhalten durch das Prinzip der perzeptuellen Trägheit.

In der *Stabilisierungsphase* nimmt der Normalisierungsbedarf mit zunehmender Zeit des Bildkontaktes ab. Wenn keine neuen Informationen mehr wahrgenommen werden und keine weiteren Schemata aktiviert werden, stabilisiert sich die Virulenz. Das mentale Modell wurde

auf Grundlage des Bildes konstruiert und verändert sich nicht mehr. Der Bildkontakt wird abgebrochen.

In der nun folgenden *Speicherphase* werden die wahrgenommenen und verarbeiteten Bildinformationen im Gedächtnis gespeichert. Je intensiver (in Bezug auf Kohärenz, Adäquatheit und Vernetztheit mit Vorwissen) die Verarbeitung des Bildes stattfand, umso differenzierter ist das mentale Modell des Betrachters und umso leichter wird das Bild erinnert werden können.

Der Wert des Modells liegt darin, dass es Bildern als Medium der Wissenskommunikation eine ganz eigene Rolle einräumt. Auch wenn an dieser Stelle keine Unterscheidung zwischen statischen und dynamischen Bildern gemacht wird, man kann die Aussagen des Modells aber durchaus auch auf dynamische Bilder übertragen. Die in dieser Arbeit genutzten instruktionalen Animationen können im Hinblick auf Stimulation und Abwechslung als Prinzip der Aufrechterhaltung des Normalisierungsbedarfs zwischen Film und Fernsehen und statischen Bildern eingeordnet werden (hierzu Weidenmann, 1988; S. 94/95). Der Normalisierungsbedarf nimmt hier nicht so schnell ab, weil sich die visuellen Informationen schnell ändern und sozusagen für Abwechslung gesorgt wird. Andererseits ist die Intention des Autors bei instruktionalen Animationen nicht allein die Unterhaltung und Abwechslung sondern beispielsweise das Verstehen der Funktion eines mechanischen Ablaufs. Es wird infolge dessen nicht durch häufige Schnittwechsel oder ähnliches versucht werden, die Abwechslung des visuellen Angebots zu erhöhen, sondern darauf geachtet werden, dass wesentliche Aspekte der dynamischen Repräsentation vom Lerner extrahiert werden können.

6 Lernen mit Animationen

In diesem Kapitel geht es zunächst um eine genauere Bestimmung des Forschungsgegenstandes. Dazu wird der Begriff *Animation* zunächst definiert. Darauf aufbauend wird eine Charakterisierung von Animationen vorgenommen. In Abschnitt 6.3 wird das Verstehen von Animationen thematisiert. Im Anschluss daran wird auf Vorteile und Herausforderungen beim Lernen mit Animationen eingegangen, um abschließend einige empirische Befunde zum Lernen mit Animationen im Hinblick auf die Manipulation der Geschwindigkeit zu berichten.

6.1 Definition von *Animation*

Eine Animation kann definiert werden als ein „Bild, welches seine Struktur oder andere Eigenschaften über die Zeit hinweg verändert und die Wahrnehmung einer kontinuierlichen Veränderung erzeugt“ (Schnotz & Lowe, 2008). Diese zeitliche Veränderung kann eine Veränderung in der Wirklichkeit betreffen, kann aber auch dazu dienen, Teile eines Bildes leichter wahrzunehmen. Dabei kann man zwischen drei Arten zeitlicher Veränderungen bei Animationen unterscheiden: Translation, Transformation und Transition. Die *Translation* meint, dass Objekte oder Entitäten als Ganzes ihre Position innerhalb der Darstellung ändern. *Transformation* bedeutet, dass die Entitäten selbst ihre Eigenschaften (z.B. Größe, Form, Farbe oder Orientierung) ändern. Mit *Transition* ist das Hinzufügen oder Entfernen von Entitäten aus der Darstellung gemeint (Schnotz & Lowe, 2008; Tversky, Zacks & Martin, 2008).

In der in dieser Arbeit verwendeten Definition von „Animation“ wird angenommen, dass sie Wahrnehmungs- und kognitive Prozesse unterstützt, die mit Lernen als aktiver Konstruktion von Wissen in Verbindung gebracht werden. Es geht bei dem Einsatz von Animationen als Lernmaterial um die dynamische Darstellung eines dynamischen Inhalts. Es wird angenommen, dass die Animation hilft, ein dynamisches mentales Modell vom dargestellten Inhalt zu konstruieren. In diesem Sinne handelt es sich um eine erklärende Animation (Schnotz & Lowe, 2008).

6.2 Merkmale von Animationen

6.2.1 Räumliche und zeitliche Strukturen

Im Hinblick auf ihre Struktur sind Animationen Sequenzen von zweidimensionalen Bildern. Diese Bilder ändern sich über die Zeit hinweg und beinhalten folglich eine dritte, zeitliche Dimension. Animationen haben demzufolge eine 2+1dimensionale Struktur mit zwei räumlichen und einer zeitlichen Dimension (Abb. 6.1).

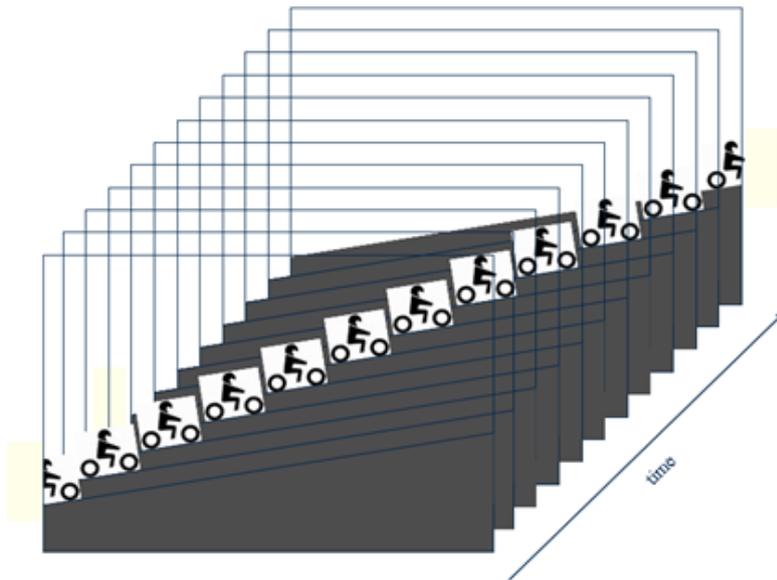


Abbildung 6.1. 2+1dimensionale Struktur von Animationen (aus Schnotz & Lowe, 2008; S. 319).

Diese räumlichen und zeitlichen Strukturen sind beide hierarchisch. Die räumliche Struktur einer Animation bezeichnet räumliche Beziehungen zwischen Entitäten auf verschiedenen Ebenen (global bis lokal). Objekte bestehen aus Teilen, die wiederum in kleinere Teile/Subteile untergliedert werden können (Zacks & Tversky, 2001). Im Hinblick auf eine Animation bedeutet dies, dass eine Animation aus Teilen besteht, die wiederum in Subteile unterteilt werden können. So besteht beispielsweise die dynamische Darstellung eines Viertaktmotors aus Zylindern, Ventilen, Kolben, einer Kurbelwelle und so weiter.

Die zeitliche Struktur einer Animation kann untergliedert werden in das Verhalten einzelner Teile, die in Beziehung zueinander stehen (Schnotz & Lowe, 2008; Zacks & Tversky, 2001). Aus der Einbettung von Ereignissen in andere Ereignisse ergibt sich eine Hierarchie von Ereignissen, welche verschiedene Ebenen zeitlicher *Mikro-* und *Makrostrukturen* enthält. Um es anders auszudrücken, die entsprechende Partonomie von Ereignissen konstituiert eine Hierarchie der Dynamik, die sich im Bereich von zeitlichen Mikro- und Makrostrukturen bewegt. Da komplexe Systeme aus miteinander verbundenen Teilen bestehen, kann das Verhalten solcher Systeme auch in das Verhalten dieser Teile zerlegt werden. Zum Beispiel besteht das Verhalten eines Viertaktmotors aus Subereignisse wie *Einlasstakt*, *Verdichtungstakt* usw. Und das Subereignis *Einlasstakt* selbst besteht ebenfalls aus wieder kleineren Subereignissen wie *Öffnung des Einlassventils*, *Bewegung des Kolbens nach unten*, *Verdichtung des Luft-Gas-Gemischs* und *Schließen des Einlassventils*. Entsprechend der hierarchischen Struktur von Ereignissen können Ereignisse als Mikro- oder

Makroereignisse klassifiziert werden aufgrund ihrer Dauer. Mikroereignisse sind von kürzerer Dauer als Makroereignisse. Zum Beispiel ist die *Öffnung des Einlassventils* ein kurzes Ereignis, während eine Umdrehung der Nockenwelle ein im Vergleich langes Ereignis ist.

6.3 Verarbeitung von Animationen

Wie bereits dargestellt, umfasst die Verarbeitung von Bildern präattentive Rezeptionsprozesse und attentive Prozesse (Neisser, 1979). Präattentive Prozesse finden automatisch statt und dienen dem schnellen Überblick über das Bild (Loftus & Bell, 1975; Navon, 1977). Diese Prozesse sind aber trotzdem auch vorwissensabhängig (Hegarty & Just, 1989; Yarus, 1967). Attentive Prozesse sind gezielt und absichtsvoll und dienen einer genaueren Bildanalyse. Sie beinhalten sowohl top-down- als auch bottom-up-Prozesse. Sie sind nicht unabhängig von den vorangegangenen präattentiven Prozessen.

6.3.1 Wahrnehmung

Um die Spezifika der Verarbeitung von Animationen zu verstehen, soll zunächst noch einmal zurückgegriffen werden auf einige grundlegende Prinzipien der Bildverarbeitung. Auf der Ebene der Wahrnehmungsprozesse werden die Informationen aus der bildlichen Repräsentation extrahiert. Diese perzeptuelle Verarbeitung ist primär bottom-up-gesteuert und wird in erster Linie durch den visuellen Reiz (Bild, Animation) beeinflusst (Winn, 1994). Navon (1977) nimmt an, dass die perzeptuelle Analyse einer visuellen Wahrnehmung zuerst global (als Ganzes) stattfindet und mit voranschreitender Zeit immer feinkörniger wird. Das heißt, mit zunehmender Zeit wendet sich der Betrachter lokalen Eigenschaften des Bildes zu. Es wird eine hierarchische Struktur im Aufbau der visuellen Szene/Bild angenommen, die in Verbindung steht mit räumlichen Beziehungen der Bildteile untereinander (siehe hierzu auch Palmer, 1975). Demnach sollte die Verarbeitung einer Szene/eines Bildes von globalen Eigenschaften hin zu lokalen Eigenschaften hierarchisch stattfinden („from the top of the hierarchy to the bottom“; Navon, 1977, S. 354).

Die Beschreibung der Wahrnehmung von visuellen Informationen ist möglich über die Theorie der Gestaltpsychologie (Wertheimer, 1938). Wie schon erwähnt, werden während der ersten Wahrnehmung eines Bildes die Struktur und die Gestalt der Informationen über die Sinne erfasst. Nach welchen Regeln diese Wahrnehmungsprozesse stattfinden, hat die Gestaltpsychologie in ihren „Gesetzen des Sehens“ formuliert. Diese Gesetze treffen Aussagen darüber, wie Objekte wahrgenommen werden. Im Hinblick auf die Wahrnehmung

von Ereignissen spielt dabei besonders die Figur-Grund-Wahrnehmung eine Rolle. Dieses Gesetz beschreibt die Tatsache, dass bei einer visuellen Wahrnehmung zwischen Figur und Hintergrund unterschieden wird. Bestimmte Elemente, die verschiedenen Gestaltgesetzen wie dem Gesetz der Geschlossenheit oder dem Gesetz der Nähe folgen, werden als Figur wahrgenommen. Das verbleibende visuelle Feld wird als Hintergrund wahrgenommen (Kebeck, 1997). Ein Beispiel dafür, dass die Unterscheidung zwischen Figur und Grund auch nicht eindeutig gelingen kann, sind sogenannte Kippfiguren. Der Rubinsche Becher (siehe Abb. 6.2) zeigt, je nachdem, auf welche Farbfläche man sich konzentriert, einen Becher oder zwei sich anblickende Gesichter. Wichtig dabei ist, dass immer nur eine Fläche als Figur gesehen werden kann, die andere wird als Hintergrund erkannt.

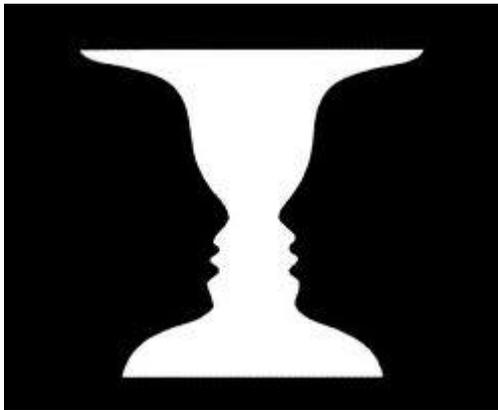


Abbildung 6.2. Rubinscher Becher als Beispiel für perzeptuelle Mehrdeutigkeit.

Im Fall von Animationen spielt für die Wahrnehmung von Figur und Hintergrund überdies der dynamische Kontrast eine wichtige Rolle. Bewegungen können voneinander abweichen und so als verschieden voneinander wahrgenommen werden. Möglich ist hier zum einen, dass sich eine Figur auf einem statischen Grund bewegt (ein Mensch läuft über die Straße), zum anderen kann sich aber auch eine statische Figur vor einem bewegten Hintergrund befinden (ein Mensch steht auf einem Feld, dessen Getreide vom Wind bewegt wird). Aber auch ein sich auf einem sich bewegenden Feld laufendes Tier kann als Figur vor dem Hintergrund wahrgenommen werden, indem sich die Bewegungen auf unterschiedlichen Mustern von Dynamik gründen. Wenn sich das dynamische Verhalten von Figur und Grund aber zu sehr ähneln, ist die Figur vor dem Hintergrund möglicherweise nur schwer erkennbar (Schnotz & Lowe, 2008). Bei Animationen, aus denen Informationen zum Verstehen von Sachverhalten entnommen werden sollen, ist es allerdings wesentlich, dass Figur und Grund sich gut

unterscheiden. Dies kann durch eine gezielte Gestaltung des dynamischen Kontrasts geschehen. Nach Metzger (1975) ist das Sehen einer Bewegung abhängig von ihrer Geschwindigkeit. Er verwendet hierfür den Begriff Bewegungsschwelle. Bewegungen innerhalb der Bewegungsschwelle sind für das menschliche Auge wahrnehmbar. Bewegungen, die langsamer oder schneller sind, sich also außerhalb der perzeptuellen Verarbeitungskapazität befinden, können nicht wahrgenommen werden. Das Wachstum einer Pflanze beispielsweise ist in realer Geschwindigkeit nicht sichtbar, genauso wie das Hervorschnellen der Zunge eines Chamäleons zum Fangen eines Insekts. Animationen eignen sich für das Sichtbarmachen von Bewegungen ober- oder unterhalb der Bewegungsschwelle, indem sie die Möglichkeit bieten, Bewegungen verlangsamt (in Zeitlupe) oder beschleunigt (im Zeitraffer) zu zeigen (Hegarty, 2005) (siehe Abbildung 6.3).

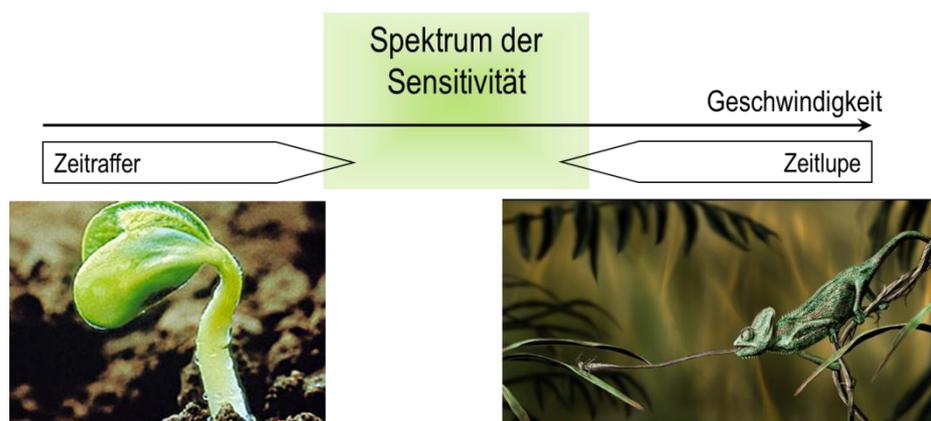


Abbildung 6.3. Spektrum der Sensitivität für dynamische Kontraste.

Bei der Darstellung von komplexen Ereignissen, welche hierarchisch organisiert sind, stellt sich die Frage nach der Darstellung der Geschwindigkeit der Bewegungen im Hinblick auf die verschiedenen hierarchischen Ebenen. Neisser (1979) schreibt, dass die „Wahrnehmung zweier sinnvoller und kontinuierlicher Ereignisse in derselben Sinnesmodalität“ (S. 85) schwer möglich ist. Die Kapazität der Aufmerksamkeit ist begrenzt, besonders bei konkurrierenden Aufgaben. Für das Lernen mit Animationen bedeutet das, dass es nicht möglich ist, zur gleichen Zeit mehrere parallel stattfindende Prozesse eines komplexen Sachverhalts zu beobachten. Man kann z.B. nur das Arbeiten eines Zylinders zu einer Zeit betrachten (beim Viertaktmotor) oder das Fließen des Blutes in eine Richtung (beim Herzkreislaufsystem). Dies betrifft auch Ereignisse auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen. Man kann entweder nur Mikro- oder nur Makroereignisse zu einem Zeitpunkt beachten. Auf

welcher Ebene man Informationen betrachtet, sollte dabei abhängen von der Darstellung des dynamischen Kontrastes, d.h. wie schnell die Ereignisse gezeigt werden. Hier bieten Animationen die Möglichkeit, mithilfe der Variation der Geschwindigkeit verschiedene hierarchische Ebenen salient zu machen. So können schnellere Mikroereignisse verlangsamt dargestellt werden und langsamere Makroereignisse beschleunigt werden. So kann zu unterschiedlichen Zeiten der Fokus der Aufmerksamkeit auf verschiedene hierarchische Ebenen gelenkt werden, um dort Informationen zu extrahieren.

6.3.2 Kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen

Zur Beschreibung der kognitiven Prozesse wird gemäß der Annahme, dass die Verarbeitung von Animationen aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeit zu statischen Bildern analog zu der Verarbeitung von statischen Bildern verläuft, auf die Darstellung des Modells des Text- und Bildverstehens von Schnotz und Bannert (2003; siehe Abschnitt 4.3) zurückgegriffen. Analog zu Bildern wird die kognitive Verarbeitung von Animationen demnach im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis lokalisiert. Die bildlichen Informationen, die über das visual register das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis erreichen, werden hier weiterverarbeitet zu einer bildlichen Oberflächenrepräsentation, die dann in einem nächsten Schritt in Interaktion mit vorhandenen Schemata in der Konstruktion eines mentalen Modells mündet. Beim Aufbau eines mentalen Modells werden visuelle Strukturen des wahrgenommenen Bildes mit semantisch bedeutungsvollen Strukturen im mentalen Modell „gemappt“ (Schnotz, Picard & Hron, 1993). Bei Animationen finden diese „structure mapping“-Prozesse nicht nur im Hinblick auf visuell-räumliche Strukturen, sondern auch im Hinblick auf zeitliche Strukturen statt. Das Verstehen einer Animation kann demnach gesehen werden als ein schema-geleitetes analoges Abbilden (mapping) von Strukturen zwischen einem System von visuellen räumlich-zeitlichen Relationen und einem System von semantischen räumlich-zeitlichen Relationen innerhalb eines mentalen Modells (Lowe & Schnotz, 2008). Ziel des Verstehensprozesses ist ein dynamisches mentales Modell, mit dem im Gedächtnis Verhaltensweisen simuliert werden können (Schnotz, Böckheler & Grzondziel, 1999).

Zur Dynamik von mentalen Modellen schlägt Jennifer Freyd (1987) eine Definition vor. In ihrer Forschung beschäftigt sie sich mit der Wahrnehmung impliziter dynamischer Informationen, wenn also die Dynamik nicht explizit gezeigt wird (z.B. bei statischen Bildern oder einer Serie statischer Bilder). Diese impliziten dynamischen Informationen betreffen

zum einen räumliche Veränderungen von Objekten über die Zeit hinweg (z.B. das Antizipieren/Weiterdenken von Bewegungen beim Betrachten eines Schnappschusses von der Bewegungen eines Menschen, Abbildung 6.4) oder Veränderungen, durch die Objekte erzeugt werden (z.B. Sequenzen von gezeichneten Strichen, die einen handgeschriebenen Buchstaben ergeben).



Abbildung 6.4. Eingefrorene Bewegung in einem statischen Bild. Fotografie aus dem Museum of Modern Art, New York.

Es wird angenommen, dass das Wahrnehmungssystem auch Informationen über Übergänge (*transitions*) beinhaltet, unabhängig davon, ob das Stimulusmaterial statisch oder dynamisch ist. Das Induzieren von Bewegungen durch ein stehendes Bild ist aber nur möglich, wenn beim Betrachter Wahrnehmungserfahrungen im Sinne von Schemata über Bewegungen vorhanden sind. Dies ist besonders bei der Bewegung von Menschen und Tieren der Fall. Obwohl es sich hier, wie etwa bei der Abbildung 6.4, tatsächlich eher um eine Weiterführung der Bewegung vor dem inneren Auge im Sinne der räumlichen Veränderung des Objektes handelt als um eine genaue Vorstellung darüber, welche einzelnen Bewegungen das Objekt, in diesem Fall der Mann, mit seinem Kopf, seinen Armen, Beinen etc. vollführt beziehungsweise vollführen wird. So kann beispielsweise bei der statischen Abbildungen eines sich bewegenden Pferdes wohl antizipiert werden, dass es sich in eine bestimmte

Richtung weiterbewegen wird, möglicherweise kann aber nicht erkannt werden (besonders für Laien), welche Gangart das Pferd nutzt und wie Beine und Körper des Pferdes dabei koordiniert sind (Wagner, 2013). Wenn keine Wahrnehmungserfahrungen vorhanden sind, wie etwa bei technischen Geräten, ist es jedoch schwierig, durch ein oder mehrere statische Bilder Bewegung zu induzieren (Weidenmann, 1994b).

Ausgehend von den vorangegangenen Ausführungen ist anzunehmen, dass die Wahrnehmung der zeitlichen Veränderungen in Zusammenhang steht mit der Abspielgeschwindigkeit einer Animation. Mit anderen Worten, die Salienz einer bestimmten hierarchischen Ebene einer Animation kann mittels einer bestimmten Geschwindigkeit der Animation betont werden. So können, je nach dynamischer Hierarchieebene, die sich im Fokus der visuellen Aufmerksamkeit befindet, unterschiedliche Informationen wahrgenommen und kognitiv verarbeitet und schließlich in eine mentale Repräsentation des dynamischen Gegenstands integriert werden (Weidenmann, 1994b).

6.4 Vorteile und Schwierigkeiten beim Lernen mit Animationen

Durch Animationen können dynamische Prozessen explizit gezeigt werden. Dies kann beispielsweise hilfreich sein für das Erlernen von Verfahrensweisen, für das Zeigen Bewegungsabläufen und für die Demonstration von physikalischen Vorgängen. Im Folgenden werden nun verschiedene Vorteile und Schwierigkeiten beim Lernen mit Animationen diskutiert.

Einerseits kann man annehmen, dass das Lernen mit Animationen dann lernförderlicher ist im Vergleich zum Lernen mit statischen Bildern, wenn es um die Vermittlung von Wissen über Prozesse geht, da Animationen zusätzlich Informationen über zeitliche Veränderungen enthalten. Sie ermöglichen das Verständnis eines Prozesses, indem sie zeitliche Informationen explizit zeigen (Lowe, 1999; Schnotz & Lowe, 2008). Außerdem können Animationen das Verständnis erleichtern, indem sie die Vorstellung von Prozessen fördern. Auf diese Weise wird die kognitive Belastung beim Lernen reduziert. In diesem Fall besagt das Supplanationskonzept von Salomon (1979), dass die externe Präsentation eines zu verstehenden Prozesses das Arbeitsgedächtnis von der Aufgabe entlastet, zunächst eine Vorstellung von der Bewegung zu entwickeln. Dementsprechend können Lerner, die Schwierigkeiten bei der Erstellung dynamischer mentale Modell haben, von der Unterstützung dieser Prozesse durch externe Repräsentationen (Animationen) profitieren. So

kann Animationen eine *facilitating function* zugeschrieben werden (Salomon, 1984; Schnotz, 2002a; Schnotz & Lowe, 2008). Animationen können aber auch eine *enabling function* aufweisen (Salomon, 1984; Schnotz, 2002a; Schnotz & Lowe, 2008). Sie ermöglichen höhere kognitive Prozesse durch die Bereitstellung zusätzlicher dynamischer Informationen. Entsprechend dieser Funktionen sollten Lerner sollten demnach mehr von Animationen als von statischen Bildern profitieren.

Andererseits kann angenommen werden, dass das Lernen mit Animationen fordernder ist, weil (a) mit mehr Informationen umgegangen werden muss und (b) diese Informationen flüchtig und nicht permanent sind (Hegarty, 2005). Die explizite Darstellung der dynamischen Information stellt zusätzliche und qualitativ andere Anforderungen an den Lerner (Lowe, 2003). Aber obwohl Animationen mehr und qualitativ andere Informationen bereithalten, ist die Menge an Informationen, die verarbeitet werden muss, nicht unbedingt höher. Die Menge an Informationen, die überhaupt wahrgenommen werden kann (und soll), ändert sich je nach Geschwindigkeit der Animation. Außerdem ist das menschliche Verarbeitungssystem derart gestaltet, dass es so viel Information wie möglich aus so wenig Information wie nötig inferieren kann. So können beispielsweise invariante Bewegungen schnell verstanden werden, da sie vorhersagbar sind. Eine weitere Beobachtung dieser Bewegung würde keine neuen Informationen bringen und ist deshalb nicht nötig. So kann die Aufmerksamkeit auf andere Aspekte der Animation gerichtet werden.

Ein weiterer Nachteil von Animationen ist, dass Lerner mit höheren Lernvoraussetzungen durch das passive Nachvollziehen der Animation daran gehindert werden können, die relevanten kognitiven Prozesse selbst mental durchzuführen und sie somit einen geringeren Lernerfolg aufweisen (Schnotz, 2001; Schnotz, Böckheler, Grzondziel, Gärtner & Wächter, 1998).

Für Lerner mit wenig oder keinem Vorwissen können Animationen auch wenig hilfreich sein: Aufgrund der Flüchtigkeit der Informationen werden die richtigen und wichtigen Informationen „verpasst“ (Rieber, 1991; Lowe, 1999). Lerner werden von den perzeptuell salienten Merkmalen der Animation geleitet (visuell-räumlich und zeitlich) und nicht von den thematisch relevanten.

Was man aus der bisherigen Forschung lernen kann ist, dass es nicht die Frage sein kann, welches das bessere Medium ist. Vielmehr sollte der Fokus darauf gerichtet werden, wie Animationen verarbeitet werden. Es müssen perzeptuelle und kognitive Verarbeitungsprozesse beim Lernen mit Animationen unter die Lupe genommen werden, um

zu erforschen, wie mit Animationen gelernt wird, welche Voraussetzungen auf der Seite des Instruktionsdesigns erfüllt sein müssen, welche Voraussetzungen die Lerner mitbringen und welche Art der Hilfestellung Lerner benötigen (Lowe, 2002).

6.5 Empirische Befunde zum Lernen mit Animationen

Im Folgenden wird exemplarisch auf empirische Befunde im Hinblick auf Gestaltungsmerkmale von Animationen eingegangen, die in der vorliegenden Arbeit eine Rolle spielen.

6.5.1 Interaktivität

Laut Mayer und Chandler (2001) haben Animationen in Lernkontexten häufig das Problem, dass sie systemgesteuert sind und der Lerner keinen Einfluss auf Geschwindigkeit hat. Bei der Verarbeitung einer Animation in einem möglicherweise nicht angemessenen Tempo ohne die Möglichkeit des Stoppens der Animation kommt es zu einer hohen kognitiven Belastung. Die Informationen können aufgrund ihrer im vorherigen Abschnitt erwähnten Flüchtigkeit nicht angemessen verarbeitet und verstanden werden. Eine Möglichkeit, Verstehen beim Lernen mit Animationen zu erleichtern oder zu fördern sehen die Autoren daher darin, dem Lerner einfache Kontrollmöglichkeiten zu geben.

Domagk, Schwartz und Plass (2010) beschreiben Interaktivität in multimedialen Lernumgebungen als „reciprocal activity between a learner and a multimedia learning system, in which the (re)action of the learner is dependent upon the (re)action of the system and vice versa“ (p. 1025). Diese Beschreibung meint damit mehr oder weniger offene multimediale Lernumgebungen, die sich in Abhängigkeit von bestimmten Aktionen des Lerners verändern und bei denen die Aktionen auf Seiten des Lerners wiederum abhängig sind vom Verhalten der Lernumgebung selbst. Diese Art der interaktiven Lernumgebungen beinhalten oft ein hohes Ausmaß an Interaktivität und sind relativ komplex. Rieber (1991) bezeichnet diese Art der interaktiven Lernumgebungen als „structured simulations“ und meint damit interaktive Animationen. Mit Bezug auf Reed (1985) definiert er diese als Bilder, die sich über die Zeit hinweg verändern abhängig von den Eingaben des Lerners und die so unmittelbare visuelle Rückmeldung bereithalten.

Man kann im Hinblick auf die Interaktivität neben den eben beschriebenen *Simulationen* noch eine zweite Form unterscheiden. Interaktivität als *Kontrollfunktion* meint die

Einflussnahme des Nutzers auf Geschwindigkeit und Abfolge der Animation. Dies kann beispielsweise durch die Möglichkeit des Abspielens, des Anhaltens oder des schnellen Vor- oder Rücklaufs der Animation geschehen. Interaktivität meint also in diesem Sinn das Ausmaß an Kontrolle, dass eine Person bei der Nutzung mit multimedialen Angeboten, im Fall dieser Arbeit mit Animationen, hat (Bétrancourt, 2005). Im Gegensatz zur Simulation ist hier das Ausmaß an Interaktivität eingeschränkt.

Ausgehend von der Annahme, dass Lerner mit unterschiedlichen Voraussetzungen aus demselben Lernmaterial lernen, bieten interaktive Animationen den Vorteil, dass der Lerner selbst in einem gewissen Maß die Informationspräsentationen an seine individuellen kognitiven Bedingungen anpassen kann. Bei nicht-interaktiven Animationen besteht die Gefahr, dass nicht alle Informationen aufgenommen werden können, weil die Präsentationsgeschwindigkeit vorgegeben ist. Interaktivität bietet hier, wie schon beschrieben, die Möglichkeit, die Animation anzuhalten, die Geschwindigkeit zu verändern und vor- und zurückzuspulen (Schwan, 2002; Schwan & Riempp, 2004). Außerdem ist anzunehmen, dass sich der Lerner aktiver mit einer Animation mit Kontrollmöglichkeiten auseinandersetzt als wenn er mit einer Animation ohne Kontrollmöglichkeit lernt (Hegarty, 2004). Interaktivität kann aber auch Nachteile mit sich bringen, da der Lerner mit zusätzlichen Anforderungen konfrontiert wird. So birgt Interaktivität das Risiko, dass Kontrollmöglichkeiten nicht richtig oder nur unvollständig genutzt werden und stellt außerdem höhere kognitive Anforderungen an den Lerner und erhöht dadurch die kognitive Belastung. Es muss nicht nur der Inhalt der Animation verstanden werden, es müssen auch die Bedienelemente verstanden und angemessen benutzt werden. Insbesondere weniger erfahrene Lerner können durch die Steuerung der Animation von der eigentlichen Aufgabe abgelenkt werden.

Schneider und Boucheix (2006) untersuchten in einer Studie verschiedene Variationen der Nutzerkontrolle von Animationen (interaktive Animation, sequentielle Animation, systemgesteuerte Animation). Die Ergebnisse der Studie zeigen einen signifikanten Effekt der interaktiven Animation gegenüber einer sequentiellen oder nicht kontrollierbaren Animation.

Mayer und Chandler (2001) verglichen die Darbietung von zwei Kombinationen einer am Stück durchlaufenden Animation und einer segmentierten Animation. Eine Gruppe sah zuerst die ganze Animation, dann die segmentierte, die andere Gruppe bekam das Lernmaterial in umgekehrter Reihenfolge präsentiert. In Anlehnung an die Aussagen der Cognitive Load Theory war die Annahme, dass die Lerner mit der Variante „Segmentierung - ganze Animation“ besser lernen, weil sie so erst die Funktion der Bestandteile des Lernmaterials

verstehen und diese Teile als chunks für das Verstehen des gesamten Prozesses im zweiten Schritt fungieren. Die Lerner dieser Gruppe schnitten im Transfertest tatsächlich signifikant besser ab als jene Lerner, die zuerst die gesamte Animation und dann die segmentierte Animation sahen.

Bétrancourt und Rebetez (2007) nehmen an, dass Animationen mit Nutzerkontrolle das Verstehen fördern, da sie im Vergleich zu programm-gesteuerten Animationen nicht durch einen „flow of changing information“ überfordern und auch nicht unterfordern, indem sie eine passive Verarbeitung unterstützen, die zu einer "illusion of understanding“ führt. Sie führten eine Studie durch, in der sie die Nutzerkontrolle variierten (keine vs. hohe Nutzerkontrolle). Keine Nutzerkontrolle bedeutete, dass die Lerner die Animation neu starten konnten, wenn sie abgelaufen war. Hohe Nutzerkontrolle bedeutete, dass die Lerner die Animation anhalten, vor- und zurückspulen konnten. Die Möglichkeit, die Animation selbst zu steuern, erwies sich nicht als lernförderlich, aber die Autoren fanden Unterschiede im Explorationsverhalten zwischen beiden Gruppen. So zeigten die Lerner der Gruppe ohne Nutzerkontrolle einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Neustarts der Animation und der Verstehensleistung. Hier ist anzumerken, dass die Möglichkeit, die Animation zu wiederholen schon ein geringes Ausmaß an Nutzerkontrolle darstellt, welches vielleicht ausreicht, um lernförderlich zu wirken. Möglicherweise waren die Lerner mit der interaktiven Animation überfordert und konnten sie nicht adäquat nutzen. Die Ergebnisse zur Lernzeit deuten darauf hin: Die Lernzeit mit der interaktiven Animation war signifikant kürzer als mit der programm-gesteuerten Animation und der lernförderliche Effekt der programm-steuerten Animation ist nicht auf die Lernzeit zurückzuführen. Weiterhin fanden Bétrancourt und Rebetez (2007), dass es eine große Variabilität bezüglich der Nutzung der Lernerkontrolle zwischen den Lernern gab.

Hasler et al. (2007) untersuchten unterschiedliche Grade der Nutzerkontrolle, indem sie Gruppen verglichen, die mit (a) einer interaktiven „stop-play“-Animation, (b) einer interaktiven segmentierten Animation, (c) einer systemgesteuerten Animation oder (d) einer reinen Audio-Version des Lernmaterials lernten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lerner mit beiden Versionen der interaktiven Animation in einem Verstehenstest besser abschnitten als die Lerner mit der systemgesteuerten Animation oder der reinen Audio-Version. Außerdem berichteten die Lerner mit den interaktiven Animationen über weniger kognitive Belastung als die Lerner der programmgesteuerten Versionen. Interessanterweise zeigten die Analysen der Logfiles, dass in der Gruppe der Lerner mit der interaktiven „stop-play“-Animation über die

Hälfte der Lerner diese Möglichkeit gar nicht nutzten und wenn, dann nur sehr selten. Dies wird zum einen dadurch erklärt, dass die Lerner Novizen auf dem Lerngebiet waren und so nicht entscheiden konnten, an welchen Stellen sie die Animation anhalten sollten, das heißt welches die thematisch relevanten Stellen waren. Aber genau diese aufmerksame Suche nach einem geeigneten Punkt zu Anhalten könnte dazu geführt haben, dass sie dennoch mehr gelernt haben als die Lerner mit der systemgesteuerten Animation, obwohl sie faktisch dasselbe Lernmaterial sahen wie diese. Der Effekt der besseren Leistung der „stop-play“-Gruppe wird von den Autoren zurückgeführt auf eine Induzierung von germane load durch die Instruktion.

Schwan und Riempp (2004) untersuchten in einer Studie Interaktivität anhand eines Lernmaterials zu nautischen Knoten. Es konnte gezeigt werden, dass Lernende die Möglichkeit der Interaktivität nutzen, um besonders schwierige Passagen wiederholt und in langsamerer Geschwindigkeit anzusehen. Mit steigendem Schwierigkeitsgrad wurden diese interaktiven Möglichkeiten zunehmend genutzt (Schwan, 2002; Schwan & Riempp, 2004). Dazu ist es aber notwendig, dass interaktive Möglichkeiten die kognitive Belastung nicht erhöhen und somit den Vorteil der Interaktivität gegenüber nicht-interaktivem Material zunichtemachen (Lowe, 1999; Schnotz et al., 1999).

6.5.2 Manipulation der Geschwindigkeit

Eine besondere Eigenschaft von Animationen ist das schon erwähnte explizite Zeigen von dynamischen Eigenschaften eines Lerninhalts. Dies hat den Vorteil, dass Geschwindigkeit nicht inferriert werden muss, birgt aber auch den Nachteil, dass die Aufmerksamkeit oft auf perzeptuell saliente, aber irrelevante Details gelenkt wird (Lowe, 1999; 2004; 2004) und wichtige Informationen verpasst werden (Rieber, 1991). Eine Lösung bietet die gezielte Lenkung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Details. Dies wurde in verschiedenen Studien durch visuell-räumliche Hinweisreize (z.B. Farbwechsel, Pfeile) versucht (de Koning, Tabbers, Rikers & Paas, 2007; 2010; Lowe & Boucheix, 2011; Fischer & Schwan, 2010). Lowe und Boucheix (2011) untersuchten in ihrer Studie das Lernen der Mechanik eines Pianos mithilfe einer Animation mit verschiedenen Hinweisreizen. Die eingesetzten Hinweisreize zeigten sich aber als nicht lernförderlich, es konnten keine Effekte auf den Lernerfolg gefunden werden. Eine Erklärung der Autoren für das Nicht-Funktionieren der visuell-räumlichen Hinweisreize ist, dass die Dynamik des Lernmaterials die Aufmerksamkeit der Lerner stärker lenkt als die visuell-räumlichen Hinweise. Dieses Potential der Dynamik,

Aufmerksamkeit zu lenken, kann aber auch genutzt werden. Dazu gibt es derzeit wenige empirische Befunde. Oft gilt die Schnelligkeit der nicht-interaktiven Animation als ein Grund, warum die positiven Effekte von Animationen beim Lernen ausbleiben. Interaktivität, d.h. Selbstbestimmung des Lerners über - unter anderem - die Geschwindigkeit bietet hier eine Lösung. Diese Möglichkeit der Interaktivität bringt aber unter Umständen auch Nachteile mit sich (siehe Abschnitt 6.5.1). Es existieren wenige Studien, die sich mit der experimentellen Untersuchung von Effekten unterschiedlicher Geschwindigkeiten auf die Verarbeitung von Animationen beschäftigen. Eine mögliche Folge einer Verlangsamung oder Beschleunigung der Geschwindigkeit einer Animation ist Veränderung der Menge an zu verarbeitender Informationen - bei langsamer Animation können mehr Informationen wahrgenommen werden als bei schneller und auch mehr Informationen verarbeitet werden (Fischer et al., 2006). Außerdem können durch eine Manipulation der Geschwindigkeit Bewegungen salient gemacht werden, die bei anderer Geschwindigkeit nicht auffallen (Schnotz & Lowe, 2008; Fischer & Schwan, 2010). So kann durch Zeitraffer eine bei langsamer Geschwindigkeit schwer wahrnehmbare Bewegung, die sich im Vergleich zu ihrer Umgebung nicht genug bewegt, um einen Kontrast zu ihr zu bilden, in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt werden (Fischer et al., 2006). Eine gezielte Manipulation der zeitlichen Darstellung von Prozessen bietet folglich die Möglichkeit, den Vorteil von Animationen mit ihren zusätzlichen dynamischen Informationen zu nutzen und die Aufmerksamkeit des Lerners auf bestimmte dynamische und visuell-räumliche Aspekte der Animation zu lenken. Fischer et al. (2006) zitieren eine Studie von Newton und Rindner (1979) zur Variation der Geschwindigkeit einer gefilmten Sequenz, in der gezeigt werden konnte, dass Zeitlupe und Zeitraffer einen Effekt haben auf die Segmentierung der Szene, auf das Gedächtnis und auf die zukünftige Leistung. In ihrer Studie konnten Fischer, Lowe und Schwan (2008) den Einfluss der Präsentationsgeschwindigkeit auf die Verteilung der Aufmerksamkeit zeigen. In der schnellen Bedingung wurden andere Teile der Pendeluhr erwähnt als bei normaler Geschwindigkeit. Auch für das Verständnis der Funktionsweise der Pendeluhr war die Geschwindigkeit von Bedeutung: In der schnellen Bedingung wurden mehr richtige Konzepte und weniger falsche Konzepte über das Funktionieren der Uhr genannt als in der normalen Bedingung. Das Verstehen der Funktionsweise einer Pendeluhr konnte hier gefördert werden durch eine beschleunigte Animation. Die Aufmerksamkeit wurde auf die für das Funktionieren wichtige Bewegung des Gewichtes der Pendeluhr gelenkt, welches bei normaler Geschwindigkeit weniger beachtet wurde. Auf diese Weise können für das Verstehen relevante Elemente salient gemacht werden (Fischer & Schwan, 2010). Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine

geschickte Manipulation der Geschwindigkeit die perzeptuelle Salienz verschiedener Ereignisse in einer Animation verändert werden kann und dem Lerner so geholfen werden kann, die visuelle Aufmerksamkeit auf relevante thematische Aspekte der Animation zu richten.

De Koning, Tabbers, Rikers und Paas (2011) untersuchten den Einfluss der Geschwindigkeit auf die investierte mentale Anstrengung der Lerner beim Lernen mit einer schnellen und langsamen Animation zum Thema Herzkreislaufsystem. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass eine Reduzierung der Geschwindigkeit weder zu einer Reduzierung der mentalen Anstrengung noch zu einem besseren Lernerfolg führte. Hingegen war die von den Lernern berichtete mentale Anstrengung beim Lernen mit der Animation signifikant höher bei der langsamen Animation im Vergleich zur schnellen Animation. Diese Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass bei einer langsamen Animation die Bereitschaft zu Lernen höher ist, weil der Lerner das Gefühl hat, etwas verstehen zu können. Das ist bei der schnellen Animation aufgrund der hohen Geschwindigkeit eher nicht der Fall. Allerdings müssen bei einer langsamen Animation Informationen länger im Gedächtnis behalten werden, was zu einer mentalen Anstrengung führt. Überraschend ist, dass Lerner auch bei der schnellen Animation scheinbar eine ähnliche Menge an Informationen extrahieren konnten ohne dabei über eine hohe mentale Anstrengung zu berichten. Folgt man diesen Ergebnissen, kann bezweifelt werden, dass eine schnelle Animation immer zu einer höheren kognitiven Belastung und zu einem schlechteren Lernergebnis führt.

Auch andere Studien zeigen Effekte der Veränderung der Geschwindigkeit auf den Lernerfolg (Fischer & Schwan, 2010; Schwan & Garsoffsky, 2004). Das vielgebrauchte Argument, dass Animationen nicht lernförderlich sind, weil die dynamischen Informationen flüchtig und transient sind (Hegarty, 2005) ist so also nicht haltbar (siehe auch Fischer & Schwan, 2010). Die Manipulation der Präsentationsgeschwindigkeit hat das Potential, Lernen mit Animation zu fördern und sollte deshalb als Gestaltungselement systematisch untersucht werden (Fischer & Schwan, 2010).

6.6 Bedeutung von Lernermerkmalen beim Lernen mit Animationen

Ausgehend davon, dass Lernen ein aktiver Prozess der Konstruktion von Wissen ist, der in Interaktion zwischen Lerner und Lernmaterial (in diesem Fall Animationen) stattfindet,

sind nicht nur die Eigenschaften des Lernmaterials, sondern auch Eigenschaften des Lerners von Bedeutung. Ein Forschungszweig der empirischen Lehr-Lernforschung, der sich genau mit diese Wechselwirkungen zwischen Lernermerkmalen (*aptitude*) und Lehrmethode (*treatment*) beschäftigt ist die Aptitude-Treatment-Interaction-Forschung (ATI-Forschung) (z.B. Cronbach & Snow, 1977; Leutner, 1992; Brünken & Leutner, 2000). Die ATI-Forschung untersucht die unterschiedlichen Wirkungen einer Lehrmethode auf den Lernerfolg bei Lernern, die sich bezüglich bestimmter Merkmale unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass ein und dieselbe Lehrmethode für Lerner mit unterschiedlichen Lernermerkmalen unterschiedlich hilfreich ist. Lernermerkmale, die einen Einfluss auf den Lernerfolg haben können, sind beispielsweise kognitive, motivationale und emotionale Eigenschaften des Lerners. In diesem Abschnitt werden (im Hinblick auf den Fokus der Arbeit) nur die kognitiven Lernermerkmale thematisiert. Innerhalb der kognitiven Lernermerkmale kann zwischen allgemeinen Fähigkeiten (allgemeine Intelligenz, sprachliche und räumliche Intelligenz) und domänenspezifischen Fähigkeiten (Vorwissen) unterschieden werden.

Auch im Hinblick auf das Lernen mit Animationen ist die Rolle der Lernereigenschaften nicht außer Acht zu lassen. Man kann davon ausgehen, dass Vorwissen und andere kognitive Voraussetzungen wie räumliches Vorstellungsvermögen und Intelligenz beeinflussen, wie sehr ein Lerner von einer Animation profitiert oder vielleicht sogar beim Lernen behindert wird.

6.6.1 Räumliches Vorstellungsvermögen

Räumliches Vorstellungsvermögen kann beschrieben werden als „Fähigkeit zur Generierung von räumlichen Vorstellungsbildern aufgrund von Bild- und Textinformationen und die Durchführung mentaler Operationen mit diesen Vorstellungsbildern“ (Lewalter, 1997, S. 74). Wie schon in Kapitel 2.2 beschrieben, ist die Konstruktion mentaler Modelle ein wesentlicher Prozess beim Verstehen von Sachverhalten. Nach Brünken, Steinbacher und Leutner (2000) sind räumliche Fähigkeiten eine Voraussetzung für das Verstehen von Bildern und somit für das Konstruieren eines mentalen Modells (*ability as enhancer-Hypothese*). Räumliche Fähigkeiten ermöglichen einen erfolgreichen Wissenserwerb aus bildlichen Informationen und sind nützlich im Hinblick darauf, dass sie Informationen über Aussehen und Lage sowie über räumliche Beziehungen zwischen Objekten direkt vermitteln. In Bezug

auf die Nützlichkeit räumlicher Fähigkeiten für den Wissenserwerb existieren einige empirische Studien, von denen hier einige exemplarisch angeführt werden.

Lewalter (1997) fand in ihrer Studie zum Lernen mit Bildern und Animationen einen bedeutsamen Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens auf die Lernleistung. Bilder und (insbesondere) Animationen waren lernförderlich für Lerner mit geringem und mittlerem räumlichen Vorstellungsvermögen, aber auch für Lerner mit hohen räumlichen Fähigkeiten. Wobei bei dieser Lerngruppe kein Unterschied zwischen beiden Illustrationsformen zu ermitteln war. Bilder können also nicht nur den Wissenserwerb fördern bei Lernern mit hohen räumlichen Fähigkeiten, sondern können auch fehlende räumliche Fähigkeiten zu einem gewissen Grad kompensieren.

Sims und Hegarty (1997) untersuchten, ob die Leistung bei einer Aufgabe zur mentalen Animation (Flaschenzugsystem) im visuell-räumlichen oder im verbalen Arbeitsgedächtnis stattfindet. Dazu wurde das dual-task-Paradigma genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aufgabe der mentalen Animation mehr beeinträchtigt wird durch eine konkurrierende visuell-räumliche zweite Aufgabe als durch eine verbale zweite Aufgabe. Dies wird als Beleg gedeutet, dass die mentale Animation abhängig ist von den Ressourcen des visuell-räumlichen Notizblocks (Baddeley, 1995).

Einen empirischen Beleg für den Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zur mentalen Animation beziehungsweise der Fähigkeit, die Funktionsweise eines Systems mental zu simulieren und der Fähigkeit der räumlichen Vorstellung konnten Hegarty und Sims (1994) finden. Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass räumliche Fähigkeiten in Beziehung stehen zur Leistung beim Inferieren von Bewegungen aus einem statischen Bild (Flaschenzugsystem), aber die Strategien zur mentalen Animation unterschieden sich nicht zwischen Versuchspersonen mit hohen oder niedrigen räumlichen Fähigkeiten. Versuchspersonen mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten machten nur mehr Fehler. Dies bestätigen auch die Blickbewegungsanalysen: Die Strategien unterschieden sich nicht zwischen beiden Gruppen. Möglicherweise haben Personen mit niedrigem räumlichem Vorstellungsvermögen Schwierigkeiten, räumliche Veränderungen im Gedächtnis richtig durchzuführen oder sie haben weniger kognitive Ressourcen im visuellen Arbeitsgedächtnis.

Mayer und Sims (1994) führten eine Studie zum Lernen mit Animation plus Narration, die entweder simultan oder sequentiell präsentiert wurde und einer Kontrollgruppe ohne Treatment gegenübergestellt wurde, durch. Die Ergebnisse zeigen einen Kontiguitätseffekt, der besagt, dass eine gleichzeitige Präsentation von Animation und Narration zu höherem

Lernerfolg führt als eine Präsentation der Informationen nacheinander. Dieser Effekt ist stärker für Lerner mit hohen räumlichen Fähigkeiten als für Lerner mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten, was für eine *ability as enhancer*-Interpretation spricht. Lerner mit hohen räumlichen Fähigkeiten profitieren von der gleichzeitigen Präsentation von Animation und Erzählung, wohingegen Lerner mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten nicht von einer gleichzeitigen Präsentation profitieren. Im Rahmen der Theorie multimedialen Lernens (Mayer, 2005) können die Ergebnisse dadurch erklärt werden, dass es einen hohen kognitiven Aufwand bedeutet, eine visuelle Repräsentation zu konstruieren und sie im Gedächtnis zu behalten, um später referentielle Verbindungen zwischen visueller und verbaler Repräsentation herzustellen. Dies gelingt Lernern mit höheren räumlichen Fähigkeiten besser, weil sie mehr kognitive Ressourcen im räumlichen Arbeitsgedächtnis haben und leichter eine visuelle Vorstellung anhand der Animation konstruieren können.

Isaak und Just (1995) konnten zeigen, dass räumliche Fähigkeiten die korrekte Wahrnehmung einer Radlinie/Radlaufkurve beeinflussen. In ihrer Studie waren Probanden mit hohen räumlichen Fähigkeiten weniger empfänglich für eine Sinnestäuschung als Probanden mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten.

Blake (1977) untersuchte das Lernen von Bewegungsabfolgen beim Schachspielen mit einer Animation, einer teilweisen animierten Darstellung und statischen Bildern. Die Ergebnisse zeigen im Hinblick auf das räumliche Vorstellungsvermögen einen positiven Effekt der Animationen gegenüber den statischen Bildern bei Lernern mit niedrigeren räumlichen Fähigkeiten.

Die hier aufgeführten Studien sprechen eine eindeutige Sprache im Hinblick auf die Rolle des räumlichen Vorstellungsvermögens beim Lernen mit Bildern. Bilder können geringere räumliche Fähigkeiten kompensieren, indem sie die zur Konstruktion des mentalen Modells benötigten Informationen auf adäquate Weise, in diesem Fall strukturell analog, bereitstellen. Insofern profitieren Lerner mit geringeren räumlichen Fähigkeiten von Bildern und Animationen, weil ihnen kognitive Prozesse abgenommen werden, zu denen sie sonst nicht in der Lage wäre (Supplanationskonzept; Salomon, 1979; siehe Abschnitt 6.4). Abschließend sei hier eine Meta-Analyse von Höffler (2010) erwähnt, in der ein Vorteil von Lernern mit hohen räumlichen Fähigkeiten beim Lernen mit Bildern gefunden werden konnte. Außerdem konnte gezeigt werden, dass Lerner mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten zum einen von Animationen im Vergleich zu Standbildern und zum anderen von einer 3D-Darstellung im Vergleich zu einer 2D-Darstellung profitieren.

6.6.2 Vorwissen

Lewalter (1997) unterscheidet zwischen darstellungsspezifischem und themenspezifischem Vorwissen. *Darstellungsbezogenes Vorwissen* stellt dabei das Wissen über Darstellungskonventionen und Steuerungscode dar. Darstellungskonventionen bezeichnen die Einhaltung und Anwendung von Darstellungscodes, welche alle Bildelemente umfassen, die den Bildinhalt darstellen. Steuerungscode sind diejenigen Darstellungsformen, die der Unterstützung der Informationsextraktion dienen, wie beispielsweise Pfeile oder farbliche Hervorhebungen (Weidenmann, 1994a). Diese Fähigkeit, Bilder zu „lesen“ kann man als *visual literacy* bezeichnen (Weidenmann, 2006). Das Wissen über Darstellungskonventionen und Steuerungscode hilft dem Betrachter, Bilder leichter zu enkodieren und die Informationen des Bildes dementsprechend auch zu nutzen.

Neben darstellungsspezifischem Vorwissen spielt das *themenspezifische Vorwissen* bezüglich des zu lernenden Inhalts eine wesentliche Rolle. Ausgehend vom Wahrnehmungszyklus von Neisser (1979) werden durch aufgenommene Informationen relevante kognitive Schemata aktiviert (bottom-up-Prozesse). Diese aktivieren wiederum absteigend (top-down) weitere Schemata (siehe dazu auch das Modell von Schnotz & Bannert, 1999; 2003). So leitet das vorhandene Vorwissen die Suche nach Informationen in einem Bild. Aufmerksamkeit wird bei der absichtsvollen, zielgerichteten Verarbeitung gelenkt durch die Aktivierung bestimmter Schemata. Vorhandenes Wissen wird mit den Informationen aus dem Bild abgeglichen. So können, wenn viel Vorwissen vorhanden ist, zu konstruierende mentale Modelle auf der Basis vorhandenen Vorwissens elaboriert werden. Auf diese Weise können Bilder leichter und „richtiger“ verstanden werden.

Es existiert eine Reihe von Studien zum Einfluss des Vorwissens beim Bildverstehen (Clarke, Ayres & Sweller, 2005; Hegarty & Just, 1989; Hegarty & Just, 1993; Hegarty & Kriz, 2008; Lewalter, 1997; Mayer & Gallini, 1990; Schnotz, 2002b; Schnotz & Rasch, 2005; Yabus, 1967), die insgesamt auf einen positiven Zusammenhang zwischen Vorwissen und Lernerfolg hindeuten.

Lowe (1993, 1996) untersuchte die Rolle des Vorwissens beim Lernen zum Thema Wetterkarten. Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass sich Experten und Novizen hinsichtlich der mentalen Repräsentationen, die sie zum Inhalt konstruieren unterscheiden. Experten bilden die inhaltliche Tiefenstruktur ab, wohingegen Novizen nur bildliche

Oberflächenmerkmale, wie beispielsweise Linienverläufe, repräsentieren. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch beim Lernen mit animierten Wetterkarten (Lowe, 1996; 2008).

Lewalter (1997) liefert theoretische Begründungen für Einfluss des Vorwissens. So werden zum einen vorhandene Fertigkeiten beim Erwerb neuen Wissens genutzt, zum anderen hilft das Vorhandensein mentaler Modelle beim Aufbau neuen Wissens und zum dritten wird der Aufmerksamkeitsfokus durch Vorwissen beeinflusst. Dies kann sich allerdings auch negativ auswirken, wenn die neuen Informationen und das Vorwissen nicht zusammenpassen. Für eine positive Rolle des Vorwissens als Hilfsmittel zum Aufbau von Wissen sprechen auch die Ergebnisse einer Studie von Joseph und Dwyer (1984), in der der Einfluss von Bildern mit unterschiedlichem Realismusgrad (Fotografie, Strichzeichnung, Mischform aus beidem [„Hybrid“]) auf das Lernen mit illustrierten Texten untersucht wurde. Lerner mit hohem Vorwissen profitierten am meisten von realistischen Bildern, was darauf hindeutet, dass das vorhandene Wissen als Basis dient und neues Wissen dort integriert werden kann. Lerner mit mittlerem Vorwissen profitierten am meisten von der Hybrid-Form, während Lerner mit geringem Vorwissen nicht von den Bildern profitierten.

Clarke et al. (2005) berichten eine Studie zum Einfluss des Vorwissens beim Lernen mit einer computerbasierten Lernumgebung. Es ging dabei um den Erwerb von Wissen über eine Strategie („spreadsheet skills“) und um den Erwerb inhaltlichen Wissens im Bereich Mathematik. Aus Sicht der Cognitive Load Theory ist das gleichzeitige Verarbeiten von vielen neuen Informationen aufgrund der Begrenztheit der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses lernhinderlich. Wenn aber eine Strategie bereits gelernt wurde, so kann sie aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen und angewendet werden. So sollte für Lerner mit wenig Vorwissen eine sequentielle Darbietung des Lernmaterials (erst Strategiewissen, dann inhaltliches Wissen) das Lernen erleichtern, während Lerner mit hohem Vorwissen diese Sequenzierung nicht benötigen und mit einem integrierten Format gut lernen. Die Ergebnisse zeigen signifikante Interaktionen zwischen dem Treatment (sequenziertes vs. integriertes Format) und dem Strategiewissen derart, dass Lerner mit wenig Vorwissen vom sequenzierten Format profitierten (Mathematik-Posttest), während Lerner mit hohem Vorwissen nicht vom instruktionalen Format beeinflusst wurden. Weiterhin wurde eine signifikante Interaktion zwischen Treatment und Vorwissen bezüglich der empfundenen kognitiven Belastung gefunden. Lerner mit hohem Vorwissen erlebten das integrierte Format als signifikant weniger anstrengend als das sequenzierte, während es keine Unterschiede für die Gruppe der Lerner mit niedrigem Vorwissen gab. Die Autoren sehen ihre Ergebnisse im Einklang mit

anderen empirischen Studien (Kalyuga et al., 2003; Schnotz & Rasch, 2005; 2008), wonach der Lernerfolg je nach Art der Instruktion durch den Grad des Vorwissens des Lerners unterschiedlich beeinflusst wird.

Hegarty und Just (1993) zeigten den Einfluss mechanischen Vorwissens beim Erlernen der Mechanik eines Flaschenzugsystems mit Text und Bild versus nur Text. Lerner mit mechanischem Vorwissen verstanden die Funktionsweise des Systems besser als Lerner mit niedrigem Vorwissen, und zwar in beiden Gruppen. Weiterhin zeigte ein zweites Experiment zur Analyse des Prozesses beim Lernen aus Text und Bild, dass Lerner mit niedrigeren mechanischen Fähigkeiten den Text länger lasen und öfter zwischen Text und Bild wechselten als Lerner mit höheren mechanischen Fähigkeiten. Außerdem betrachten sie das Bild tendenziell länger als Lerner mit höheren mechanischen Fähigkeiten.

In einer anderen Studie untersuchten Hegarty und Just (1989) die Blickbewegungen von Experten und Novizen beim Lernen mit Bildern und fanden Hinweise darauf, dass auch präattentive Prozesse abhängig vom Vorwissen sind. Während Experten das Bild gezielter und systematischer absuchten, waren die Blickbewegungen der Novizen eher auf irrelevante Bildteile gerichtet.

Schnotz (2002a) und Schnotz und Rasch (2005; 2008) untersuchten den Einfluss des Vorwissens beim Lernen mit Animationen versus statischen Bildern. Die Autoren nahmen an, dass sich für Lerner mit höheren Lernvoraussetzungen (Vorwissen und Intelligenz) Animationen lernförderlicher auswirken als statische Bilder, weil hier kognitive Prozesse ermöglicht werden, die beim Betrachten statischer Bilder nicht möglich sind. Für Lerner mit niedrigeren Lernvoraussetzungen sollten Animationen lernförderlich sein, weil hier die kognitiven Prozesse erleichtert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lernzeit beim Lernen mit Animationen erhöhte für Lerner mit höheren Lernvoraussetzungen (dies entspricht der Hypothese - kognitive Prozesse werden ermöglicht und brauchen mehr Zeit) und sich die Lernzeit für Lerner mit niedrigeren Lernvoraussetzungen verringert (dies entspricht der Hypothese - kognitive Prozesse werden erleichtert und brauchen weniger Zeit). Im Hinblick auf den Lernerfolg zeigte sich, dass Aufgaben, die die mentale Manipulation des Lernmaterials erforderten, von beiden Gruppen nach dem Lernen mit der Animation im Vergleich zu statischen Bildern besser beantwortet werden konnten. Bei Aufgaben, die eine mentale Simulation erforderten, waren unter den Lernern mit niedrigeren Lernvoraussetzungen diejenigen im Vorteil, welche mit statischen Bildern gelernt hatten. Lerner mit höheren Lernvoraussetzungen unterschieden sich nicht. Die Ergebnisse wurden

dahingehend interpretiert, dass Animationen eine *enabling* oder *facilitating function* haben (je nach Lernervoraussetzungen), diese *facilitating function* aber auch negativ sein kann, wenn der Lerner an der aktiven Ausführung kognitiver Prozesse gehindert wird, zu denen er aber selbst in der Lage ist. Eine weitere Studie ging der Analyse von Effekten der Lernerkontrolle auf den Lernerfolg nach (Schnotz, 2002a; Schnotz & Rasch, 2005; 2008). Wieder wurden Lerner mit hohem versus niedrigem Vorwissen untersucht. Es wurden Animationen, bei denen die Lerner selbstständig das Lernmaterial manipulieren konnten, verglichen mit Simulationen ohne Lernerkontrolle. Bezüglich der Aufgaben, die eine Manipulation der Animation erforderten („time-difference-questions“) zeigte sich ein Vorteil für die interaktive Animation gegenüber der Simulation für die Gruppe der Lerner mit hohem Vorwissen. Für Lerner mit niedrigem Vorwissen erwies sich die Simulation als lernförderlicher gegenüber der interaktiven Animation. Für Aufgaben, bei denen eine mentale Simulation erforderlich war, („circumnavigation-questions“) zeigte sich ein Vorteil der interaktiven Animation gegenüber der Simulation bei Lernern mit niedrigem Vorwissen, wohingegen sich keine Unterschiede zwischen beiden Animationsarten zeigte in der Gruppe der Lerner mit hohem Vorwissen. Animationen haben also für verschiedene Lernertypen unterschiedliche Funktionen. Während sie Lernern mit hohem Vorwissen kognitive Prozesse ermöglichen können, die sie ohne die Animation nicht ausführen könnten, erleichtern sie das Lernen dynamischer Inhalte für Lerner mit niedrigem Vorwissen. Aber dieser erleichternde Effekt kann auch hinderlich sein für den Lernerfolg, wenn Lerner an der Durchführung kognitiver Prozesse gehindert werden, die sich durchaus selbst durchführen könnten.

Dass bestimmte Lehrmethoden bei Lernern mit zu viel Vorwissen auch wenig effektiv oder sogar schädlich sein können, konnten Kalyuga und seine Kollegen (2003) zeigen. In ihrem Review diskutieren die Autoren verschiedene Studien, in denen Lernmaterialien, die für Novizen lernförderlich, sind ihre Wirkung bei Experten verlieren oder sogar lernhinderlich sind. Dieser sogenannte *expertise reversal-Effekt* (Kalyuga et al., 2003) wird auf Basis der Cognitive Load Theory (Chandler & Sweller, 1996; Chandler & Sweller, 1991; Sweller et al., 1998) auf eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses zurückgeführt. Aufgrund der Verarbeitung von (für den Experten) redundanten Informationen erhöht sich nach Ansicht der Autoren die kognitive Belastung. „Learners would have to relate and reconcile the related components of available long-term memory base and externally provided guidance. Such integration processes may impose an additional working memory load and reduce resources available for learning new knowledge“ (Kalyuga, 2007, S. 512). Mit dem Modell von Schnotz

und Bannert (1999, 2003) kann jedoch argumentiert werden, dass Lerner mit hohem Vorwissen durch die Bilder im Lernmaterial abgelenkt werden, möglicherweise inferiert die bildliche Information mit dem Vorwissen. Diese zusätzlichen Informationen werden nicht für die Modellkonstruktion benötigt, sie können aber auch nicht ausgeblendet werden. Visualisierungen sind also nicht generell hilfreich, sondern können den Verstehensprozess auch behindern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auch das Vorwissen, insbesondere thematisches Vorwissen, einen Einfluss darauf hat, in welchem Maß Lerner von bildlichem Lernmaterial profitieren. Bildliche Darstellungen eines zu lernenden Sachverhalts scheinen besonders für Lerner mit geringem Vorwissen nützlich zu sein für den Aufbau eines mentalen Modells. Hier können Defizite beim Aufbau mentaler Modell ausgeglichen werden durch die Bereitstellung externer bildlicher Informationen. Wenn zu viel Expertise vorhanden ist, können sich unter bestimmten instruktionalen Bedingungen aber auch negative Effekte des Vorwissens auf den Lernerfolg einstellen. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Passung von Lernmaterial und Lernermerkmalen.

7 Theoretische Überlegungen und Überblick über die empirischen Studien

7.1 Zusammenfassung und Herleitung der Fragestellungen der Arbeit

Animationen werden häufig genutzt, um Prozesse abzubilden und die dynamischen Eigenschaften von Lerninhalten hervorzuheben. Animationen können das Lernen dynamischer Inhalte unterstützen. Aufgrund ihrer *facilitating function* (Salomon, 1984; Schnotz & Lowe, 2008) können sie die Konstruktion mentaler Modelle erleichtern. Animationen können aber auch eine *enabling function* (Salomon, 1984; Schnotz & Lowe, 2008) haben, indem sie Lernern, die ohne die Animation aufgrund ihrer Beschränkungen der Arbeitsgedächtniskapazitäten nicht in der Lage wären, ein mentales Modell eines dynamischen Sachverhalts aufzubauen, das Lernen ermöglichen. Animationen können andererseits auch zu einer „illusion of knowing“ führen, da beim reinen Betrachten der dynamischen Informationen unter Umständen keine aktive Verarbeitung des Lernmaterials

stattfindet. Außerdem ist das Lernen mit Animationen verschiedenen Einschränkungen der menschlichen Informationsverarbeitung unterworfen.

Die Forschung zum Lernen mit Animationen hat sich bisher überwiegend mit dem Vergleich zwischen Animationen und Standbildern beschäftigt. Die Ergebnisse dieser Studien zeigen sehr heterogene Ergebnisse (Höffler & Leutner, 2007; Hegarty, Kriz & Cate, 2003; Schnotz et al., 1999; Tversky et al., 2002). Aufgrund der heterogenen Ergebnisse dieser Studien änderte sich der Fokus der Forschung hin zu der Frage, unter welchen Voraussetzungen Animationen das Lernen erleichtern können (Hegarty, 2004). Neben verschiedenen anderen Merkmalen von Animationen kann angenommen werden, dass der Aspekt der Geschwindigkeit von Animationen einen Einfluss hat auf die Wahrnehmung und Verarbeitung der dynamischen Informationen. Die zeitliche Gestaltung als instruktionales Mittel beim Lernen mit Animationen fand in der Forschung bisher wenig Beachtung. Fischer et al. (2006) konnten in ihrer Studie zeigen, dass sich verschiedene Geschwindigkeiten einer Animation unterschiedlich auf das Verstehen auswirken. Die Variation der Geschwindigkeit sollte die Aufmerksamkeitsverteilung und das Verstehen beeinflussen. Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass die Konstruktion eines dynamischen mentalen Modells beeinflusst werden kann durch die Manipulation der Darbietungsgeschwindigkeit.

Verarbeitung von Animationen

Die Konstruktion eines mentalen Modells geschieht auf zwei Ebenen. Auf der Ebene der Wahrnehmungsprozesse werden die Informationen aus der Darstellung extrahiert. Dabei spielt die perzeptuelle Verarbeitung des Lerners eine wichtige Rolle. Die perzeptuelle Verarbeitung von Animationen ist präattentiv und läuft automatisiert, unbewußt und mit geringem mentalen Aufwand ab. Sie ist primär bottom-up-gesteuert.

Die Sensitivität für räumlich-visuelle Kontraste ist begrenzt. Nur ein kleiner Teil von Informationen im Gesichtsfeld des Lerners (Gebiet des fovealen Sehens) kann wahrgenommen werden. Das Gebiet des peripheren Sehens nimmt dagegen nur grobe Unterschiede wahr und wird ungenauer, je weiter es von dem Gebiet des foveales Sehens entfernt ist. Die visuelle Aufmerksamkeit des Lerners befindet sich also an der Stelle, die der Lerner zu einem bestimmten Zeitpunkt mit dem Auge fixiert. Informationsaufnahme kann also betrachtet werden als eine Reihe von Fixationen auf ein Display. Dabei besteht bei Animationen das Problem, dass Bilder nur eine bestimmte Zeit sichtbar sind, der Aufmerksamkeitsfokus also nicht in unbegrenzt lange über das Display wandern kann, um alle relevanten Informationen zu entnehmen. Erfolgreiches Lernen mit Animationen ist

deshalb in hohem Maße abhängig von der Steuerung des Gebietes des fovealen Sehens auf die richtige Stelle zur richtigen Zeit (Schnotz & Lowe, 2008). Man kann sich das Lernen mit einer Animation als kontinuierliches Ausschneiden bestimmter Informationsteile der Animation über die Zeit hinweg vorstellen. Die räumlich-visuelle Selektivität kann durch eine Verringerung der Geschwindigkeit der Animation reduziert werden, so dass der Lerner Zeit hat, größere Informationsteile der Animation wahrzunehmen (Schnotz & Lowe, 2008).

Auch die zeitliche Wahrnehmung ist selektiv. Der Mensch verfügt über Wahrnehmungsschemata für das Erkennen von Bewegungen. Dieses Schemawissen beinhaltet allgemeines Wissen über typische Bewegungsmuster von z.B. Menschen oder Tieren und Erwartungen über zukünftige Bewegungen. Diese zeitlichen Muster sind invariant und obwohl sie zeitliche Veränderungen implizieren, sind sie relativ stabil.

Die Sensitivität für dynamische Kontraste ist begrenzt. Das Wachstum einer Pflanze ist beispielsweise aufgrund seiner Langsamkeit nur schwer zu beobachten, während andere Bewegungen für das menschliche Auge viel zu schnell sind. So ist das Wahrnehmen von Dynamik unter Umständen erst ab einer bestimmten Geschwindigkeit möglich. Insofern steht das Erkennen bestimmter zeitlicher Veränderungen in Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der Animation.

Ausgehend davon, dass komplexe Systeme aus miteinander verbundenen Teilen bestehen, kann das Verhalten solcher Systeme in das Verhalten dieser Teile zerlegt werden. Diese Teile wiederum können ihrerseits in Subteile mit einem bestimmten Verhalten zerlegt werden. Eine solche Partonomie von Ereignissen gründet eine Hierarchie der Dynamik, die aus verschiedenen Ebenen zeitlicher Mikrostrukturen und zeitlicher Makrostrukturen besteht. Während die zeitlichen Mikrostrukturen das Verhalten der Teile und Unterteile abbilden, entsprechen zeitliche Makrostrukturen dem Verhalten von Einheiten höherer Ordnung oder dem Verhalten des Gesamtsystems. Dementsprechend können Animationen mehrere Ebenen der Dynamik eines Sachverhaltes zeigen, welche unterschiedliche Bedeutungen für verschiedene Zwecke haben können. Für einige Zwecke können die Makroereignisse (zeitliche Makrostrukturen) wichtiger sein als Mikroereignisse sein, während für andere Zwecke Mikroereignisse wichtiger sein können als Makroereignisse.

Eine Animation kann demnach dynamische Ereignisse in unterschiedlichem räumlichen und zeitlichen Umfang zeigen. Während der Verarbeitung ist aber zu einer Zeit nur eine Auswahl der Ereignisse kognitiv zugänglich. Teile, die sich zu langsam bewegen ziehen möglicherweise zu wenig Aufmerksamkeit auf sich, während schnelle Bewegungen die

Kapazitäten der perzeptuellen Wahrnehmung übersteigen. Die Abspielgeschwindigkeit einer Animation kann die hierarchische Ebene, die hervorgehoben wird, beeinflussen. Je nachdem, in welcher Geschwindigkeit die Animation gesehen wird, werden verschiedene Teile von Informationen betrachtet/bearbeitet. Bei hoher Abspielgeschwindigkeit werden zeitliche Makrostrukturen betont, bei niedriger Abspielgeschwindigkeit werden zeitliche Mikrostrukturen hervorgehoben (Schnotz & Lowe, 2008). Durch das Hervorheben unterschiedlicher (Mikro- und Makro-) Strukturen werden Informationen auf unterschiedlichen (Mikro- und Makro-) Ebenen wahrgenommen und extrahiert. Dies führt zur Konstruktion unterschiedlicher mentaler Modelle. Mayer und Chandler (2001) gehen davon aus, dass bei der schrittweisen Bildung mentaler Modelle („progressive model building“, S. 393) zuerst Modelle der Teile des Prozesses konstruiert werden (*component model*), die dann in einem zweiten Schritt in ein mentales Modell über die Kausalität integriert werden (*causal model*). Bei der Präsentation von Lernmaterial (z.B. einer Animation) wäre es nun möglich, dem Lerner zuerst die Animation im Ganzen zu zeigen und danach Teilschritte der Animation zu präsentieren. Vorteil einer solchen Vorgehensweise ist, dass dem Lerner ein Kontext präsentiert wird, der dann im zweiten Schritt elaboriert wird. Dies entspricht der Idee des *zooming in* von Reigeluth (1989). Andererseits ist es auch möglich, dass Lerner von der Präsentation der gesamten Animation überfordert werden und die Animation so nicht als Kontext dienen kann. Wenn aber die segmentierte Animation zuerst gezeigt wird, können - entsprechend den Annahmen der progressiven Modellbildung - zuerst mentale Modelle der Teile des Lernmaterials gebildet werden, die dann beim Lernen mit der ganzen Animation in ein mentales Modell integriert werden können. Während es sich bei der schrittweisen Bildung mentaler Modelle bei Mayer und Chandler (2001) um eine Segmentierung von Prozessen handelt, die ein bestimmtes Ereignis beschreiben (die Entstehung von Blitzen), handelt es sich im Fall des Lerngegenstandes dieser Studie (Viertaktmotor) um ein zyklisches Ereignis mit einer Hierarchie von Ereignissen, die ineinander gebettet sind und gleichzeitig stattfinden. Diese dynamischen Hierarchieebenen können, wie schon beschrieben, durch Abspielgeschwindigkeit der Animation beeinflusst werden. Dabei ist anzunehmen, dass der Aufbau des mentalen Modells beeinflusst ist durch die wahrgenommene Hierarchieebene. Für unterschiedliche Zwecke können unterschiedliche Geschwindigkeiten von Animationen sinnvoll sein. Soll beispielsweise etwas über motorische Bewegungsabläufe eines Tieres gelernt werden, wird man eine langsame Abspielgeschwindigkeit wählen, wenn etwas über den Bewegungsradius eines Tieres in einem bestimmten Territorium in einem bestimmten

Zeitraum gelernt werden soll, wird man eine schnellere Abspielgeschwindigkeit der Animation wählen.

Lerner konstruieren mentale Modelle unter Hinzunahme bereits vorhandenen Wissens aus dem Langzeitgedächtnis. Es ist folglich anzunehmen, dass sich die Abspielgeschwindigkeit bei Lernern mit unterschiedlichem Vorwissen unterschiedlich auswirkt. Die Qualität der jeweils konstruierten mentalen Modelle sollte sich je nach (schneller und langsamer) Abspielgeschwindigkeit unterscheiden. Das heißt, die Basis, auf der ein weiteres mentales Modell gebildet wird oder das als Ausgangspunkt für eine Erweiterung oder Ausdifferenzierung eines weiteren mentalen Modells gilt, unterscheidet sich. Demnach sollte es einen Unterschied machen, ob man eine Animation zuerst schnell und dann langsam sieht oder umgekehrt. Man kann bei der Vermittlung dynamischer Inhalte durch Animationen auf zwei verschiedene Weisen vorgehen: (1) eine fortschreitende Ausdifferenzierung: die Animation wird erst schnell abgespielt, um globale Schemata der zeitlichen Veränderung hervorzuheben, danach wird die Animation langsam abgespielt, um lokale Schemata hervorzuheben (Elaborations-Modell; Reigeluth & Stein, 1983) und (2) vom Einfachen zum Komplexen: die Animation wird zuerst langsam abgespielt, um lokale Schemata hervorzuheben, anschließend wird die Animation schnell abgespielt, um die Schemata der zeitliche Veränderung hervorzuheben.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Medium Animation im Hinblick auf die Eigenschaft der Dynamik differenziert zu untersuchen. Als Lernthema wurde hier der Viertaktmotor gewählt, da davon auszugehen war, dass er sich aufgrund seiner räumlichen und zeitlichen Struktur besonders für die Vermittlung von Wissen über die Funktionsweise eines mechanischen Systems und damit für den Aufbau funktionaler mentaler Modelle (vgl. z.B. Hegarty et al., 2003) eignet. Die Studien der Arbeit dienten dem Ziel, den Einfluss der Abspielgeschwindigkeit einer Animation auf das Wahrnehmungsprofil und den Lernerfolg zu untersuchen. Dabei ging es um die folgenden Fragen:

Hat die Abspielgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz der dynamischen Hierarchieebenen?

Wie werden dynamisch dargestellte Sachverhalte perzeptuell und kognitiv verarbeitet?

Welches Geschwindigkeitsmuster, das heißt welche Sequenz von Animationsgeschwindigkeiten eignet sich am besten für den Aufbau mentaler Modelle?

7.2 Überblick über die empirischen Studien

Zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfragen wurden eine Animation zum Thema Viertaktmotor und ein Wissenstest zur Prüfung des Wissenserwerbs auf unterschiedlichen dynamischen Hierarchieebenen entwickelt. Dieses Material kam in allen vier aufeinander aufbauenden Studien zum Einsatz. Allerdings gab es je nach konkreter Fragestellung der einzelnen Studien Anpassungen des Lernmaterials.

Ziel der *Pilotstudie* war die Optimierung des Lernmaterials im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Geschwindigkeiten und eine angemessene Lernzeit sowie die Überprüfung der entwickelten Wissenstests zur Erfassung des Vorwissens und des Lernerfolgs. In dieser Studie ging es in erster Linie darum, herauszufinden, ob sich die Animation zur Vermittlung von Wissen über den Viertaktmotor eignet. In der Pilotstudie wurde eine Version der Animation eingesetzt, bei der der Lerner die Möglichkeit hatte, zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten und Ansichten des Motors selbst zu wählen. So sollte zum einen Aufschluss darüber gewonnen werden, welche Animationsgeschwindigkeiten als angemessen schnell und langsam gelten können. Zum anderen sollte untersucht werden, ob und wie Lerner die interaktiven Möglichkeiten der Animation nutzen.

Studie 1 beschäftigte sich mit der Frage nach dem Einfluss verschiedener selbstgewählter Animationsgeschwindigkeiten auf den Erwerb von Wissen über Mikro- und Makroereignisse. Die Studie ging der Frage nach, ob man tatsächlich durch verschiedene Geschwindigkeiten bestimmte dynamische Ebenen betonen kann. Außerdem sollte die Nutzung verschiedener Darstellungsperspektiven (Frontansicht, Seitenansicht) untersucht werden. Zum Einsatz kam hier eine modifizierte Version des Lernmaterials aus der Pilotstudie.

Studie 2 hatte das Ziel, mittels Blickbewegungen die der Verarbeitung von Animationen zugrundeliegenden perzeptuellen und kognitiven Prozesse zu untersuchen. Hier ging es zum einen darum, herauszufinden, ob sich die Beeinflussung der perzeptuellen Salienz durch verschiedene Geschwindigkeiten einer Animation in den Daten einer Blickbewegungsuntersuchung abbilden lässt. Außerdem ging die Studie der Frage nach,

welchen Einfluss unterschiedliche Arten der Sequenzierung (schnelle Geschwindigkeit vor langsamer Geschwindigkeit vs. langsame Geschwindigkeit vor schneller Geschwindigkeit) auf den Lernerfolg und damit auf den Aufbau mentaler Modelle haben. Die hier eingesetzte Version der Animation war nicht vom Lerner zu steuern. Sowohl die Anordnung der Perspektiven als auch die Einstellung der Geschwindigkeiten war vorgegeben.

Studie 3 beschäftigte sich schließlich mit der Frage, ob die Abspielgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz der dynamischen Hierarchieebenen hat. Im Speziellen ging es hier um die Frage des Einflusses verschiedener Sequenzen von Geschwindigkeiten auf den Lernerfolg. Das Design entsprach dabei dem von Studie 2 allerdings ohne den Einsatz der Blickbewegungsmessung und erweitert um eine zusätzliche Zwischentestung des Wissens nach jeder Animationssequenz. Die Zwischentestung diente dazu, eine genauere Vorstellung davon zu bekommen, wie mentale Modelle in Abhängigkeit von einer bestimmten gesehenen Geschwindigkeit aufgebaut werden und damit die Frage danach zu beantworten, ob das in Sequenz 1 erworbene Wissen als Basis für die Verarbeitung der in der zweiten Sequenz präsentierten Informationen dient.

II Empirische Untersuchungen

8 Pilotstudie

8.1 Zielsetzung

Die Studien dieser Arbeit haben das Ziel, das Lernen mit Animationen unter dem Gesichtspunkt der Geschwindigkeit der Animation und der damit einhergehenden Betonung von dynamischen Mikro- und Makroprozessen zu untersuchen. Dazu wurde eine Animation zum Viertaktmotor als Lernmaterial entwickelt. Das Thema Viertaktmotor wurde gewählt, weil hier mechanische Vorgänge explizit dargestellt werden können. Weiterhin sind die gezeigten Vorgänge zyklisch, d.h. sie wiederholen sich und können unter verschiedenen Geschwindigkeitsbedingungen immer wieder beobachtet werden. Ein weiterer Punkt für die Wahl des Lernthemas Viertaktmotor ist die Möglichkeit, Mikro- und Makroereignisse zu definieren. Außerdem bietet das Thema die Möglichkeit, einen Wissenstest auf Basis von Kausalmodellen konstruieren zu können. Die Animation wird in Abschnitt 8.3.1 näher erläutert, die Konstruktion des Wissenstests wird in Abschnitt 8.3.2 thematisiert.

Ziel der Pilotstudie war die Testung des Lernmaterials. Dabei sollte zum einen überprüft werden, ob aus einer Animation ohne zusätzliche verbale Beschreibungen überhaupt etwas gelernt werden kann. Zum anderen diente die Pilotstudie der Ermittlung von geeigneten Geschwindigkeiten zur Darstellung der Vorgänge und der Beantwortung der Frage nach einer angemessenen Lernzeit. Außerdem sollte die Pilotstudie der Überprüfung der entwickelten (Prä- und Post-) Tests bezüglich der Gütekriterien Itemschwierigkeit und Trennschärfe dienen.

Es wurde zwar eine Reihe von Kontrollvariablen mit erhoben, diese spielten aber im Hinblick auf die Zielsetzung der Studie eine untergeordnete Rolle. Sie dienten in erster Linie der Überprüfung der Durchführbarkeit der Studie mit allen geplanten Instrumenten für spätere Studien.

8.2 Fragestellung

Aus der Zielsetzung der Pilotstudie ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Weisen die Items des Vorwissenstests sowie des Tests zur Überprüfung des Lernerfolgs zufriedenstellende Gütekriterien auf?
2. Kann mit einer Animation, die aus nur bildlichem Material besteht, gelernt werden?

3. Sind die angebotenen Geschwindigkeiten angemessen?
4. Ist die Lernzeit für das Lernen mit der Animation ausreichend?
5. Wie nutzen die Lerner die Animation im Hinblick auf die Interaktivität?
6. Gibt es Zusammenhänge zwischen Lernermerkmalen und Lernerfolg?

8.3 Methode

8.3.1 Lernmaterial

Als Lernmaterial kam eine Animation zur Funktionsweise des Viertaktmotors zum Einsatz. Die Darstellung des Viertaktmotors war schematisch gehalten. Um Effekte der Aufmerksamkeitssteuerung durch Einfärbungen zu vermeiden, wird nur die Zündung durch rote „Blitze“ dargestellt. Die Animation zeigt die vier Arbeitstakte des Viertaktmotors: Ansaugen, Verdichten, Arbeiten und Ausstoßen.

Die Animation war im Hinblick auf die Geschwindigkeit vom Lerner zu steuern. Zur Auswahl standen sieben verschiedene Geschwindigkeitsstufen von *langsam* (8 Durchgänge pro Minute) bis *sehr schnell* (96 Durchgänge pro Minute). Die Auswahl der Geschwindigkeiten erfolgte über einen Mausklick auf den jeweiligen Button.

Zur Betrachtung des Viertaktmotors standen zwei Ansichten zur Auswahl, eine Frontansicht mit den vier Zylindern und eine Seitenansicht. Die Frontansicht zeigt die vier Zylinder, Kurbelwelle, Nockenwelle, Kolben, Ein- und Auslassventil sowie die Zündkerze. Die Seitenansicht eines Zylinders macht die Zahnräder sichtbar, über die Kurbel- und Nockenwelle miteinander verbunden sind. Die gewählte Ansicht befand sich links auf dem Bildschirm groß dargestellt, die nicht gewählte Perspektive befand sich auf dem Bildschirm rechts unten klein dargestellt. Durch einen Mausklick auf die kleine Ansicht konnte diese ausgewählt werden. Die Animation startete im Standbild mit der ausgewählten Frontansicht. Durch Klicken auf einen Geschwindigkeits-Button wurde die Animation gestartet. In Abbildung 8.1 sind Screenshots der Animation zu sehen.

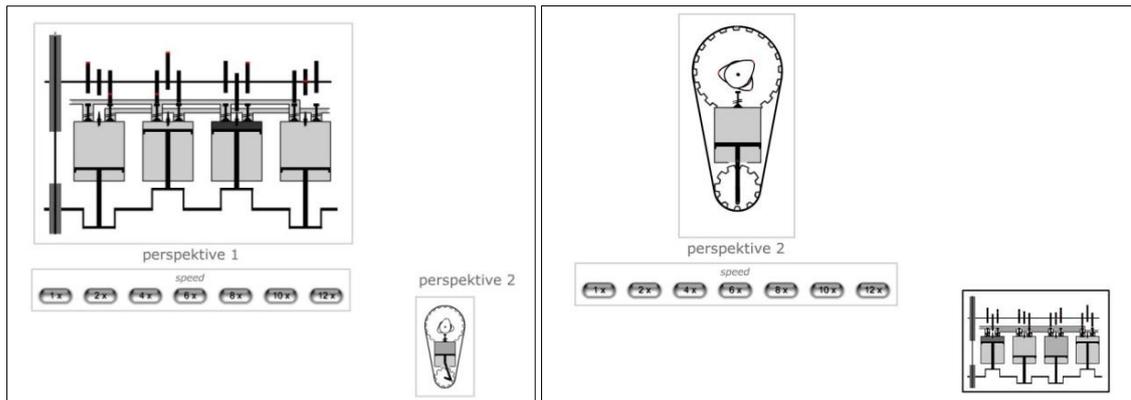


Abbildung 8.1. Screenshots des Lernmaterials, Front- oder Seitenansicht sind vergrößert.

Die Darbietung der beiden Perspektiven hat den Hintergrund, dass aus beiden Perspektiven unterschiedliche Vorgänge unterschiedlich gut beobachtbar sind. Damit im Zusammenhang steht die Annahme, dass sich die Perspektiven hinsichtlich ihrer Nützlichkeit für den Erwerb von Mikro- und Makrowissen unterscheiden. So sollte die Frontansicht die Arbeit des Kolbens, der Ventile und der Zündkerze innerhalb eines Zylinders gut sichtbar machen (Mikrowissen), während die Seitenansicht das Zusammenspiel von Kurbel- und Nockenwelle darstellt (Makrowissen).

Bevor die Animation selbst startet, wird ein Standbild eines Zylinders mit Beschriftung der einzelnen Teile gezeigt. Dieses Standbild (siehe Abbildung 8.2) ist für 45 Sekunden zu sehen. Die Präsentation des Bildes dient zum einen der Aktivierung von möglicherweise vorhandenem Vorwissen und zum anderen der Sicherstellung, dass Lerner ohne Vorwissen eine Terminologie zum Lernen und für die Bearbeitung des Wissenstests zur Verfügung zu haben.

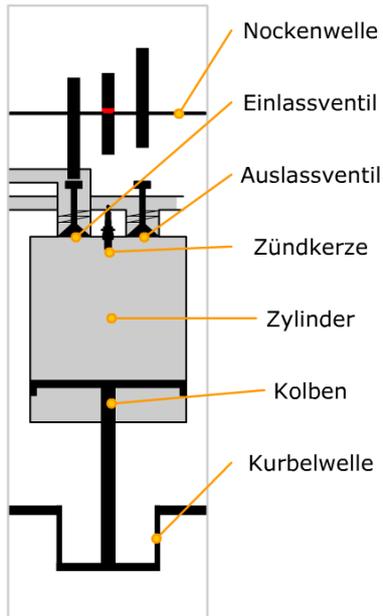


Abbildung 8.2. Standbild mit der bereitgestellten Terminologie des Viertaktmotors.

8.3.2 Messinstrumente

Im Folgenden werden nun die in der Studie zum Einsatz gekommenen Messinstrumente vorgestellt. Dabei sei darauf hingewiesen, dass hier auch Instrumente eingeführt werden und erhoben wurden (Motivation und Cognitive Load), deren Auswertung für die vorliegende Pilotstudie noch keine Rolle spielten. Diese Variablen wurden in der Pilotstudie allein zum Zweck der Prüfung der Durchführbarkeit der Studie im Hinblick auf weitere Studien miterhoben.

Lernerfolg

Wissen über mechanische Systeme besteht aus Wissen über die Komponenten des Systems und ihre Verbindungen und Beziehungen zueinander im Raum: *Konfiguration* des Systems. Einen weiteren Bestandteil des Wissens über mechanische Systeme bildet Wissen über die Bewegung der Komponenten und über den Einfluss von Bewegungen auf andere Komponenten: *Funktionsweise/Kinematik* des Systems (Brown & de Kleer, 1983; Hegarty et al., 2003). Die Funktionsweise des Systems beschreibt, wozu das System genutzt wird und wie diese Funktion erfüllt wird (Hegarty, 2005). “Central to this is knowledge of the causal chain or chains of events in the machine’s behavior” (Hegarty et al., 2003 S. 326).

Zur Konstruktion eines Tests zur Erfassung von Wissen auf verschiedenen hierarchischen Ebenen wurde auf das Konzept von mentalen Modellen nach Brown und de Kleer (1983)

zurückgegriffen. Demnach ist es möglich, ein physikalisches System in seine einzelnen Komponenten zu zerlegen (*Strukturmodell*) und intern als Komponentenmodell zu repräsentieren. Im mentalen Modell ist dabei jede Komponente und ihre möglichen Zustände repräsentiert (*Attributmodell*). Das Komponentenmodell ist die Grundlage für eine mentale Simulation des Systems, bei der durch Schlussfolgerungen die Funktionsweise des Systems erschlossen wird und ein sogenanntes *Kausalmodell* konstruiert wird. Ausgehend von diesen Überlegungen wurden in Anlehnung an Brown und de Kleer (1983) sowohl ein Kausal- als auch ein Attributmodell über den Lerninhalt entwickelt. Dabei wurde das System des Viertaktmotors zunächst in seine Komponenten zerlegt und jeder mögliche Zustand der einzelnen Komponenten beschrieben. Diese Modelle bildeten die Grundlage für die Konstruktion des Wissenstests. Ein Beispiel für ein Attributmodell des Einlassventils findet sich in Abbildung 8.3. Hier ist der Zustand *offen* der Komponente *Einlassventil* definiert.

Einlassventil	offen	Kurbelwelle ← 0°-179° Nockenwelle ← 0°-89° Kolben ← abwärts Zylinder ← gefüllt Auslassventil ← zu Zündkerze ← 0 Einlassnocken ← unten Auslassnocken ← nicht unten Zündnocken ← unten
---------------	-------	--

Abbildung 8.3. Ausschnitt aus dem Attributmodell als Basis für die Konstruktion des Wissenstests.

In einem zweiten Schritt wurde zwischen Ereignissen auf unterschiedlichen dynamischen Ebenen (Mikroebene, Makroebene) unterschieden. Dabei wurden alle Ereignisse für eine Durchgang des Arbeitens des Viertaktmotors aufgelistet und in Beziehung zueinander gesetzt (siehe Abbildung 8.4).

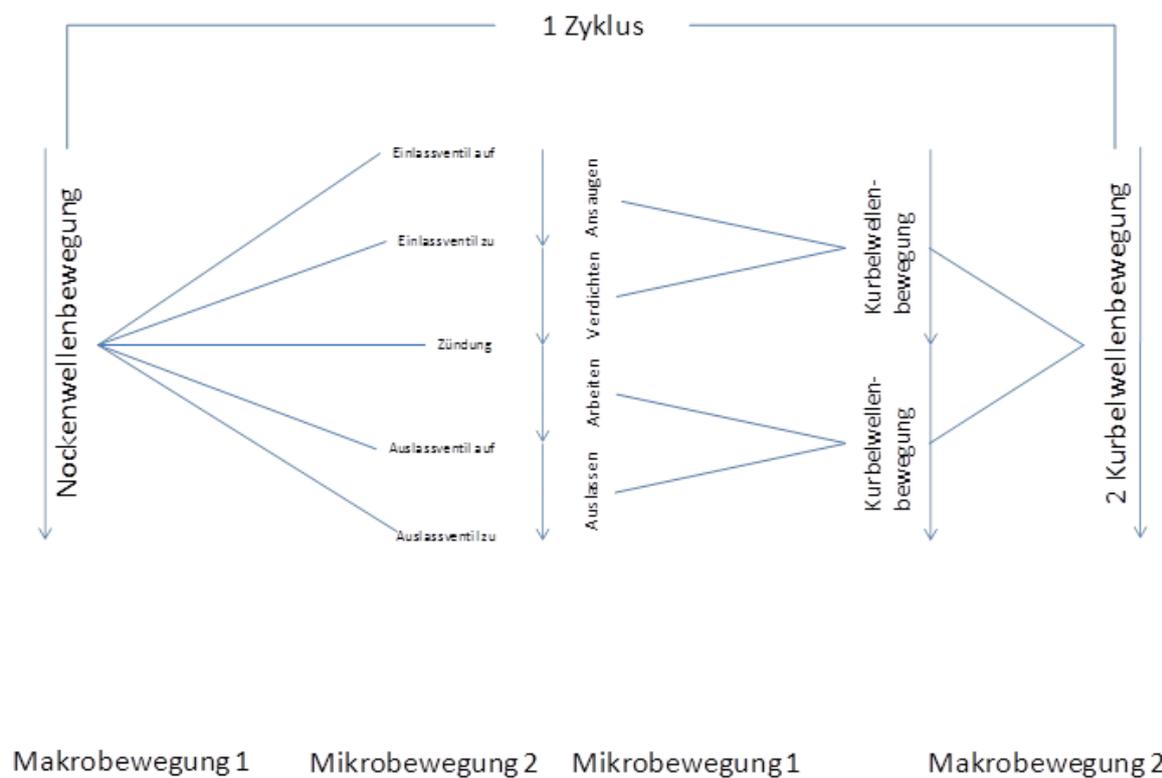


Abbildung 8.4. Darstellung der Ereignisse des Viertaktmotors auf verschiedenen hierarchischen Ebenen.

Das Ergebnis war ein Wissenstest mit 36 Aufgaben. Es gab zwei offenen Fragen, in denen die in der Instruktion bereitgestellte Terminologie abgefragt und eine kurze Beschreibung der Vorgänge im Viertaktmotor erfragt wurde. Außerdem gab es sieben Aufgaben, bei denen für eine Reihe von Aussagen angegeben werden musste, ob sie *wahr* oder *falsch* ist. Ein Beispiel für eine solche Aufgabe findet sich in Abbildung 8.5.

2. Das Gasgemisch wird eingesaugt, wenn		
das Auslassventil	[w] [f] geschlossen ist	[w] [f] geöffnet ist
das Einlassventil	[w] [f] geschlossen ist	[w] [f] geöffnet ist
der Kolben sich	[w] [f] nach unten bewegt	[w] [f] nach oben bewegt

Abbildung 8.5. Beispielaufgabe aus dem Wissenstest.

Weiterhin gab es 26 Multiple-Choice-Aufgaben mit bis zu 8 Antwortalternativen, wovon jeweils nur eine Antwortalternative die richtige war. Abbildung 8.6 zeigt ein Beispiel für eine dieser Aufgaben.

13. Wenn das Auslassventil offen ist, kann der Kolben	<input type="checkbox"/> nur nach oben gehen
	<input type="checkbox"/> nach oben oder unten gehen
	<input type="checkbox"/> nur nach unten gehen

Abbildung 8.6. Beispielaufgabe aus dem Wissenstest.

Der Wissenstest der Pilotstudie beschränkt sich dabei nur auf die Erfassung von Wissen über Mikroereignisse. Der Wissenstest findet sich in Anhang A1.

Vorwissen

Ausgehend von den theoretischen Vorüberlegungen und den Ergebnissen vieler empirischer Studien (vgl. Abschnitt 6.2.2), kann man annehmen, dass das Vorwissen einen Einfluss auf den Wissenserwerb hat. Im Hinblick auf das Vorwissen fand eine Unterscheidung zwischen thematischem Vorwissen (in Bezug auf den zu lernenden Sachverhalt) und generellem Vorwissen in der Domäne statt.

Zur Überprüfung des thematischen Vorwissens wurde ein kurzer Vorwissenstest eingesetzt (siehe Anhang A2). Dieser enthielt 9 Fragen zum Viertaktmotor, die durch Ankreuzen einer (in einem Fall mehrerer) Antwortalternativen bearbeitet werden konnte. Es standen zwischen zwei und vier Antwortalternativen zur Auswahl. Der maximal zu erreichende Wert in diesem Test waren 9 Punkte.

Domänenspezifisches Vorwissen wurde durch den Mannheimer Test zur Erfassung des physikalisch-technischen Problemlösens (MTP; Conrad, Baumann & Mohr, 1980) operationalisiert. Der Test besteht aus einem Testheft mit 26 Aufgaben in Form von physikalisch-technischen Zeichnungen, die zum Teil praktische, zum Teil theoretische Probleme ansprechen. Pro Aufgabe gibt es 5 Antwortalternativen zwischen denen gewählt werden muss. Dabei wird in der Instruktion ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Ratefehler das Testergebnis verschlechtern. Der maximal zu erreichende Wert in diesem Test beträgt 26 Punkte. Cronbachs α für den MTP in der Pilotstudie betrug $\alpha = .80$.

Räumliche Fähigkeiten

Auf die Bedeutung räumlicher Fähigkeiten beim Lernen mit Bildern wurde in Kapitel 6.6.1 eingegangen. Dabei konnte gezeigt werden, dass Lerner mit hohen räumliche Fähigkeiten von Animationen profitieren, weil die für die Konstruktion des mentalen Modells zur Verfügung stehenden kognitiven Ressourcen im räumlichen Arbeitsgedächtnis bei Lernern mit höheren

räumlichen Fähigkeiten höher sind als bei Lernern mit niedrigeren räumlichen Fähigkeiten (Mayer & Sims, 1994). Animationen können Lerner mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten aber auch unterstützen bei der Konstruktion mentaler Modelle, indem sie dem Lerner kognitive Prozesse abnehmen (Supplanatationskonzept; Salomon, 1979). Es ist zu vermuten, dass räumliche Fähigkeiten auch beim Verstehen der Funktionsweise des Viertaktmotors von Bedeutung sind. Dabei ist anzunehmen, dass Personen mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten bei hoher Geschwindigkeit schneller an die Grenzen ihrer Verarbeitungskapazität stoßen und dadurch schlechtere Ergebnisse erzielen als Personen mit hohen räumlichen Fähigkeiten.

Zur Erfassung räumlicher Fähigkeiten wurde in dieser Studie der Paper-Folding-Test (PFT; Ekstrom, French, Harman & Dermen, 1976) eingesetzt. Hier besteht die Aufgabe darin, sich vorzustellen, wie ein quadratisches Stück Papier in mehreren Schritten gefaltet wird, um dann ein oder mehrere Löcher hinein zu stanzen. Die Beantwortung der Aufgabe besteht darin, aus 5 verschiedenen Abbildungen diejenige auszuwählen, die das Papier abbildet, nachdem es wieder auseinandergefaltet wurde. Der Test enthält 10 Aufgaben, für die 3 Minuten Zeit zur Verfügung stehen. Auch hier wirkt sich ein Ratefehler negativ auf die zu erreichende Punktzahl aus. Cronbachs α für den PFT in der Pilotstudie betrug $\alpha = .80$.

Perzeptuelle Fähigkeiten

Wie schon in Abschnitt 6.1.3 beschrieben, spielt die Wahrnehmung beim Lernen mit Bildern eine wichtige Rolle. Dies sollte ganz besonders für das Lernen mit Animationen gelten, da es sich hier um flüchtige bildliche Informationen handelt. Es ist demnach anzunehmen, dass die Fähigkeit, Dinge schnell und gut wahrnehmen zu können, einen Effekt auf den Lernerfolg hat. In dieser Studie wurde zur Messung perzeptueller Fähigkeiten der Embedded-Figure-Test (EFT; Witkin, Oltman, Raskin & Karp, 1971) eingesetzt. Dieser Test dient der Erfassung der Fähigkeit, Informationen aus einem Kontext herauszulesen. Der Testteilnehmer hat die Aufgabe, eine einfache Form in einer komplexen Figur zu finden. Die Linien der einfachen Form müssen dann im Testheft in der komplexen Figur nachgezeichnet werden. Der Test besteht aus drei Teilen mit 7, 9 und 9 komplexen Formen. Die Bearbeitungszeit des Tests beträgt insgesamt 12 Minuten. Cronbachs α für den EFT in der Pilotstudie betrug $\alpha = .80$.

Kognitive Belastung

Aus Sicht der Cognitive Load Theory kann zum einen für die Verringerung der kognitiven Belastung beim Lernen mit Animationen argumentiert werden, da Lernprozesse durch das

explizite Darstellen der Dynamik erleichtert werden (*facilitating function*; Schnotz & Rasch, 2008). Andererseits können Animationen die kognitive Belastung auch erhöhen, da die Informationen sehr flüchtig sind und viele Informationen in kurzer Zeit verarbeitet werden müssen bzw. Informationen für die weitere Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis behalten werden müssen.

Aber Animationen können auch als weniger anstrengend/einfach zu verstehen angesehen werden („television is easy, text is tough“; Salomon, 1984) und dementsprechend zu einer geringeren Investition von mentaler Anstrengung führen. Um zu kontrollieren, dass ein eventuell ausbleibender Lernerfolg in einer geringen mentalen Anstrengung oder zu hoher kognitiver Belastung begründet liegt, wurden diese Variablen mit erhoben. Dazu dienten zwei Items mit einer sechs-stufigen Antwortskala von „sehr leicht“ bis „sehr schwierig“ (Paas & van Merriënboer, 1993). Jeweils im Anschluss an die Animation und den Wissenstest wurde die kognitive Belastung mit folgender Frage erfasst: „Wie schwer fanden Sie das Lernen mit der Animation?“ beziehungsweise „Wie schwer fanden Sie es, die Fragen des Wissenstests zu beantworten?“. Außerdem wurde auch der „Mental Effort“ als Maß für tatsächlich investierte kognitive Ressourcen erhoben (Paas, & Van Merriënboer, 1993). Jeweils im Anschluss an die Animation und den Wissenstest wurde gefragt: „Wie stark haben Sie sich beim Lernen mit der Animation angestrengt?“ beziehungsweise „Wie stark haben Sie sich bei der Bearbeitung der Fragen angestrengt?“. Auf einer sechsstufigen Skala von „sehr wenig“ bis „sehr viel“ konnte die zutreffende Antwort ausgewählt werden.

Motivation

Wie schon in Abschnitt 5.1.2 erwähnt, können Bilder auch eine Motivationsfunktion haben. Eine hohe Motivation geht nach Paas und van Merriënboer (1993) mit einer besseren Lernleistung einher, da Lerner mit hoher Motivation mehr kognitive Ressourcen für die Verarbeitung des Lernmaterials aufwenden als Lerner mit geringer Motivation. Es ist also davon auszugehen, dass die Motivation einen moderierenden Effekt auf die Lernleistung hat. In dieser Studie wird die Motivation zu zwei Zeitpunkten erfasst. Vor Beginn der Animation, nachdem die Probanden über die zu lösende Aufgabe (Animation) instruiert wurden, ist der komplette Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (FAM; Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) zu beantworten, am Ende der Animation eine gekürzte und adaptierte Version des FAM.

Der FAM besteht in der Langfassung aus 18 Items, die auf einer siebenstufigen Skala von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“ zu beantworten sind (siehe Anhang A3). Er setzt sich aus den

vier Faktoren „Misserfolgsbefürchtung“, „Erfolgswahrscheinlichkeit“, „Interesse“ und „Herausforderung“ zusammen. In verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Stichproben wurden für die vier Subskalen Konsistenzen zwischen Cronbachs $\alpha = .66$ und $\alpha = .90$ gefunden.

Für den Einsatz in dieser Studie wurde der Test bezüglich der Formulierung einzelner Fragen leicht angepasst. Die gekürzte Form enthält noch zehn Items, die so umformuliert wurden, dass sie eine rückblickende Bewertung der Aufgabe erlauben (siehe Anhang A4) und die Motivation im Hinblick auf die Bearbeitung des Lerntests erfassen. Das Antwortformat reicht wiederum von „trifft nicht zu“ bis „trifft zu“, allerdings in der gekürzten Version auf einer sechsstufigen Skala.

Interaktive Steuerung als Verhaltensvariable

Um das Verhalten der Lerner in Bezug auf die Nutzung der verschiedenen Geschwindigkeiten sowie der beiden zur Verfügung stehenden Perspektiven analysieren zu können, wurde das Nutzungsverhalten während der Animation in Form von Logfiles gespeichert. Mit dieser Verhaltensvariablen wurde aufgezeichnet, wie lange mit welcher Geschwindigkeit gelernt wurde und wie lange jede Perspektive insgesamt betrachtet wurde. Außerdem geben die Logfiles Auskunft darüber, wie oft zwischen den Geschwindigkeiten und Perspektiven gewechselt wurde.

8.3.3 Design

Die Pilotstudie war als explorative Studie angelegt. Sie diente der Überprüfung der entwickelten Wissenstests sowie der Evaluation des Lernmaterials. Außerdem sollte das Nutzungsverhalten beim Lernen mit der interaktiven Animation untersucht werden. *Abhängige Variable* war das Ergebnis des Wissenstests. Als *unabhängige Variablen* wurden das Vorwissen zum Viertaktmotor, die physikalisch-technische Problemlösefähigkeit (MPT), räumliche Fähigkeiten sowie perzeptuelle Fähigkeiten erhoben. Außerdem wurden die Motivation und die kognitive Belastung erhoben. Diese wurden aber im Zusammenhang mit der Pilotstudie nicht analysiert, sondern wurden nur zum Zweck der Prüfung der Durchführbarkeit für weitere Studien mit erhoben.

8.3.4 Stichprobe

Die Stichprobe bestand aus 35 Studierenden (13 männlich und 22 weiblich) mit einem durchschnittlichen Alter von 25.37 Jahren ($SD = 6.43$, $Min = 18$, $Max = 46$). Die

Versuchspersonen erhielten zwei Versuchspersonenstunden oder 10€. Zwei Versuchspersonen wurden aus den Analysen ausgeschlossen, da von ihnen keine Verhaltensdaten zum Lernen mit der Animation vorlagen. Die endgültige Stichprobe, die für die Berechnungen herangezogen wurde, enthielt demnach 33 Probanden.

8.3.5 Durchführung

Die Pilotstudie fand im Wintersemester 2006/2007 an der Universität Koblenz-Landau statt. Für die Untersuchungen wurde der Experimentalraum der Abteilung „Allgemeine und Pädagogische Psychologie“ genutzt. Im Experimentalraum standen bis zu acht PC-Arbeitsplätze mit Monitoren, die eine Bildschirmgröße von 19" hatten, zur Verfügung. Die Untersuchung wurde von einem Testleiter durchgeführt, der die Probanden anhand eines angefertigten Testleiterskripts durch die Testsitzung führte.

Zuerst wurde jedem Proband einer der zur Verfügung stehenden Computerarbeitsplätze zugewiesen. Nach der Begrüßung und der Erläuterung des Ablaufs der Untersuchung waren die Probanden zunächst aufgefordert, einen persönlichen Code zu erstellen und auf der ersten Seite des Testheftes einzutragen. Weiterhin war die Nummer des PCs, vor dem die jeweilige Person saß, einzutragen. Im daran anschließenden Fragebogen sollten die Studierenden Auskunft über demografische Daten geben. Es sollten Fragen nach dem Alter, Geschlecht, Schulabschluss, Art der Ausbildung/des Studium, aktuelle Tätigkeit und des Semesters, in dem man studiert (falls Student), beantwortet werden.

Als nächstes wurden die Studierenden gebeten, den Embedded-Figures-Test (EFT; Witkin et al., 1971) zu bearbeiten. Dafür standen ca. 15 Minuten zu Verfügung. Danach kam der Paper-Folding-Test (Ekstrom et al., 1976) zum Einsatz, dessen Bearbeitungszeit 5 Minuten betrug. Im Anschluss daran bearbeiteten der Studierenden den Mannheimer Test zur Erfassung des physikalisch-technischen Problemlösens (MTP; Conrad et al., 1980), wofür 25 Minuten zur Verfügung standen. Der Vorwissenstest zum Thema Viertaktmotor folgte im Anschluss. Die Bearbeitung des Vorwissenstest war nicht zeitbegrenzt, meist nahm die Bearbeitungszeit aber nicht mehr als 10 Minuten in Anspruch.

Nach dem Ausfüllen der Tests bekamen die Studierenden eine kurze Einführung über die Lernphase am PC. Dazu waren die Studierenden aufgefordert, ihren anfänglich im Testheft generierten persönlichen Code in ein Feld auf dem Computermonitor einzutragen und auf den Startbutton klicken. Auf der nun folgenden Instruktionseite wurde die Aufgabe zum Lernmaterial erläutert. Die Aufgabe war, die in der Animation gezeigten Vorgänge genau zu

beobachten und zu verstehen. Es wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, die Geschwindigkeit der Animation mithilfe von Buttons zu steuern sowie die Möglichkeit, zum Betrachten der Vorgänge zwischen zwei Perspektiven wählen zu können. Außerdem wurde für die nächste Seite die Abbildung eines Standbildes angekündigt, in dem die Bestandteile des Motors beschrieben sind. Die Namen der Bestandteile sollten die Studierenden sich merken. Nachdem die Versuchspersonen sich ein Bild machen konnten über die Aufgabe, die sie zu bearbeiten hatten, wurden sie gebeten, den Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation in der Langfassung (FAM; Rheinberger et al., 2001) auszufüllen. Im Anschluss daran wurde das Lernmaterial mit einem Klick auf einen grünen Pfeil gestartet. Zuerst sahen die Versuchspersonen die 45-sekündige Präsentationen des statischen Bildes eines Zylinders mit den jeweiligen Beschriftungen. Danach startete die Animation, für welche 180 Sekunden Lernzeit zur Verfügung standen.

Die Posttestphase wurde eingeleitet durch zwei Fragen zur kognitiven Belastung und zur mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation (Paas & van Merriënboer, 1993) sowie eine Frage zur Angemessenheit der vorgegebenen Lernzeit, die auf einer 6-stufigen Ratingskala von *sehr lang* bis *sehr kurz* einzuschätzen war. Darauf folgte der Fragebogen zur aktuellen Motivation in der Kurzfassung (FAM; Rheinberg et al., 2001). Im Anschluss daran wurden die Versuchspersonen gebeten, den Wissenstest zu bearbeiten. Die kognitive Belastung und die investierte mentale Anstrengung beim Bearbeiten des Wissenstests wurden mit zwei Fragen im Anschluss erfasst (Paas & van Merriënboer, 1993). Für die Posttestphase gab es keine Zeitbegrenzung, die Versuchspersonen konnten den Posttestfragebogen in ihrer eigenen Geschwindigkeit ausfüllen. Insgesamt dauerten die Untersuchungen ca. 90 Minuten und fanden als parallele Einzeluntersuchungen statt. Nachdem der Posttestfragebogen ausgefüllt war, wurden die Versuchspersonen mit entweder 10€ oder 2 Versuchspersonenstunden entlohnt.

8.3.6 Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen wurden mit der Software SPSS 20 für Windows durchgeführt. Zusammenhänge wurden mittels Korrelationen berechnet. Hier wurde auf der Grundlage intervallskalierter Daten der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r berechnet. Mittelwertsunterschiede wurden mittels t -Tests berechnet. Die statistischen Unterschiede wurden bei zweiseitiger Testung auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ überprüft. Kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten werden den Konventionen entsprechend kenntlich gemacht. Um

neben der statistischen Signifikanz auch Aussagen über die praktische Signifikanz der Ergebnisse machen zu können, werden Effektgrößen berichtet (Cohen, 1992). Für t -Tests wird das Differenzmaß d als Effektgröße angegeben. Cohen bezeichnet einen Effekt von $d = 0.2$ als kleinen, $d = 0.5$ als mittleren und $d = 0.8$ als großen Effekt. Die Voraussetzungen für den Einsatz der jeweiligen Tests wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung und dem Levene-Test auf Varianzgleichheit geprüft.

8.4 Ergebnisse

8.4.1 Itemanalyse

1. Weisen die Items des Vorwissenstests sowie des Tests zur Überprüfung des Lernerfolgs zufriedenstellende Gütekriterien auf?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden sowohl der Vorwissenstest als auch der Wissenstest im Hinblick auf Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und Interne Konsistenz geprüft.

Die Trennschärfe ist ein Kennwert dafür, wie gut ein Item des Tests das Gesamtergebnis des Tests repräsentiert (Bortz & Döring, 2003). Dazu wird eine Korrelation des Wertes des Items mit dem Gesamttestwert berechnet. Um die Korrelation durch den Einbezug des Items, mit dem der Gesamttestwert korreliert werden soll, nicht künstlich zu erhöhen, wird der korrigierte Trennschärfekoeffizient berichtet. Dieser wird auf der Grundlage des Gesamttestwertes berechnet, der das aktuelle Item nicht berücksichtigt. Trennschärfen zwischen $r_{ii} = .30$ und $r_{ii} = .50$ werden als mittelmäßig, Trennschärfekoeffizienten größer als $.50$ als hoch bezeichnet (Bortz & Döring, 2003).

Die Itemschwierigkeit gibt Auskunft darüber, wie groß der Anteil der Personen ist, die ein Item richtig lösen. Bei dichotom kodierten Items, wie sie im Fall der in dieser Arbeit genutzten Tests vorliegen, ist der Itemmittelwert der Index für die Schwierigkeit. Ein Item ist umso leichter, je höher der Itemmittelwert ist. Die Itemschwierigkeiten eines Tests sollten sich im mittleren Bereich (zwischen $p = .20$ und $p = .80$) bewegen, um Versuchspersonen mit unterschiedlichen Fähigkeiten annäherungsweise gleich gut differenzieren zu können (Bortz & Döring, 2002). Um die Aufgabenschwierigkeit von Aufgaben im Multiple-Choice-Format zu berechnen, wurde die Formel zur Berechnung von Schwierigkeitsindizes mit Zufallskorrektur verwendet (Amelang & Zielinski, 2004). So kann der Tatsache Rechnung getragen werden, dass allein durch Raten die richtige Lösung einer Aufgabe möglich ist. Die

Aufgabenschwierigkeit P berechnet sich folgendermaßen: $P = [N_R - [N_F/(m-1)]]/N$. Dabei ist N die Anzahl aller Probanden, N_R der Anteil der Personen, die die Aufgabe richtig gelöst haben, N_F ist der Anteil der Personen, die die Aufgabe falsch gelöst haben und $(m-1)$ stellt die Anzahl der Antwortmöglichkeiten minus 1 dar.

Die interne Konsistenz des Tests wird mit dem Maß Cronbachs α berichtet. Cronbachs α ist abhängig von der Anzahl der Items im Test und von den Item-Interkorrelationen und fällt umso höher aus, je mehr Items ein Test enthält und je höher die Items miteinander korrelieren.

Im Folgenden werden nun die Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und die interne Konsistenz für den Vorwissenstest berichtet. Für die Items 2 bis 9 wurde die Itemschwierigkeit mit Zufallskorrektur berechnet.

Tabelle 8.1 *Trennschärfen und Itemschwierigkeiten für den Vortest, Pilotstudie.*

Item	r_{it}	p
Item 1	.47	.03
Item 2	.33	-.05
Item 3	.36	.03
Item 4	.49	-.09
Item 5	.64	-.27
Item 6	.74	-.09
Item 7	.54	-.14
Item 8	.53	-.39
Item 9	.52	-.52

Das Cronbachs α der Vorwissenskala betrug $\alpha = .81$. Die Trennschärfen der Items können als mittelmäßig bis hoch bezeichnet werden. Die Itemschwierigkeiten befanden sich in einem sehr niedrigen Bereich. Dies dürfte auf die Tatsache zurückzuführen sein, dass es sich bei den Versuchspersonen um Personen mit sehr geringem Vorwissen bezüglich des Viertaktmotors handelt. Der Mittelwert des Gesamttestwerts im Vorwissenstest betrug 2.12 Punkte ($SD = 2.35$, $Min = 0$, $Max = 9$).

Im Folgenden werden die Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und die interne Konsistenz für den Wissenstest berichtet. Für die Items 7 bis 30 und 31 bis 36 wurde die Itemschwierigkeit mit Zufallskorrektur berechnet.

Tabelle 8.2 *Trennschärfen und Itemschwierigkeiten für den Wissenstest, Pilotstudie.*

Item	r_{it}	p
Item 1	.41	.84
Item 2	.51	.90
Item 3	.53	.76
Item 4	.46	.70
Item 5	.44	.59
Item 6	.51	.70
Item 7	.16	.80
Item 8	.42	.64
Item 9	.42	.92
Item 10	.55	.21
Item 11	.53	.64
Item 12	.41	.68
Item 13	.50	.45
Item 14	.36	.88
Item 15	.04	.88
Item 16	.47	.76
Item 17	.58	.52
Item 18	.27	.97
Item 19	.50	.45
Item 20	.32	.97
Item 21	.51	.64
Item 22	.64	.31
Item 23	.41	.70
Item 24	.60	.32
Item 25	.21	.59

Item 26	.41	.03
Item 27	.26	.45
Item 28	.43	.68
Item 29	.34	-.15
Item 30	-.01	-.17
Item 31	.66	.34
Item 32	.75	.31
Item 33	.67	.27
Item 34	.76	.17
Item 35	.68	.20
Item 36	.78	.13

Das Cronbachs α der Vorwissensskala betrug $\alpha = .91$. Die Trennschärfen der Items können als mittelmäßig bis hoch bezeichnet werden, wobei einzelne Items (Item 7, 15, 30) sehr niedrige Trennschärfen haben, was auf extreme Werte im Hinblick auf die Itemschwierigkeit (Item 7 und 15 sehr leicht, Item 30 sehr schwer) zurückzuführen ist. Die Schwierigkeit der Items liegt zu größten Teil im mittleren Bereich, mit einigen sehr schweren Items (Item 26, 29, 30, 34, 36) und einigen sehr leichten Items (Item 2, 9, 14, 15, 18).

8.4.2 Deskriptive Ergebnisse

2. *Kann mit einer Animation, die aus nur bildlichem Material besteht, gelernt werden?*

Zur Beantwortung dieser Frage werden zunächst deskriptive Statistiken des Vorwissenstests und des Wissenstests berichtet. Für den Vorwissenstest betrug die maximal zu erreichende Punktzahl 9, für den Wissenstest 36 Punkte.

Im Mittel wurden im Vorwissenstest 2.37 Punkte ($SD = 2.54$) erreicht. Der Vorwissenstest war für die Probanden eher schwierig. Dies entspricht den Erwartungen im Hinblick auf die Versuchspersonengruppe und das Thema der Animation. Außerdem ist geringes Vorwissen der Probanden für diese Studie ausdrücklich erwünscht, da der Lernerfolg in Abhängigkeit von der jeweils gesehenen Geschwindigkeit analysiert werden soll. Ausgehend von Ergebnissen verschiedener Studien zum Lernen mit Animationen (z.B. Lowe, 1998, 2003, 2004) kann man annehmen, dass insbesondere Novizen gelenkt werden von perzeptuell

salienten Merkmalen der Animation. Da es in der Studie genau darum geht, verschiedene Mikro- und Makroereignisse durch die Manipulation der Geschwindigkeit perzeptuell salient zu machen, ist es für die vorliegenden Studien zentral, dass nur Probanden mit geringem Vorwissen teilnehmen. Bei Probanden mit hohem Vorwissen kann die Frage nach dem Lernerfolg in Abhängigkeit von der jeweils gesehenen Geschwindigkeit nicht genau beantwortet werden, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese Personen die Fragen des Wissenstests auch unabhängig von der gesehenen Geschwindigkeit beantworten können.

Im Wissenstest wurden im Mittel 23.63 Punkte ($SD = 7.09$, $Min = 10.25$, $Max = 35.00$) erreicht, was einem Prozentwert von 65.63 ($SD = 19.70$, $Min = 28.47$, $Max = 97.22$) entspricht. Im Vorwissenstest beantworteten die Probanden im Mittel 26.35 Prozent der Aufgaben richtig ($SD = 28.24$, $Min = 0$, $Max = 100.00$). Die deskriptiven Ergebnisse deuten demnach darauf hin, dass während der Lernphase ein Zugewinn an Wissen stattfindet. Dabei ist einschränkend festzuhalten, dass beide Wissenstests nicht äquivalent sind. Die Anzahl der Items war im Vorwissenstest wesentlich geringer, da davon ausgegangen wurde, dass die Probanden wenig Vorwissen mitbringen und sie dementsprechend nicht schon zu Beginn der Untersuchung mit einem langen Wissenstest konfrontiert werden sollten.

3. Sind die angebotenen Geschwindigkeiten angemessen?

Um diese Frage beantworten zu können, wurde der Anteil der gewählten Geschwindigkeiten an der Lernzeit betrachtet. Tabelle 8.3 gibt einen Überblick über die deskriptiven Ergebnisse.

Tabelle 8.3: Prozentualer Anteil der gewählten Geschwindigkeiten an der Lernzeit, Pilotstudie.

Geschwindigkeit	$M (SD)$	Min	Max
0	11.25 (8.38)	1.11	37.78
1	64.38 (26.25)	0	97.22
2	9.19 (12.35)	0	55.00
3	5.47 (12.02)	0	51.67
4	1.13 (2.05)	0	8.33
5	2.39 (8.95)	0	51.11
6	1.41 (2.93)	0	12.22
7	1.58 (1.58)	0	5.56

Geschwindigkeit 0 ist die erste, voreingestellte „Geschwindigkeit“. Das Lernmaterial startete mit einem statischen Bild der Animation, welche mit dem ersten Klick auf einen der Geschwindigkeitsbuttons zum Starten gebracht wurde. In der Regel geschah dies relativ früh nach dem Beginn der Lernzeit. Außerdem war die Grundeinstellung der Animation so, dass bei jedem Wechsel der Perspektive zunächst wieder Geschwindigkeit 0 zu sehen war und die Animation mit der Wahl einer Geschwindigkeit per Klick gestartet werden musste. Die Ergebnisse zeigen, dass die langsamste Geschwindigkeit bevorzugt genutzt wurde. Alle anderen, schnelleren Geschwindigkeiten wurden zu wesentlich geringeren Anteilen genutzt. Die Ergebnisse der Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit zeigen einen mittleren Wert von 1.61 ($SD = 1.04$, $Min = 0$, $Max = 5.82$).

4. Ist die Lernzeit für das Lernen mit der Animation ausreichend?

Die Frage danach, ob die vorgegebene Lernzeit von 180 Sekunden auf einer 6-stufigen Skala als *sehr lang*, *lang*, *eher lang*, *eher kurz*, *kurz* oder *sehr kurz* eingeschätzt wurde, wurde im Mittel mit einem Wert zwischen *eher lang* und *eher kurz* beantwortet ($M = 3.39$, $SD = 1.10$, $Min = 2$, $Max = 6$). Die Verteilung der Häufigkeiten der Antworten zeigt Tabelle 9.4.

Tabelle 8.4: Häufigkeitsverteilung für die Frage nach der Einschätzung der Lernzeit, Pilotstudie.

Lernzeit	Häufigkeit	Prozent
sehr lang	0	0
lang	6	18.2
eher lang	14	42.4
eher kurz	10	30.3
kurz	0	0
sehr kurz	3	9.1
gesamt	33	100.0

5. *Wie nutzen die Lerner die Animation im Hinblick auf die Interaktivität?*

Zur Beantwortung der fünften Forschungsfrage wurde das Nutzungsverhalten im Hinblick auf die Anzahl der durchgeführten Aktionen insgesamt und getrennt nach Wechsel der Geschwindigkeiten und Wechsel der beiden zur Verfügung stehenden Perspektiven analysiert.

Insgesamt wurden im Mittel 9.91 ($SD = 5.32$, $Min = 1$, $Max = 22$) Aktionen im Sinne von Klicks durchgeführt. Die erste Aktion fand im Durchschnitt nach 13.35 Sekunden statt ($SD = 12.26$, $Min = 4$, $Max = 61$). Schaut man sich das Nutzungsverhalten getrennt für das Wechseln der Geschwindigkeit an, so ergibt sich eine durchschnittliche Anzahl von Klicks von 7.21 ($SD = 4.37$). Wobei hier zu beachten ist, dass mit jedem Perspektivenwechsel auch ein Geschwindigkeitswechsel einherging, da die neue Perspektive gemäß der Voreinstellung zunächst in der Geschwindigkeit 0 startete. Zwischen den Perspektiven wurde weit weniger gewechselt ($M = 1.85$, $SD = 1.37$). Auch die Betrachtung der Variable „Zeit pro Perspektive“ zeigt, dass die Frontansicht deutlich bevorzugt wurde. Im Mittel wurden 141.79 Sekunden ($SD = 38.62$) in der Frontansicht verbracht und 31.76 Sekunden ($SD = 28.49$) in der Seitenansicht.

6. *Gibt es Zusammenhänge zwischen Lernermerkmalen und Lernerfolg?*

Um diese Frage zu beantworten, wurden für die interessierenden Merkmale bivariate Produkt-Moment-Korrelationen (Pearsonscher Korrelationskoeffizient r) als Kennwert eines linearen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen berechnet. Die Voraussetzungen für den Einsatz des Tests wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft und waren für alle interessierenden Variablen erfüllt. Tabelle 8.5 zeigt die Korrelationen für den Wissenstest mit dem Vorwissen, der Fähigkeit des physikalisch-technische Problemlösens (MTP), räumlich-visuellen Fähigkeiten (PFT) und perzeptuellen Fähigkeiten (EFT).

Tabelle 8.5: *Korrelationen des Wissenstests mit Lernermerkmalen, Pilotstudie.*

	Vorwissen	MTP	PFT	EFT
Wissenstest	.57** .001	.53** .002	.51** .002	.33 .058

** Signifikanzniveau $<.01$ (zweiseitig), *Signifikanzniveau $<.05$ (zweiseitig)

Es konnte ein positiver signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorwissen (sowohl domänenspezifisch als auch thematisch) und dem Lernerfolg gefunden werden. Lerner mit Vorwissen konnten insgesamt mehr Wissen erwerben als Lerner ohne Vorwissen. Auch zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenstest wurde ein positiver signifikanter Zusammenhang gefunden.

8.5 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel der Studie war es, das erstellte Lernmaterial sowie die Tests zur Erfassung von Vorwissen und Lernerfolg zu untersuchen. Im Hinblick auf die Forschungsfrage 1 kann festgestellt werden, dass sowohl der Vorwissenstest als auch der Wissenstest eine gute (Vorwissenstest) bis exzellente (Wissenstest) interne Konsistenz aufweisen. Auch die Trennschärfen können in beiden Tests als zufriedenstellend bis gut bezeichnet werden. Die Itemschwierigkeiten wiesen im Vorwissenstest sehr niedrige Werte auf, was der Tatsache geschuldet ist, dass die Probanden insgesamt ein geringes Maß an Vorwissen aufwiesen. Dies ist für die Studien dieser Arbeit so intendiert, da es besonders im Hinblick auf die Erforschung des Erwerbs von Wissen aus Animationen mit verschiedenen Geschwindigkeiten interessant ist, den Aufbau mentaler Modelle zu erfassen. Lerner mit hohem Vorwissen in der Thematik können während der Bearbeitung des Lernmaterials auf bereits vorhandene mentale Modelle zurückgreifen und es kann angenommen werden, dass sie weniger durch die Darbietung der verschiedenen Geschwindigkeiten beeinflusst werden. Trotzdem soll der Vorwissenstest für den Einsatz in weiteren Studien überarbeitet werden.

Die Frage danach, ob mit einer Animation, die aus nur bildlichem Material besteht, gelernt werden kann (Forschungsfrage 2), kann nach der deskriptiven Analyse des Wissenstests mit ja beantwortet werden. Die Ergebnisse zeigten, dass Wissen erworben wurde. Das bedeutet, dass das Lernmaterial effektiv ist in dem Sinne, dass es geeignet ist, Wissen über die Funktionsweise des Viertaktmotors zu vermitteln. Wobei einschränkend zu erwähnen ist, dass die beiden Wissenstests nicht als äquivalent angesehen werden können.

Wenn man sich die Ergebnisse für die Nutzung der angebotenen Geschwindigkeiten ansieht (Forschungsfrage 3) kann man feststellen, dass die Probanden einen Großteil der Lernzeit in der langsamsten Geschwindigkeit verbrachten (64.38%). Schnellere Geschwindigkeiten wurden wesentlich weniger genutzt. Dies zeigt auch das Ergebnis der Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit, in der mit der Animation gelernt wurde. Im

Hinblick auf die Umsetzung der Geschwindigkeitspräsentation besteht also noch Nachbesserungsbedarf. In einer überarbeiteten Version des Lernmaterials sollte zumindest auf die schnellste Geschwindigkeit verzichtet werden. Schnellere Geschwindigkeiten sind aber bezüglich der Fragestellung der Arbeit durchaus wichtig. In dieser Pilotstudie wurde nur das erworbene Mikrowissen erhoben. Die Skala zur Erfassung des Makrowissens war zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie noch nicht fertig gestellt. In der Annahme, dass sich eine schnellere Geschwindigkeit positiv auf den Erwerb von Makrowissen auswirkt, ist es nötig, dem Lerner auch schnellere Geschwindigkeiten zu präsentieren. Die Frage ist, wie man den Lerner dazu bringt, auch diese weniger bevorzugten, weil vermutlich kognitiv zu anstrengenden, Geschwindigkeiten zu betrachten.

In Bezug auf die Frage nach der zur Verfügung stehende Lernzeit (Forschungsfrage 4) antwortete rund ein Viertel der Probanden, dass die Lernzeit eher zu lang war, weitere 30% fanden die Lernzeit eher zu kurz. Die Folgerung, die man für weitere Studien aus diesen Antworten ziehen kann ist, dass die 180 Sekunden Lernzeit als durchaus angemessen eingeschätzt werden kann.

Für die Analyse des Explorationsverhaltens (Forschungsfrage 5) beim Lernen mit der interaktiven Animation wurde die Anzahl der Geschwindigkeitswechsel und der Perspektivenwechsel betrachtet. Hier ist festzustellen, dass mehr Geschwindigkeitswechsel als Perspektivenwechsel vorgenommen wurden. Wobei diese Ergebnisse natürlich vor dem Hintergrund der Tatsache gesehen werden müssen, dass sich die Anzahl der Möglichkeiten der Einstellung für Geschwindigkeit und Perspektive unterschieden. Während man zwischen sieben verschiedenen Geschwindigkeiten wählen konnte, konnte man nur zwischen zwei Perspektiven wählen. Trotzdem ist festzuhalten, dass der größte Teil der Lernzeit in Perspektive 1 verbracht wurde. Perspektive 2 spielt aber, insbesondere im Hinblick auf den Erwerb von Makrowissen, eine wichtige Rolle. In einer Überarbeitung des Lernmaterials für weitere Studien sollte die Darstellung der Seitenansicht (Perspektive 2) noch einmal überarbeitet werden, um sie für den Lerner nutzbarer zu machen.

Die korrelativen Analysen der Zusammenhänge zwischen Lernermerkmalen und Lernerfolg (Forschungsfrage 6) spiegelt die in Kapitel 6.6 beschriebenen empirischen Befunde wieder. Sowohl Vorwissen als auch räumliche Fähigkeiten können als mit dem Lernerfolg in Zusammenhang stehende Lernermerkmale gesehen werden. Im Hinblick auf die perzeptuellen Fähigkeiten fanden sich keine Zusammenhänge mit dem Lernerfolg. Dieser Test wird in einer weiteren Studie nicht mehr zum Einsatz kommen.

Die darüber hinaus erhobenen Daten zur Motivation, mentalen Anstrengung und kognitiven Belastung wurden im Zusammenhang mit dieser Studie nicht ausgewertet. Die Forschungsfragen, die zur Erfassung dieser Variablen führen, spielten in der Pilotstudie keine Rolle. Die Variablen wurden allein zur Testung der Durchführung der Studie mit dem gesamten Untersuchungsmaterial im Hinblick auf weitere Studien erfasst.

9 Studie 1 – Wie funktioniert ein Viertaktmotor?

9.1 Zielsetzung

Ziel der zweiten Studie war die Überprüfung der Annahme, dass sich die perzeptuelle Saliens verschiedener Ebenen der Dynamik hervorheben lässt durch die Veränderung der Darbietungsgeschwindigkeit der Animation. Dazu wurde das Lernmaterial überarbeitet indem die zur Auswahl stehenden Geschwindigkeiten entsprechend den Ergebnissen der Pilotstudie verändert wurden. Auch die Darstellung der zur Auswahl stehenden 2D-Perspektiven wurde angepasst. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass auch aus der in der Pilotstudie vernachlässigten Seitenansicht für den Erwerb von Makrowissen wichtige Informationen entnommen werden können. Eine ausführliche Beschreibung des modifizierten Lernmaterials findet sich in Abschnitt 9.3.1.

9.2 Fragestellung und Hypothesen

Wie bereits in Abschnitt 6.2.1 ausgeführt, ist die räumliche und zeitliche Struktur von Animationen hierarchisch. Sowohl auf räumlicher als auch auf zeitlicher Ebene gibt es eine Reihe von untergeordneten Mikroentitäten und –ereignissen und übergeordneten Makroentitäten und –ereignissen. Von dieser Hierarchie von Ereignissen wird angenommen, dass sie durch eine geeignete Darbietungsgeschwindigkeit einer Animation in den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit einer Person gebracht werden kann. Diese Annahme begründet sich auf der Tatsache, dass die Sensitivität für dynamische Kontraste begrenzt ist. Sehr schnelle und sehr langsame Ereignisse liegen außerhalb des Spektrums der Sensitivität für dynamische Kontraste und können demnach nur schwer wahrgenommen werden. Vor diesem Hintergrund ist anzunehmen, dass das Erkennen zeitlicher Veränderungen in Zusammenhang steht mit der Darbietungsgeschwindigkeit einer Animation.

Die Konstruktion eines mentalen Modells geschieht auf zwei Ebenen. Auf der Ebene der Wahrnehmungsprozesse werden die Informationen aus der Darstellung extrahiert. Dabei spielt die perzeptuelle Verarbeitung des Lernalers eine wichtige Rolle. Für die kognitive Verarbeitung heißt das, dass je nach wahrgenommener Hierarchieebene unterschiedliche Informationen extrahiert und verarbeitet werden. Dabei wird die wahrgenommene Hierarchieebene beeinflusst durch die Geschwindigkeit der Animation: bei einer hohen Geschwindigkeit werden Makroereignisse betont, bei einer niedrigen Geschwindigkeit werden Mikroereignisse betont.

Aus diesen theoretischen Annahmen ergibt sich für Studie 1 folgende übergeordnete Forschungsfrage:

1. Hat die Darbietungsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz der dynamischen Hierarchieebenen?

Hypothese 1a: Eine langsamere Darbietungsgeschwindigkeit hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Mikrowissen.

Hypothese 1b: Eine schnellere Darbietungsgeschwindigkeit hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Makrowissen.

Die Animation wurde aus Gründen der Einfachheit nicht dreidimensional dargestellt, sondern in zwei verschiedenen 2D-Ansichten, von denen angenommen wird, dass sie Wissen über Mikro- und Makrowissen unterschiedlich gut vermitteln. In der Pilotstudie wurde die Seitenansicht des Motors nur zu einem geringen Anteil genutzt, weshalb sich für die folgende Studie (Studie 1) ein Änderungsbedarf ergab. Im modifizierten Lernmaterial werden beide Ansichten in gleicher Größe dargestellt. Um zu kontrollieren, mit welcher Ansicht gelernt wurde, ist aber weiterhin vom Lernaler zwischen beiden Ansichten zu wählen. Es wird angenommen, dass die Seitenansicht wichtige Informationen auf der Makroebene enthält, z.B. wird dort das Zusammenspiel zwischen Kurbelwelle und Nockenwelle deutlich während in der Frontansicht wichtige Informationen über Mikroereignisse zu beobachten sind, wie z.B. die Vorgänge in einem Zylinder (Bewegung der Ventile und des Kolbens). Um keine Perspektive zu bevorzugen, wird die Anordnung auf dem Bildschirm variiert. Die Forschungsfrage, die sich aus den Erläuterungen ergibt, lautet:

2. Haben verschiedene Darstellungsformen (2D-Ansichten des Motors) einen Einfluss auf den Wissenserwerb auf verschiedenen Hierarchieebenen?

Hypothese 2a: Das Lernen mit der Frontansicht hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Mikrowissen.

Hypothese 2b: Das Lernen mit der Seitenansicht hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Makrowissen.

Die Bedeutung von Lernermerkmalen wurde bereits in Abschnitt 6.6 thematisiert. Auch in der Pilotstudie konnten Zusammenhänge zwischen Lernermerkmalen und Wissenserwerb gefunden werden. Die Forschungsfragen bezüglich der Lernermerkmale in dieser Studie lauten:

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 3a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des thematischen Vorwissens (Vorwissenstest) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 3b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des domänenspezifischen Vorwissens (MTP) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Auch motivationale Variablen spielen beim Lernen eine Rolle. Es kann davon ausgegangen werden, dass Lerner mit einer hohen Motivation bessere Lernleistungen zeigen als Lerner mit einer niedrigen Motivation (Paas & van Merriënboer, 1993). Dieser Zusammenhang wird damit begründet, dass Lerner mit hoher Motivation mehr kognitive Ressourcen für die Verarbeitung des Lernmaterials aufwenden Lerner mit geringer Motivation. Die daraus folgenden Forschungsfragen lauten:

5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 6a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 6b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 6c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

Aus Sicht der Cognitive Load Theory lässt sich bezüglich der kognitiven Belastung, die ein Lerner beim Lernen mit einer Animation erlebt, in zwei Richtungen argumentieren. Einerseits ist es möglich, dass sich die kognitive Belastung gering ist aufgrund der Tatsache, dass Lernprozesse durch das explizite Darstellen der Dynamik erleichtert werden (*facilitating function*; Schnotz & Rasch, 2008). Andererseits ist es auch möglich, dass die kognitive Belastung ist, da die Informationen nur zeitlich begrenzt verfügbar sind und für die weitere Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen. Aus diesen theoretischen Überlegungen lässt sich folgende Forschungsfrage formulieren:

7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 7a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 7b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests und dem Wissenstestwert.

9.3 Methode

9.3.1 Lernmaterial

Das Lernmaterial in Studie bestand aus einer weiterentwickelten und verbesserten Animation der Pilotstudie. Die Animation war vom Lerner zu steuern. Es gab sechs verschiedene Geschwindigkeitsstufen zur Auswahl. Diese unterschieden sich von den Geschwindigkeitsstufen in der Pilotstudie dadurch, dass mit einer sehr viel langsameren Geschwindigkeit angefangen wurde. Während in der Pilotstudie die langsamste Geschwindigkeit 8 Zyklen pro Minute betrug, betrug sie nun 2 Zyklen pro Minute. Die schnellste Geschwindigkeit in Studie 1 wurde mit 24 Zyklen pro Minute dargestellt. Dies wurde realisiert, weil die Nutzung der langsamsten Geschwindigkeit in der Pilotstudie 67% betrug. Mit schnelleren Geschwindigkeiten wurde kaum gelernt.

Weiterhin hatten die Lerner die Möglichkeit, zwischen zwei verschiedenen Perspektiven zu wählen. Im Unterschied zur Pilotstudie waren diese Perspektiven in gleicher Größe dargestellt. Um zu kontrollieren, mit welcher Perspektive gelernt wurde, war jeweils eine Ansicht verdeckt dargestellt und konnte durch einen Mausklick aufgedeckt werden. Die bis dahin sichtbare Perspektive wurde dann verdeckt. Es war also nur eine Perspektive zu einer Zeit sichtbar. Um die Anordnung der Perspektiven auf dem Bildschirm zu kontrollieren, wurden zwei Versionen der Animation genutzt. In Version (A) war die Frontansicht auf der linken Seite und die Seitenansicht auf der rechten Seite des Bildschirms zu sehen, in Version (B) war die Seitenansicht auf der linken Seite und die Frontansicht auf der rechten Seite des Bildschirms zu sehen. Die Abbildung 9.1 zeigt Screenshots beider Versionen.

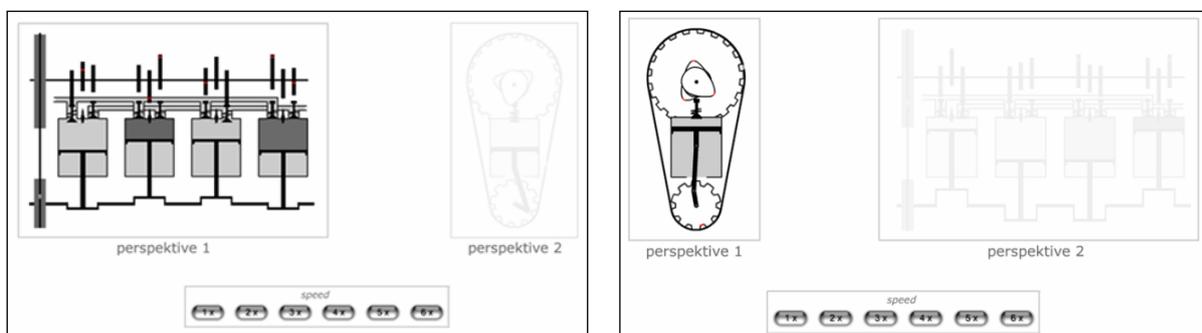


Abbildung 9.1. Screenshot Versionen A und B mit jeweils einer verdeckten Ansicht.

9.3.2 Messinstrumente

Lernerfolg

Der Wissenstest bestand aus 34 Multiple-Choice-Items zur Erfassung von erworbenem Wissen auf verschiedenen dynamischen Hierarchieebenen. Es gab 21 Items zu Mikroereignissen mit einer maximal zu erreichenden Punktzahl von 21 und 13 Items zu Makroereignissen mit einer maximal zu erreichenden Punktzahl von 13. Ein Items, das Wissen über Mikroereignisse abfragt, würde z.B. erfragen, welche Position das Einlassventil hat, wenn das verbrannte Gasgemisch ausgelassen wird. Ein Item, welches Wissen über Makroereignisse abfragt, würde beispielsweise Wissen über das Zusammenspiel von Kurbel- und Nockenwelle oder über die zeitliche Taktung aller vier Zylinder erfragen. Für die Konstruktion der Skala Mikrowissen wurde auf die Ergebnisse der Itemanalyse der Pilotstudie zurückgegriffen. Dabei wurde von den 36 Items des Wissenstests der Vorstudie zum einen auf Items mit sehr hohen Itemschwierigkeiten, zum anderen auf Items die inhaltlich große Ähnlichkeit zu anderen Items der Skala aufwiesen, verzichtet. Für die Konstruktion des Makrowissenstest sei auf Abschnitt 8.3.1 verwiesen. Die interne Konsistenz für beide Skalen war gut (Mikrowissen: Cronbachs $\alpha = .80$) beziehungsweise akzeptabel (Makrowissen: Cronbachs $\alpha = .58$). Der Wissenstest findet sich in Anhang B1.

Vorwissen

Zur Überprüfung des thematischen Vorwissens wurde ein kurzer Vorwissenstest eingesetzt (siehe Anhang B2). Aufgrund der hohen Itemschwierigkeitswerte des Vorwissenstest der Pilotstudie wurde der Test modifiziert. Der neue Vorwissenstest enthielt nun 8 Aussagen zum Viertaktmotor, die durch Ankreuzen der Antwortalternativen „richtig“, „falsch“ und „weiß ich nicht“ bearbeitet werden konnten. Außerdem enthielt der Vorwissenstest eine offene Frage zur Funktionsweise des Viertaktmotors. Daraus ergibt sich ein maximal zu erreichender Wert von 9 Punkten. Die interne Konsistenz für den Vorwissenstest betrug $\alpha = .40$.

Weiterhin kam der Mannheimer Test zur Erfassung physikalisch-technischen Problemlösens (MTP; Conrad et al., 1980) zum Einsatz. Für eine nähere Beschreibung des Instrumentes sei auf Kapitel 8.3.1 verwiesen. Cronbachs α betrug für den MPT $\alpha = .55$.

Räumliche Fähigkeiten

Die Erfassung von räumlichen Fähigkeiten erfolgte durch den Berliner Intelligenzstrukturtest Form 4 (BIS Form 4; Jäger, Süß & Beauducel, 1997). Der Test eignet sich für die allgemeine und strukturelle Intelligenzdiagnostik bei Jugendlichen und jüngeren

Erwachsenen mit mittlerer und höherer Schulbildung. Dabei basiert das Verfahren auf dem Berliner Intelligenzstrukturmodell (Jäger, 1982) und erfasst die operativen Fähigkeiten *Einfallsreichtum*, *Bearbeitungsgeschwindigkeit*, *Merkfähigkeit* und *Verarbeitungskapazität* und *verbale*, *figurale* und *numerische* inhaltsgebundene Fähigkeiten sowie das Integral dieser Fähigkeiten, die Allgemeine Intelligenz.

Für die vorliegende Studie wurde auf nur auf einzelne Skalen des BIS zurückgegriffen. Zum Einsatz kamen die bildhaften Aspekte der Intelligenz für die operativen Bereiche Verarbeitungskapazität und Bearbeitungsgeschwindigkeit. Bei der Verarbeitungskapazität handelt es sich um die Fähigkeit zur Verarbeitung komplexer Informationen bei Aufgaben, die nicht auf Antriebe zu lösen sind. Hier ist das sachgerechte Beurteilen von Informationen, vielfältiges Beziehungsstiften und formallogisch exaktes Denken erforderlich. Aufgrund des engen Zusammenhangs zur Arbeitsgedächtniskapazität als Kapazität zum simultanen Speichern und Verarbeiten sowie Koordinieren von Informationen kann davon ausgegangen werden, dass die Verarbeitungskapazität eine wichtige Fähigkeit zur Lösung der in dieser Studie gestellten Aufgabe darstellt. Abbildung 9.2 zeigt eine Aufgabe aus der Skala figurale Verarbeitungskapazität. Die interne Konsistenz der Skala betrug für Studie 1 $\alpha = .79$.

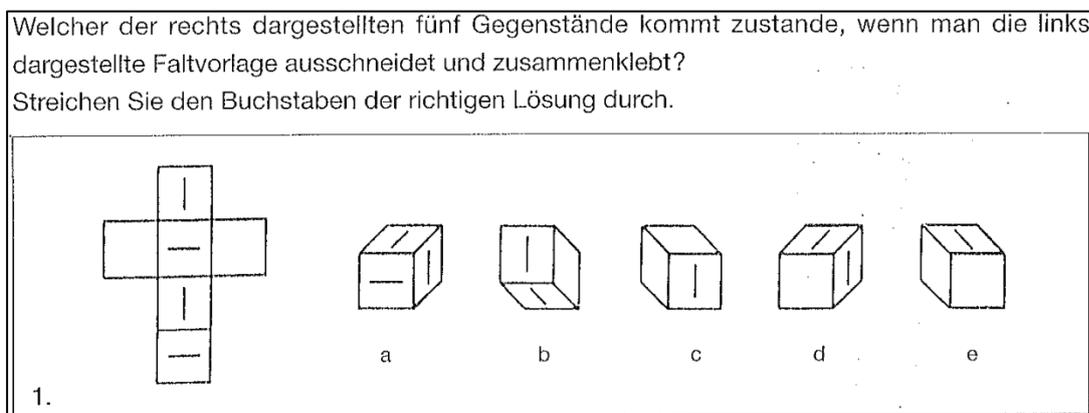


Abbildung 9.2. Beispielitem für die Skala figurale Verarbeitungskapazität des BIS (Jäger et al., 1997).

Die Operation Bearbeitungsgeschwindigkeit umfasst die Fähigkeit zu einem hohen Arbeitstempo, zu Auffassungsleichtigkeit und Konzentrationskraft beim Lösen einfach strukturierter Aufgaben von geringem Schwierigkeitsniveau (Jäger et al., 1997). Hier geht es vor allem darum, einfache Aufgaben konzentriert und in möglichst hoher Geschwindigkeit zu lösen. Ein Beispiel ist in Abbildung 9.3 dargestellt. Die interne Konsistenz betrug für die Skala figurale Bearbeitungsgeschwindigkeit $\alpha = .63$.

Tragen Sie die den Zahlen zugeordneten Symbole in die unteren Kästchen ein.
Lassen Sie kein Kästchen aus.
Arbeiten Sie **so rasch Sie können!**
Halten Sie sich **an die vorgegebene Reihenfolge!**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
—	∨	□	└	┘	○	∧	×	≡

3	1	2	1	3	2	1	4	2	3	5	2	3	1	4	6	3

1	5	4	2	7	6	3	5	7	2	8	5	4	6	3	7	2

Abbildung 9.3. Beispielitem für die Skala figurale Bearbeitungsgeschwindigkeit des BIS (Jäger et al., 1997).

Die Auswertung erfolgte nach den Richtlinien des Manuskripts (Jäger et al., 1997). Es werden allerdings keine Normwerte herangezogen, da der BIS bisher nur an einer Stichprobe von $N = 478$ Personen im Alter von 16-19 Jahren normiert wurde. Die Rohwerte werden für jeden Test summiert und zu den Skalen „Verarbeitungskapazität“ und „Bearbeitungsgeschwindigkeit“ zusammengefasst.

Kognitive Belastung

Wie auch in der Pilotstudie kamen zwei Items mit einer sechs-stufigen Antwortskala von „sehr leicht“ bis „sehr schwierig“ (Paas & van Merriënboer, 1993) zum Einsatz. Jeweils im Anschluss an die Animation und den Wissenstest wurde die kognitive Belastung mit folgender Frage erfasst: „Wie schwer fanden Sie das Lernen mit der Animation?“ beziehungsweise „Wie schwer fanden Sie es, die Fragen des Wissenstests zu beantworten?“. Außerdem wurde auch der „Mental Effort“ als Maß für tatsächlich investierte kognitive Ressourcen erhoben (Paas, & Van Merriënboer, 1993). Jeweils im Anschluss an die Animation und den Wissenstest wurde gefragt: „Wie stark haben Sie sich beim Lernen mit der Animation angestrengt?“ beziehungsweise „Wie stark haben Sie sich bei der Bearbeitung

der Fragen angestrengt?“. Auf einer sechsstufigen Skala von „sehr wenig“ bis „sehr viel“ konnte die zutreffende Antwort ausgewählt werden.

Motivation

Die Motivation bezüglich der zu lösenden Aufgabe (Animation) wurde im Anschluss an die Instruktion mit dem kompletten Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (FAM; Rheinberg et al., 2001; siehe Anhang A3) erfasst. Die internen Konsistenzen der einzelnen Skalen waren dabei als gut zu bewerten (Herausforderung: $\alpha = .70$; Interesse: $\alpha = .82$; Erfolgswahrscheinlichkeit: $\alpha = .82$; Misserfolgsbefürchtung: $\alpha = .87$). Nach Beendigung der Animation kam eine gekürzte und adaptierte Version des FAM zum Einsatz (siehe Anhang A4). Hier lag die interne Konsistenz bei $\alpha = .85$. Für eine genauere Darstellung der Instrumente zur Erfassung der Motivation siehe Abschnitt 8.3.1.

Interaktive Steuerung als Verhaltensvariable

Um das Verhalten der Lerner in Bezug auf die Nutzung der verschiedenen Geschwindigkeiten sowie der beiden zur Verfügung stehenden Perspektiven analysieren zu können, wurde das Nutzungsverhalten während der Animation in Form von Logfiles gespeichert. Mit diesen Verhaltensvariablen wurde aufgezeichnet, wie lange mit welcher Geschwindigkeit gelernt wurde und wie lange jede Perspektive insgesamt betrachtet wurde. Außerdem geben die Logfiles Auskunft darüber, wie oft zwischen den Geschwindigkeiten und Perspektiven gewechselt wurde.

9.3.3 Design

In Studie 1 wurde ein einfaktorielles Design mit dem Between-Subject-Faktor „Perspektivenanordnung“ eingesetzt. Ein Teil der Probanden bearbeitete die Animation mit der Anordnung „Frontansicht – Seitenansicht“ (Version A), der andere Teil mit der Anordnung „Seitenansicht – Frontansicht“ (Version B). Als *abhängige Variable* wurde die Leistung im Wissenstest erfasst. Als *unabhängige Variablen* dienten das Vorwissen, die physikalisch-technische Problemlösefähigkeit (MTP), die Skalen Bearbeitungsgeschwindigkeit bei figuralen Aufgaben und die Verarbeitungskapazität bei figuralen Aufgaben (BIS), Motivation sowie kognitive Belastung.

9.3.4 Stichprobe

An Studie 1 nahmen 55 Studierende der Universität Koblenz-Landau teil (10 männlich und 34 weiblich, 11 keine Angabe). Das durchschnittliche Alter betrug 23.89 Jahre ($SD = 6.62$,

Min = 17, *Max* = 49). 26 Probanden sahen die Animation in der Version A und 29 Probanden sahen die Animation in der Version B. Die Versuchspersonen erhielten als Entlohnung zwei Versuchspersonenstunden oder 10€.

9.3.5 Durchführung

Studie 1 fand im Sommersemester 2007 an der Universität Koblenz-Landau statt. Für die Untersuchungen wurde der Experimentalraum der Abteilung „Allgemeine und Pädagogische Psychologie“ genutzt. Im Experimentalraum standen bis zu acht PC-Arbeitsplätze mit Monitoren, die eine Bildschirmgröße von 19" hatten, zur Verfügung. Die Untersuchung wurde von einem Testleiter durchgeführt, der die Probanden anhand eines angefertigten Testleiterskripts durch die Testsitzung führte.

Das Vorgehen entsprach zu großen Teilen dem in der Pilotstudie. Die Probanden wurden zunächst begrüßt und über den Ablauf der Untersuchung informiert. Im Anschluss daran waren sie aufgefordert, einen persönlichen Code zu erstellen und auf der ersten Seite des Testheftes einzutragen. Weiterhin war die Nummer des PCs, vor dem die jeweilige Person saß, einzutragen. Im daran anschließenden Fragebogen sollten die Studierenden Auskunft über demografische Daten geben. Es sollten Fragen nach dem Alter, Geschlecht, Schulabschluss, Art der Ausbildung/des Studium, aktuelle Tätigkeit und des Semesters, in dem man studiert (falls Student), beantwortet werden.

Als nächstes wurden die Studierenden bezüglich ihrer Lernermerkmale getestet. Dabei kamen zunächst Aufgaben zur Bearbeitungsgeschwindigkeit und Verarbeitungskapazität bei figuralen Aufgaben des Berliner Intelligenz-Strukturtests (BIS; Jäger et al., 1997) zum Einsatz. Die Bearbeitung dieser Aufgaben dauerte ungefähr 17 Minuten. Im Anschluss daran wurden die Probanden gebeten, den Mannheimer Test zur Erfassung physikalisch-technischen Problemlösens (MTP; Conrad et al., 1980) zu bearbeiten (25 Minuten). Danach folgte der Vorwissenstest zum Viertaktmotor (ca. 10 Minuten).

Nach dem Ausfüllen der Tests bekamen die Studierenden eine kurze Einführung über die Lernphase am PC. Dazu waren die Studierenden aufgefordert, ihren anfänglich im Testheft generierten persönlichen Code in ein Feld auf dem Computermonitor einzutragen und auf den Startbutton klicken. Auf der nun folgenden Instruktionssseite wurde die Aufgabe zum Lernmaterial erläutert. Die Aufgabe war, die in der Animation gezeigten Vorgänge genau zu beobachten und zu verstehen. Es wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, die Geschwindigkeit der Animation mithilfe von Buttons zu steuern sowie die Möglichkeit, zum

Betrachten der Vorgänge zwischen zwei Perspektiven wählen zu können. Außerdem wurde für die nächste Seite die Abbildung eines Standbildes angekündigt, in dem die Bestandteile des Motors beschrieben sind. Nachdem die Versuchspersonen sich ein Bild machen konnten über die Aufgabe, die sie zu bearbeiten hatten, wurden sie gebeten, den Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation in der Langfassung (Rheinberg et al., 2001) auszufüllen. Im Anschluss daran wurde das Lernmaterial mit einem Klick auf einen grünen Pfeil gestartet. Die Lerner hatten 240 Sekunden Zeit, sich das Arbeiten des Motors in verschiedenen selbst gewählten Geschwindigkeiten und aus zwei Perspektiven anzusehen und die Prozesse zu verstehen. Das Nutzerverhalten wurde während der Lernphase online als Logfiles aufgezeichnet. Nach der Lernphase wurden mentale Anstrengung und kognitive Belastung beim Lernen mit der Animation erfasst (Paas & van Merriënboer, 1993) sowie nach der Einschätzung gefragt, ob die Lernzeit ausreichend war. Weiterhin wurde die aktuelle Motivation vor dem Wissenstest mit der Kurzsкала des FAM (Rheinberg et al., 2001) erhoben. Danach folgte der Wissenstest, der aus 34 Multiple-Choice-Items mit einer richtigen Antwortmöglichkeit bestand und Wissen bezüglich Mikro- und Makro-Ereignissen der Animation abfragte. Nach der Beantwortung des Wissenstests folgte eine nochmalige Erfragung der mentalen Anstrengung und der kognitiven Belastung, dieses Mal in Bezug auf den Wissenstest. Für die Posttestphase gab es keine Zeitbegrenzung, die Versuchspersonen konnten den Posttestfragebogen in ihrer eigenen Geschwindigkeit ausfüllen. Insgesamt dauerten die Untersuchungen rund 90 Minuten und fanden als parallele Einzeluntersuchungen statt. Nachdem der Posttestfragebogen ausgefüllt war, wurden die Versuchspersonen mit entweder 10€ oder zwei Versuchspersonenstunden entlohnt.

9.3.6 Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen wurden mit der Software SPSS 20 für Windows durchgeführt. Zusammenhänge wurden mittels Korrelationen berechnet. Hier wurde auf der Grundlage intervallskalierten Daten der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r berechnet. Mittelwertsunterschiede wurden mittels t -Tests berechnet. Die Voraussetzung der zum Einsatz gekommenen Verfahren wurde jeweils geprüft (Bortz & Döring, 2003; Bortz, 2005). Dabei kamen sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Normalverteilung als auch der Levene-Test zur Prüfung der Varianzhomogenität zum Einsatz. Die statistischen Unterschiede wurden bei zweiseitiger Testung auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ überprüft. Kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten werden den Konventionen entsprechend kenntlich gemacht. Um neben der statistischen Signifikanz auch Aussagen über die praktische

Signifikanz der Ergebnisse machen zu können, werden Effektgrößen berichtet (Cohen, 1992). Für t -Tests wird das Differenzmaß d als Effektgröße angegeben. Cohen bezeichnet einen Effekt von $d = 0.2$ als kleinen, $d = 0.5$ als mittleren und $d = 0.8$ als großen Effekt.

Bei der Analyse von Korrelationen beträgt die statistische Power ($1 - \beta$ -Fehler) für einen mittleren Effekt ($r = .30$) bei der gegebenen Stichprobengröße 63 Prozent bei zweiseitiger Testung und 74 Prozent bei einseitiger Testung. Für Mittelwertvergleiche beträgt die statistische Power für einen mittleren Effekt ($d = 0.50$) 44 Prozent bei zweiseitiger Testung und 57 Prozent bei einseitiger Testung (Faul, Erdfelder, Buchner & Lang, 2009).

9.4 Ergebnisse

Zunächst werden die Ergebnisse der Analysen der Nutzung der interaktiven Möglichkeiten dargestellt. Im Anschluss werden die statistischen Tests zur Untersuchung der Hypothesen dargestellt.

Die beiden Versionen des Lernmaterials wurden nur verwendet, um eventuelle Effekte der Leserichtung zu kontrollieren. Aus diesem Grund werden keine separaten Analysen für beide Gruppen berichtet, es sei denn, es fanden sich Unterschiede zwischen den Gruppen.

9.4.1 Analyse des Lernerverhaltens

Nutzung der Geschwindigkeiten

Bezüglich der Nutzung der Geschwindigkeiten unterschieden sich die Probanden der Gruppen A und B nicht. Eine Tabelle mit den deskriptiven Ergebnissen zur Nutzung der Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit findet sich im Anhang (Anhang B3). Die deskriptiven Ergebnisse zur Nutzung der Geschwindigkeiten zeigen, dass die langsamste Geschwindigkeit immer noch die bevorzugte ist: 52 Prozent der Lernzeit wurde im Durchschnitt mit der langsamsten Geschwindigkeit gelernt. Aber auch die mittleren Geschwindigkeiten wurden häufiger genutzt (siehe Tabelle 9.1).

Tabelle 9.1: *Nutzung der Geschwindigkeiten in Sekunden, Mittelwerte (M) in % und Standardabweichungen (SD), Studie 1.*

Geschwindigkeit	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
1	126.40	81.52	12.00	240.00
2	44.58	52.69	0	207.00
3	34.91	49.65	0	219.00
4	12.51	25.97	0	114.00
5	4.10	13.21	0	75.00
6	17.51	38.23	0	184.00

Nutzung der Perspektiven

Die 4-Zylinder-Perspektive wurde von den Studierenden bevorzugt: 73 Prozent der Lernzeit wurde mit dieser Ansicht gelernt. Die prozentuale Lernzeit in der 1-Zylinder-Perspektive hat sich um 10 Prozent erhöht im Vergleich zur Pilotstudie, ist aber mit 27 Prozent immer noch relativ niedrig. Tabelle 9.2 zeigt die Lernzeit, die in den jeweiligen Perspektiven gelernt wurde, abhängig von der Version.

Tabelle 9.2: *Nutzung der Perspektiven in Sekunden nach Versionen, Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max), Studie 1.*

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Zeit in Frontansicht	Version A	26	196.55	28.60	117.00	240.00
	Version B	29	158.93	57.780	0	219.00
Zeit in Seitenansicht	Version A	26	43.35	28.60	0	123.00
	Version B	29	81.10	57.81	21.00	240.00

Mittelwertsunterschiede wurden berechnet mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests, da die Voraussetzungen für den Einsatz eines *t*-Tests nicht erfüllt waren. Die Normalverteilungen der Grundgesamtheiten waren nicht vorhanden. Für die Lernzeit in der Frontansicht fand sich ein Kolmogorov-Smirnov-Z von $Z = 1.61$, $p = .01$. Für die Lernzeit in Seitenansicht zeigte sich ein Kolmogorov-Smirnov-Z von $Z = 1.61$, $p = .01$. Auch Varianzhomogenität war nicht vorhanden (Frontansicht: $F(53) = 6.96$, $p = .01$; Seitenansicht: $F(53) = 6.94$, $p = .01$).

Der Mann-Whitney U-Test ergab signifikante Unterschiede in Abhängigkeit davon, mit welcher Version der Animation gelernt wurde. Wenn die Frontansicht links auf dem Bildschirm angeordnet war (Version A), wurde mehr Zeit in der Frontansicht verbracht als wenn sie auf der rechten Seite angeordnet war (Version B) ($U(26, 29) = 220.50, p = .008$). Dasselbe gilt für die Seitenansicht: Wenn die Seitenansicht links auf dem Bildschirm zu sehen war (Version B), wurde signifikant mehr Lernzeit in dieser Perspektive verbracht als wenn sie auf der rechten Seite zu sehen war (Version A) ($U(26, 29) = 220.50, p = .008$).

Die Frage, ob signifikant mehr Lernzeit in der Frontansicht als in der Seitenansicht verbracht wurde, wurde mithilfe der Testung auf Mittelwertsunterschiede mit dem Wilcoxon-Test als nichtparametrischen Test für gepaarte Stichproben untersucht. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Lernzeit, die in der Front- oder Seitenansicht verbracht wurden ($z_A = -4.33, p < .001; z_B = -3.17, p = .002$). Insgesamt wurde demnach in beiden Versionen mehr Zeit mit der Frontansicht gelernt als mit der Seitenansicht.

Da sich die beiden Gruppen sich aber hinsichtlich der Nutzung der Geschwindigkeiten und auch hinsichtlich des Lernerfolgs nicht unterscheiden, wurden weitere Analysen nicht getrennt nach den beiden Gruppen durchgeführt.

Nutzung interaktiver Möglichkeiten

Die Animation startete mit der Einstellung, dass die Darstellung auf der linken Seite des Bildschirms sichtbar war, das heißt entsprechend der Zugehörigkeit zu den Gruppen entweder die Frontansicht (Version A) oder die Seitenansicht (Version B). Die eingestellte Startgeschwindigkeit war Geschwindigkeit 1. Im Durchschnitt wurde die erste Aktion nach 27.89 Sekunden ($SD = 22.63$) durchgeführt. Zwischen den Perspektiven wurde im Durchschnitt 3.49 ($SD = 2.44$) mal gewechselt, die Geschwindigkeit wurde im Mittel 4.71 ($SD = 3.44$) mal verändert.

Bei der Analyse eines möglichen Zusammenhangs zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der Geschwindigkeitswechsel und der Leistung im Makrowissenstest von $r = .31, p = .023$. Es gab keine signifikanten Korrelationen zwischen den übrigen Maßen der Interaktivität und den Wissenstestskalen.

9.4.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Einfluss der Nutzung verschiedener Geschwindigkeiten auf den Lernerfolg

1. Hat die Darbietungsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz der dynamischen Hierarchieebenen?

Hypothese 1a: Eine langsamere Darbietungsgeschwindigkeit hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Mikrowissen.

Hypothese 1b: Eine schnellere Darbietungsgeschwindigkeit hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Makrowissen.

Für die folgenden Berechnungen fand keine Trennung der Versuchsgruppen statt. Beide Gruppen unterscheiden sich nicht im Hinblick auf die Nutzung der Geschwindigkeiten und auch nicht im Hinblick auf die Wissenstestwerte.

Die Ergebnisse der Skalen des Wissenstest zeigen, dass die Probanden im Durchschnitt 53.45 Prozent ($SD = 17.18$) der Mikroitems richtig gelöst haben und 28.94 Prozent ($SD = 19.17$) der Makroitems. Tabelle 9.3 zeigt die deskriptiven Ergebnisse des Wissenstests.

Tabelle 9.3: Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max) der Wissenstestskalen, Studie 1.

	M	SD	Min	Max
Mikrowissen	11.76	3.78	3.00	20.00
Makrowissen	3.47	2.30	0	8.00

Um die Frage nach dem Einfluss der Animationsgeschwindigkeit auf den Lernerfolg auf verschiedenen Hierarchieebenen der Dynamik zu berechnen, wurde für jeden Probanden eine gewichtete Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet. Dieses Maß wurde in Bezug auf die langsamste Geschwindigkeit definiert. Die Geschwindigkeiten 1, 2, 3, 4, 5 und 6 entsprechen der Darstellung von 2, 6, 12, 16, 20 und 24 Arbeitszyklen des Motors pro Minute. Daraus ergibt sich folgende Formel für die Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit:

Durchschnittsgeschwindigkeit = $(1 * \text{Geschwindigkeit } 1 + 3 * \text{Geschwindigkeit } 2 + 6 * \text{Geschwindigkeit } 3 + 8 * \text{Geschwindigkeit } 4 + 10 * \text{Geschwindigkeit } 5 + 12 * \text{Geschwindigkeit } 6) / 240$

Des Weiteren wurde ein Indikator dafür berechnet, wie viel Makrowissen im Vergleich zu Mikrowissen ein Proband abhängig vom Gesamtestwert erworben hat. Dazu wurde der Anteil der korrekt beantworteten Makroitems durch den Anteil der insgesamt korrekt beantworteten Items geteilt.

Für die Berechnung der Zusammenhangsmaße der Durchschnittsgeschwindigkeit mit dem Anteil an Mikro- bzw. Makrowissen mittels des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten wurden die jeweils die Variablen kontrolliert, die einen signifikanten Zusammenhang mit der jeweiligen abhängigen Variable (Mikrowissen, Makrowissen) aufwiesen (siehe Tabelle 9.4). Die Testungen fanden auf Grundlage gerichteter Hypothesen einseitig statt.

Tabelle 9.4: Korrelationen von Mikro- und Makrowissen mit Lernermerkmalen, Studie 1.

	Vorwissen	MTP	BIS Verarbeitungs- kapazität	BIS Bearbeitungs- geschwindigkeit
Mikrowissen	.35** .007	.45** .001	.34* .011	-.05 .744
Makrowissen	.25 .064	.20 .144	.21 .116	.29* .033

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

Was die Nutzung verschiedener Geschwindigkeiten angeht, zeigte sich eine positive signifikante Korrelation zwischen der Durchschnittsgeschwindigkeit und dem Anteil an Wissen über Makroereignisse unter Kontrolle der Bearbeitungsgeschwindigkeit von $r = .27$, $p = .023$ und eine negative signifikante Korrelation zwischen der Durchschnittsgeschwindigkeit und dem Anteil an Wissen über Mikroereignisse unter Kontrolle des Vorwissens (Vorwissenstest, MTP) und der Verarbeitungskapazität von $r = -.34$, $p = .006$. Das Lernen mit höheren Geschwindigkeiten wirkt sich folglich positiv aus auf den Erwerb von Wissen über Makroereignisse (Hypothese 1b) und das Lernen mit niedrigen Geschwindigkeiten wirkt sich positiv auf den Erwerb von Wissen Mikroereignisse betreffend aus (Hypothese 1a).

Einfluss der Nutzung der Perspektive auf den Lernerfolg

2. Haben verschiedene Darstellungsformen (2D-Ansichten des Motors) einen Einfluss auf den Wissenserwerb auf verschiedenen Hierarchieebenen?

Hypothese 2a: Das Lernen mit der Frontansicht hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Mikrowissen.

Hypothese 2b: Das Lernen mit der Seitenansicht hat einen positiven Einfluss auf den Erwerb von Makrowissen.

Die Berechnungen der Zusammenhänge zwischen der Nutzung der Perspektiven wurden mithilfe des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten durchgeführt. Auch hier wurde mit Hinblick auf die gerichteten Hypothesen einseitig getestet. Bezüglich der Nutzung der Perspektiven und dem Lernerfolg zeigte sich eine positive signifikante Korrelation zwischen der Lernzeit in der Frontansicht und dem Mikrowissenstest ($r = .34, p = .006$). Zwischen der Lernzeit in der Seitenansicht und dem Makrowissenstest zeigte sich eine negative signifikante Korrelation ($r = -.24, p = .038$). Das heißt, je mehr Lernzeit in der Seitenansicht verbracht wurde, umso schlechter war der Wissenserwerb auf der Makroskala. Hypothese 2a konnte demnach bestätigt werden, Hypothese 2b konnte nicht bestätigt werden. Hier fand sich entgegen der Erwartungen ein negativer Zusammenhang zwischen der Seitenansicht und dem Erwerb von Makrowissen.

Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 3a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des thematischen Vorwissens (Vorwissenstest) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 3b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des domänenspezifischen Vorwissens (MTP) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Zunächst wurde geprüft, ob sich die Probanden beider Lernmaterial-Versionen bezüglich des Vorwissens unterscheiden. Bezüglich des Vorwissens zum Viertaktmotor erreichten die Probanden der Version A im Durchschnitt 1.92 Punkte ($SD_A = 1.38, Min_A = 0, Max_A = 4$), die Probanden der Version B erreichten hingegen nur 0.90 Punkte ($SD_B = 1.21, Min_B = 0, Max_B = 4$). Die Voraussetzungen für die Anwendung eines t -Tests zur Prüfung der Mittelwertsunterschiede waren nicht gegeben. Der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilungen wurde signifikant ($Z = 1.54, p = .017$). Als Alternative zum t -Test bietet sich hier der Mann-Whitney U-Test als nichtparametrisches verteilungsfreies Verfahren an.

Der Mann-Whitney U-Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen ($U(26, 29) = 224.50, p = .007$).

Probanden, die die Version A des Lernmaterials bearbeiteten, erreichten im Mittel 10.81 Punkte im MTP ($SD_A = 3.45, Min_A = 5, Max_A = 22$). Probanden, die die Version B bearbeiteten, erreichten im Mittel 9.00 Punkte im MTP ($SD_B = 2.96, Min_B = 4, Max_B = 15$). Um die Mittelwertsunterschiede auf statistische Signifikanz zu prüfen, wurde ein t -Test für unabhängige Stichproben berechnet. Die Voraussetzungen normalverteilter Grundgesamtheiten waren gegeben. Der t -Test zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($t(53) = 2.09, p = .04, d = 0.56$).

Tabelle 9.5 zeigt die deskriptiven Daten der Variablen Vorwissenstest und MPT.

Tabelle 9.5: Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max), der Vorwissenstestskalen, Studie 1.

	M	SD	Min	Max
Vorwissenstest	1.38	1.38	0	4.00
MTP	9.85	3.30	4.00	22.00

Die Erwartungen bezüglich der Hypothesen 3a und 3b wurden mithilfe von bivariaten Korrelationen nach Pearson überprüft. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem themenspezifischen Vorwissen bezüglich des Viertaktmotors und dem Lernerfolg ($r = .37, p = .006$). Außerdem zeigte sich den Erwartungen entsprechend eine signifikante Korrelation zwischen der Leistung im MTP und dem Lernerfolg ($r = .44, p = .001$). Diejenigen Lerner mit höherem Vorwissen bezüglich des Motors und höherer physikalisch-technischer Problemlösefähigkeit schnitten demnach besser im Wissenstest ab als diejenigen Lerner mit niedrigeren Werten auf diesen Variablen.

Wenn man allerdings die Zusammenhänge getrennt nach Gruppen berechnete, zeigten sich folgende Ergebnisse. Bei den Probanden der Gruppe A zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Vorwissen über den Viertaktmotor und der Leistung im Wissenstest ($r = .46, p = .020$), nicht aber zwischen der Leistung im MTP und der Leistung im Wissenstest ($r = .35, p = .080$). Bei den Probanden der Gruppe B ist es anders herum. Dort zeigte sich keine signifikante Korrelation zwischen dem Vorwissen über den Viertaktmotor und der Leistung im Wissenstest ($r = .26, ns$), aber zwischen der Leistung im MTP und der

Leistung im Wissenstest ($r = .46, p = .011$). Die signifikanten Zusammenhänge sind dabei auf Korrelationen mit der Mikroskala zurückzuführen (siehe Anhang B4).

Insgesamt zeigten sich demnach die gemäß den Hypothesen 3a und 3b erwarteten Zusammenhänge. Allerdings fanden sich in den nach Gruppen getrennten Berechnungen die Zusammenhänge nur teilweise und nur bezüglich der Skala Mikrowissen.

Einfluss der räumlichen Fähigkeiten auf den Lernerfolg

4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Die deskriptiven Ergebnisse für die Skalen Verarbeitungskapazität und Bearbeitungsgeschwindigkeit zeigten, dass sich die Gruppen auf beiden Skalen augenscheinlich nicht unterscheiden. Die Testung der Mittelwerte auf Unterschiede mittels t -Tests bestätigte dies (Verarbeitungskapazität: $t(53) = 1.42, ns$; Bearbeitungsgeschwindigkeit: $t(53) = 0.86, ns$; siehe Tabelle 9.6).

Tabelle 9.6: Deskriptive Statistik für die BIS-Skalen nach Gruppe, Studie 1.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Verarbeitungs- kapazität	Version A	26	16.92	6.12	10	31
	Version B	29	14.86	4.60	2	23
Bearbeitungs- geschwindigkeit	Version A	26	124.19	19.08	86	159
	Version B	29	119.62	19.58	95	175

Tabelle 9.7 zeigt die deskriptiven Ergebnisse der Verarbeitungskapazität und der Bearbeitungsgeschwindigkeit für die gesamte Stichprobe.

Tabelle 9.7: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der BIS-Skalen, Studie 1.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Verarbeitungskapazität	15.84	5.42	2.00	31.00
Bearbeitungsgeschwindigkeit	121.78	19.30	86.00	175.00

Auch die Erwartungen bezüglich der Hypothesen 4a und 4b wurden mithilfe von Korrelationen überprüft. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verarbeitungskapazität und dem Lernerfolg ($r = .37$, $p = .005$), aber es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Lernerfolg gefunden werden ($r = .11$, *ns*). Die Berechnungen der Zusammenhänge getrennt nach Wissenstestskalen zeigten aber, dass der signifikante Zusammenhang zwischen der Verarbeitungskapazität auf eine signifikante Korrelation zwischen der Verarbeitungskapazität und der Mikroskala zurückzuführen ist ($r = .34$, $p = .008$). Weiterhin fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Makrowissen ($r = .29$, $p = .033$; siehe auch Tabelle 9.4). Demnach konnte die Hypothese 4a nur für die Skala Mikrowissen und Hypothese 4b nur für die Skala Makrowissen bestätigt werden.

Einfluss der Motivation auf den Lernerfolg

5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

In Tabelle 9.8 sind zunächst die deskriptiven Statistiken für die interessierenden Variablen dargestellt.

Tabelle 9.8: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Motivationskalen, Studie 1.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
FAM Interesse	3.12	1.31	1.00	5.80
FAM Herausforderung	4.44	1.19	1.00	7.00
FAM Erfolgswahrscheinlichkeit	3.66	1.46	1.00	7.00
FAM Mißerfolgsbefürchtung	3.03	1.43	1.00	7.00
FAM Wissenstest	3.69	1.04	1.20	5.80

Auch zur Beantwortung der Hypothesen zum Zusammenhang zwischen Motivation und Lernerfolg wurden Korrelationen berechnet. Es wurde eine signifikante Korrelation gefunden zwischen dem Interesse und der Leistung im Mikrowissenstest ($r = .30$, $p = .027$) und der Erfolgswahrscheinlichkeit im Hinblick auf die zu bearbeitende Aufgabe und der Leistung im Mikrowissenstest ($r = .35$, $p = .010$). Zwischen den anderen Skalen der Motivation im Hinblick auf die bevorstehende Aufgabe und den Ergebnissen der Wissenstestskalen fanden sich keine signifikanten Zusammenhänge. Weiterhin wurden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Motivation bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests und der Leistung im Mikro- oder Makrowissenstest gefunden (siehe Anhang B5). Hypothese 5a konnte demnach teilweise, nämlich für die Motivationskalen Interesse und Erfolgswahrscheinlichkeit, bestätigt werden. Hypothese 5b konnte nicht bestätigt werden.

Zusammenhang zwischen Motivation und mentaler Anstrengung und Wissenstestwert

6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 6a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalters im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 6b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalers im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 6c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

Tabelle 9.9 zeigt die deskriptiven Statistiken für die Variablen der mentalen Anstrengung bezüglich des Lernens mit der Animation und der Bearbeitung des Wissenstests.

Tabelle 9.9: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) für die Variablen der mentalen Anstrengung (*ME*), Studie 1.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
ME Animation	4.13	1.25	1.00	6.00
ME Wissenstest	4.18	1.12	2.00	6.00

Die Berechnung der Zusammenhangsmaße zwischen den Motivationsskalen, die vor dem Lernen mit der Animation erhoben wurden und der berichteten mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation zeigten keine signifikanten Ergebnisse ($-.08 \geq r \leq .19$, *ns*). Es zeigte sich aber eine signifikante Korrelation zwischen der Motivation bei der Bearbeitung des Wissenstests und der mentalen Anstrengung, die bei der Bearbeitung des Wissenstests nach eigenen Auskünften investiert wurde ($r = .41$, $p = .002$). Außerdem zeigte sich eine marginal signifikante Korrelation zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg ($r = .26$, $p = .054$). Die Ergebnisse der Korrelationen getrennt nach Wissenstestskalen sind Anhang B6 zu entnehmen.

Demnach konnten die Erwartung bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen (Hypothese 6a) nicht bestätigt werden. Die Hypothesen 6b und 6c können aber als bestätigt angesehen werden. Es fand sich ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen der Motivation im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und ein marginal signifikanter Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

Zusammenhang zwischen kognitiver Belastung und Wissenstestwert

7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 7a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 7b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten den Wissenstests und dem Wissenstestwert.

Tabelle 9.10 zeigt die deskriptiven Statistiken für die Variablen der kognitiven Belastung im Hinblick auf das Lernen mit der Animation und die Bearbeitung des Wissenstests.

Tabelle 9.10: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) für die Variablen der kognitive Belastung (*CL*), Studie 1.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
CL Animation	3.29	1.27	1.00	6.00
CL Wissenstest	5.25	0.84	3.00	6.00

Die Zusammenhänge zwischen den interessierenden Variablen der kognitiven Belastung und dem Wissenstest wurden wiederum mittels Korrelationen berechnet. Es zeigte sich ein negativer signifikanter Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Lernerfolg ($r = -.36, p = .007$) und zwischen der erlebten kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg ($r = -.33, p = .013$). Bei der Betrachtung der Korrelationen getrennt für die beiden Wissenstestskalen lässt sich feststellen, dass die signifikanten Zusammenhänge auf die Ergebnisse der Mikroskala zurückzuführen sind. Hier fand sich ein negativer signifikanter Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem erworbenen Mikrowissen ($r = -.45, p = .001$) und zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Mikrowissen ($r = -.44, p = .001$). Alle Korrelationen sind tabellarisch in Anhang B6 dargestellt. Die Hypothesen 7a und 7b konnten dementsprechend für die Skala Mikrowissen bestätigt werden.

9.5 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel von Studie 1 war die Überprüfung der Annahme, dass es möglich ist, die perzeptuelle Salienz verschiedener dynamischer Hierarchieebenen durch die Veränderung der Darbietungsgeschwindigkeit einer Animation hervorzuheben. Um die Frage nach dem Einfluss verschiedener (selbstgewählter) Animationsgeschwindigkeiten auf den Erwerb von Wissen über Mikro- und Makroereignisse beantworten zu können, kam die Animation aus der Pilotstudie in einer überarbeiteten Version zum Einsatz. Es wurde neben der Anpassung der Geschwindigkeiten auch die Darstellung der zur Auswahl stehenden 2D-Perspektiven verbessert. Um nicht eine der beiden Ansichten zu bevorzugen und um die Leserichtung zu kontrollieren, wurde ein 2-Gruppen-Design gewählt, bei dem die Anordnung der Ansichten auf dem Bildschirm variiert wurde.

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Probanden beim Lerner mit der Animation niedrige Geschwindigkeit bevorzugen, wenn sie zwischen verschiedenen Geschwindigkeitsstufen wählen dürfen. Die Tatsache, dass sehr wenig mit schnelleren Geschwindigkeiten gelernt wurde, ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Lerner im Mittel über sehr wenig Vorwissen verfügten. Wenn Lerner mit wenig Vorwissen die Möglichkeit haben, zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten selbst zu wählen, scheinen sie niedrigere Darstellungsgeschwindigkeiten zu bevorzugen. Dieses Ergebnis steht auch im Einklang mit den Ergebnissen der Pilotstudie. Andererseits kann die vorrangige Verwendung von niedrigen Geschwindigkeiten auch durch die vorgegebene Startgeschwindigkeit verursacht worden sein. Die Lernenden wechselten die Geschwindigkeit im Durchschnitt nach etwa 37 Sekunden. Das heißt, die Lerner betrachteten die Animation zuerst einige Zeit in der niedrigsten Startgeschwindigkeit bevor sie eine höhere Geschwindigkeit wählten, um im Anschluss daran zu niedrigeren Geschwindigkeiten zurückzukehren.

Die Lerner verwendeten die Seiten- und Frontansicht in unterschiedlichem Ausmaß. Die Frontansicht wurde bevorzugt gegenüber der Seitenansicht. Zwar unterschieden sich die beiden Gruppen hinsichtlich der Nutzung der Perspektiven derart, dass die jeweilige Ansicht dann länger genutzt wurde, wenn sie auf der linken Bildschirmseite dargestellt wurde, aber insgesamt konnte eine bevorzugte Nutzung der Frontansicht festgestellt werden.

Im Hinblick auf den Wissenserwerb über Mikro- und Makroereignisse wurde zunächst festgestellt, dass der Anteil der im Durchschnitt richtig gelösten Mikroitems höher ist als der Anteil der im Durchschnitt richtig gelösten Makroitems. Bezüglich der Forschungsfrage 1

nach dem Einfluss der Nutzung verschiedener Geschwindigkeiten auf den Lernerfolg auf verschiedenen dynamischen Hierarchieebenen konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Durchschnittsgeschwindigkeit und dem Makrowissen gefunden werden. Je höher die genutzte Durchschnittsgeschwindigkeit, desto mehr Wissen über Makroereignisse wurde erworben im Vergleich zu Mikroereignissen. Außerdem fand sich ein negativer signifikanter Zusammenhang zwischen der Durchschnittsgeschwindigkeit und dem Mikrowissen. Je niedriger die genutzte Durchschnittsgeschwindigkeit, desto mehr Wissen über Mikroereignisse wurde erworben im Vergleich zu Makroereignissen. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass die Geschwindigkeit einer Animation die Salienz bestimmter hierarchischer Ebenen und damit den Wissenserwerb beeinflusst. Kritisch muss allerdings angemerkt werden, dass insbesondere die Skala der Makroitems keine zufriedenstellende interne Konsistenz aufweist, was zum einen auf die niedrige Anzahl der Items dieser Skala zurückzuführen sein dürfte, zum anderen aber auch an der hohen Schwierigkeit der Items liegen könnte. In Anbetracht der Tatsache, dass die gewählte Geschwindigkeit der Animation im Durchschnitt eher gering war und ausgehend von der Erwartung, dass Makroereignisse durch hohe Geschwindigkeiten in den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit gerückt werden, ist es nicht verwunderlich, dass der Anteil der richtig gelösten Makroitems so gering ist. Die Probanden hatten aufgrund der selbstgewählten Geschwindigkeitseinstellungen nicht in dem Maße die Möglichkeit, Makroereignisse zu beobachten. Wenn sie es aber doch taten, so wirkte es sich positiv auf die Leistung auf der Skala der Makroitems aus. Dennoch ist für eine weitere Studie zu überlegen, wie sichergestellt werden kann, dass Lerner die Animation in ausreichendem zeitlichen Ausmaß in verschiedenen Geschwindigkeiten beobachten können. Dies könnte beispielsweise durch die Präsentation einer Animation mit vorgegebenen schnellen und langsamen Geschwindigkeiten geschehen.

Die Ergebnisse zum Einfluss der Nutzung der unterschiedlichen 2D-Ansichten auf den Erwerb von Wissen über Mikro- und Makroereignisse (Forschungsfrage 2) zeigten, dass die Frontansicht als bevorzugte Informationsquelle diente im Vergleich zur Seitenansicht. Diese häufigere Nutzung der Frontansicht wirkte sich positiv auf den Erwerb von Mikrowissen aus (Hypothese 2a). Dies entspricht der Erwartung, dass in der Frontansicht Informationen über Mikroereignisse dargestellt werden. Zwar wurde in Studie 1 mehr Lernzeit in der Seitenansicht verbracht als noch in der Pilotstudie, dies war aber nicht lernförderlich, weder für den Erwerb von Mikrowissen noch für den Erwerb von Makrowissen (Hypothese 2b).

Möglicherweise fordert die Integration dieser unterschiedlichen Perspektiven in ein mentales Modell zu viel kognitive Anstrengung. Vielleicht ist diese Seitenansicht aber auch redundant, das heißt sie enthält für den Lerner keine zusätzlichen Informationen.

Lernermerkmale. Basierend auf den Ergebnissen vieler empirischer Studien (Yarbus, 1967; Hegarty & Just, 1989; Lewalter, 1997; Clarke et al., 2005; Schnotz, 2002c; Schnotz & Rasch, 2005; 2008; Hegarty & Just, 1993; Mayer & Gallini, 1990) wurde in dieser Studie davon ausgegangen, dass das Vorwissen einen positiven Einfluss auf den Wissenserwerb hat. Zum einen wurde der Zusammenhang zwischen dem themenspezifischen Vorwissen zum Viertaktmotor und dem Lernerfolg, zum anderen der Zusammenhang zwischen dem domänenspezifischen Vorwissen (MTP; Conrad et al., 1980) und dem Lernerfolg berechnet. Es fanden sich positive signifikante Zusammenhänge zwischen beiden Variablen und dem Lernerfolg. Da sich die Gruppen aber im Ausmaß an vorhandenem Vorwissen, sowohl thematisch als auch domänenspezifisch, unterschieden, wurden die Berechnungen auch getrennt nach Gruppen durchgeführt. Hier zeigt sich, dass jeweils nur thematisches Vorwissen oder domänenspezifisches Vorwissen einen signifikanten Einfluss auf den Wissenserwerb hat. Für die Gruppe A zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen dem thematischen Vorwissen und dem Lernerfolg, nicht aber zwischen dem domänenspezifischen Vorwissen und dem Lernerfolg. Für die Gruppe B zeigten sich die Ergebnisse anders herum. Dabei ist allerdings anzumerken, dass zumindest beim themenspezifischen Vorwissen das Niveau sehr niedrig ist. Die erreichten Werte sind hier im Durchschnitt eher gering.

Auch in Bezug auf die räumlichen Fähigkeiten kann, angelehnt an eine Reihe empirischer Studien (z.B. Brünken et al., 2000; Hegarty & Sims, 1944; Mayer & Sims, 1994; siehe Abschnitt 6.6), davon ausgegangen werden, dass sie einen Einfluss darauf haben, wie erfolgreich Wissen erworben wird. Den Erwartungen entsprechend zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Variable Verarbeitungskapazität und dem Lernerfolg (Hypothese 4a). Lerner mit hohen räumlichen Fähigkeiten schnitten also im Wissenstest tatsächlich besser ab als Lerner mit niedrigen räumlichen Fähigkeiten. Die Erwartungen bezüglich des Zusammenhangs zwischen der Variable Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Lernerfolg (Hypothese 4b) konnte nicht bestätigt werden. Hier zeigte sich kein Unterschied zwischen Lerner mit hohen oder niedrigen Bearbeitungsgeschwindigkeitswerten im Hinblick auf den Lernerfolg. Da es sich bei der Bearbeitungsgeschwindigkeit um eine operative Fähigkeit des Berliner Intelligenzstrukturmodells handelt, welche das Bearbeitungstempo, Auffassungsleichtigkeit

und Konzentrationsfähigkeit erfassen soll (Jäger et al., 1997), ist diese Variable, auch wenn sie als figural-bildhaftes Fähigkeitskonstrukt erfasst wurde, möglicherweise nicht im engeren Sinne als räumliche Fähigkeit zu interpretieren. Vielmehr handelt es sich um die Fähigkeit, je nach Aufgabe möglichst viele Symbole oder Zeichen unter zeitlicher Begrenzung zu erkennen und zu markieren.

Motivation. Ausgehend von der Annahme, dass eine hohe Motivation bezüglich der Aufgabe zu einem besseren Lernerfolg führt (Forschungsfrage 5), wurden die Skalen Interesse, Herausforderung, Erfolgswahrscheinlichkeit und Misserfolgsbefürchtung des FAM analysiert hinsichtlich ihrer Zusammenhänge mit dem Wissenstestwert. Es zeigte sich lediglich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Erfolgswahrscheinlichkeit bezüglich der zu bearbeitenden Aufgabe und dem Lernerfolg. Lerner, die die Wahrscheinlichkeit, die Aufgabe gut zu bewältigen als groß einschätzten, schnitten im Wissenstest besser ab als Lerner, die diese Wahrscheinlichkeit als weniger groß einschätzten. Außerdem fand sich eine signifikante Korrelation zwischen der Motivation hinsichtlich der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg. Lerner, die im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests motiviert waren, zeigten bessere Wissenstestergebnisse als Lerner, die im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung weniger motiviert waren.

Forschungsfrage 6 beschäftigte sich damit, ob eine hohe Motivation bezüglich einer Aufgabe auch einen Einfluss hat auf die mentale Anstrengung, die bei der Bearbeitung dieser Aufgabe investiert wird. Außerdem sollte sich das Ausmaß an investierter mentaler Anstrengung positiv auf den Lernerfolg auswirken. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Motivation im Hinblick auf das Lernen mit der Animation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation gefunden werden (Hypothese 6a). Allerdings zeigte sich, dass Lerner mit höherer Motivation hinsichtlich der Wissenstestbearbeitung mehr mentale Anstrengung in die Bearbeitung des Wissenstests investierten (Hypothese 6b). Die höhere mentale Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung steht in Zusammenhang mit dem Lernerfolg (Hypothese 6c).

Cognitive Load. Die Ergebnisse im Hinblick auf die Zusammenhänge zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Lernerfolg (Hypothese 7a) beziehungsweise zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg (Hypothese 7b) zeigten, dass sich eine hohe kognitive Belastung negativ auf den Lernerfolg auswirkt. Lerner, die das Lernen mit der Animation als sehr anstrengend erlebt haben, zeigten schlechtere Werte im Wissenstest als Lerner, die das

Lernen mit der Animation als weniger anstrengend erlebt haben. Dies trifft auch auf die erlebte kognitive Belastung bezüglich der Wissenstestbearbeitung zu. Die signifikanten Zusammenhänge fanden sich aber bei der detaillierten Analyse nach Wissenstestskalen getrennt ausschließlich für die Skala Mikrowissen. Das Ausbleiben der Zusammenhänge zwischen den Maßen der kognitiven Belastung und dem Makrowissen ist dabei möglicherweise der größeren Heterogenität der Makroaufgaben geschuldet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Studie die Annahme unterstützen, dass die Darstellungsgeschwindigkeit einer Animation einen Einfluss hat auf die kognitive Verarbeitung von Informationen auf unterschiedlichen dynamischen Hierarchieebenen. Die Studie zeigte, dass die Animationsgeschwindigkeit den Erwerb von Mikro- und Makrowissen beeinflussen kann. Die Ergebnisse der Studie zeigten aber auch, dass es nicht unbedingt von Vorteil ist, wenn Lerner die Möglichkeiten haben, die Animation selbst zu steuern. Wenn Lerner die Möglichkeit haben, zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten und Ansichten zu wählen, verpassen sie möglicherweise relevante Informationen, die nur in einer bestimmten Geschwindigkeit oder einer bestimmten Ansicht sichtbar werden. Die Ergebnisse der Studie stehen in Einklang mit den Ergebnissen einer Studie von Lowe (2008) zum Lernen mit Wetterkarten, die zeigten, dass Lerner relevante Informationen über höher geordnete zeitliche Strukturen verpassten aufgrund der Tatsache, dass nicht alle interaktiven Möglichkeiten in adäquatem Ausmaß genutzt wurden.

10 Studie 2 – Analyse von Blickbewegungen

10.1 Zielsetzung

Die Analyse von Blickbewegungen beim Lernen mit einer Animation ermöglicht eine differenzierte Untersuchung der Wahrnehmung verschiedener Ebenen der Dynamik. Zu diesem Zweck wurde eine weitere Studie geplant, bei der die Methode der Blickbewegungsmessung zum Einsatz kam. Im Vordergrund stand auch hier die übergeordnete Forschungsfrage, wie verschiedene Darbietungsgeschwindigkeiten die Verarbeitung dynamischer Informationen auf verschiedenen Hierarchieebenen beeinflussen. Dabei sollte in dieser Studie der Einfluss verschiedener Kombinationen von schneller und langsamer Geschwindigkeit auf die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung untersucht werden.

10.2 Fragestellung und Hypothesen

Ausgehend von der Annahme, dass die perzeptuelle Verarbeitung der kognitiven Verarbeitung vorangestellt ist und ausgehend von der Annahme, dass die perzeptuelle Verarbeitung beeinflusst wird durch die Darbietungsgeschwindigkeit der Animation, kann man verschiedene Blickbewegungsmuster je nach Darbietungsgeschwindigkeit annehmen. Wenn die Animation langsam gesehen wird, wird erwartet, dass sich die visuelle Aufmerksamkeit auf kleineren (lokalen) Teilen des Bildschirms befindet, wohingegen die visuelle Aufmerksamkeit bei schneller Geschwindigkeit gleichmäßiger verteilt über den ganzen Bildschirm erwartet wird. Die sich daraus ableitende Forschungsfrage lautet:

1. Unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Animation?

Hypothese 1a: Anzahl der Fixationen und Fixationsdauer unterscheiden sich beim Lernen mit langsamer Geschwindigkeit im Vergleich zum Lernen mit schneller Geschwindigkeit.

Hypothese 1b: Bei langsamer Geschwindigkeit werden andere Teile des Bildschirms betrachtet als bei schneller Geschwindigkeit.

Außerdem wird angenommen, dass unterschiedliche Kombinationen von schnellen und langsamen Geschwindigkeitsdarbietungen einen Einfluss auf das Wahrnehmen und Verstehen der Animation haben. Einerseits kann man annehmen, dass die Darbietung einer schnellen vor einer langsamen Geschwindigkeit lernförderlicher sein kann als die Darbietung einer langsamen vor einer schnellen Geschwindigkeit, weil hier zunächst ein Überblick zur Verfügung gestellt wird, um in einem zweiten Schritt ins Detail zu gehen. Andererseits könnte auch eine langsame vor einer schnellen Geschwindigkeitsdarbietung lernförderlicher sein als eine schnelle vor einer langsamen Geschwindigkeitsdarbietung, weil hier die Möglichkeit besteht, erst ein mentales Modell der Teile der Animation zu konstruieren und diese in einem zweiten Schritt in ein globales mentales Modell zusammenzuführen („progressive model building“; Mayer & Chandler, 2001). Generell wird zwar angenommen, dass die Blickbewegungsmuster sich unterscheiden im Hinblick auf die Geschwindigkeit, aber es ist auch möglich, dass die zuerst gesehene Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Informationen in der zweiten Geschwindigkeit hat, da die perzeptuelle Verarbeitung nicht vorwissensunabhängig ist. Es ist also zu untersuchen, ob sich die Blickbewegungsmuster in Anhängigkeit von der Geschwindigkeitsreihenfolge unterscheiden. Die sich daraus ableitende Forschungsfrage lautet demnach:

2. Wie beeinflusst die Sequenzierung der Geschwindigkeit die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen auf verschiedenen Hierarchieebenen?

Hypothese 2a: In Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster.

Hypothese 2b: In Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheidet sich der Lernerfolg.

Die folgenden Forschungsfragen und Hypothesen bezüglich der erhobenen Kontrollvariablen sind entsprechend den Forschungsfragen und Hypothesen aus Studie 1. Eine Änderung betrifft Forschungsfrage 3. Hier bezieht sich das Vorwissen ausschließlich auf den Vorwissenstest, domänenspezifisches Vorwissen wurde in dieser Studie nicht erhoben. Für die theoretische Herleitung der Forschungsfragen siehe Abschnitt 9.2.

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 3: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des thematischen Vorwissens schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 6a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 6b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests und dem Wissenstestwert.

7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 7a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 7b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 7c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

10.3 Methode

10.3.1 Lernmaterial

In Studie 2 kam eine modifizierte Version der Lernumgebung zum Einsatz, die auch in Studie 1 verwendet wurde. Die Modifikationen betrafen zum einen die Anpassung der Nutzersteuerung und zum anderen eine Veränderung der Darstellung der Perspektiven. In dieser Studie war die Lernumgebung nicht vom Lernenden zu steuern. Sowohl Geschwindigkeiten als auch die Perspektiven waren voreingestellt. Die voreingestellte langsame Geschwindigkeit war 2 Durchgänge pro Minute, die schnelle Geschwindigkeit war 12 Durchgänge pro Minute. Da die Aufzeichnung der Blickbewegungen Auskunft darüber geben kann, mit welcher Ansicht gelernt wurde, waren beide Ansichten gleichzeitig sichtbar. Die Frontansicht war links auf dem Bildschirm angeordnet, die Seitenansicht rechts auf dem Bildschirm. Ein Screenshot der Animation in Studie 2 zeigt Abbildung 10.1.

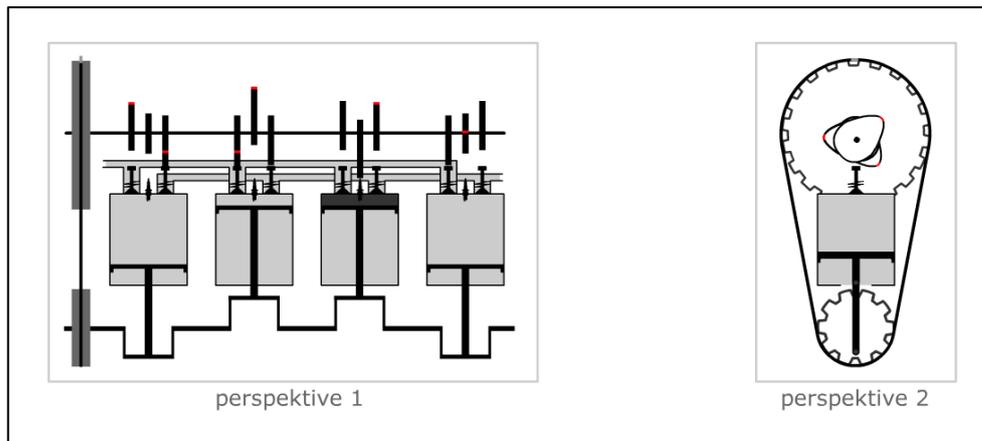


Abbildung 10.1. Screenshot der Animation in Studie 2.

In einer Version der Animation lernten die Studierenden mit der langsamen Geschwindigkeit zuerst, dann mit der schnellen Geschwindigkeit. In einer anderen Version lernten die Studierenden zuerst mit der schnellen, dann mit der langsamen Geschwindigkeit. Die Animation wurde in beiden Geschwindigkeiten 120 Sekunden gespielt, insgesamt betrug die Lernzeit mit der Animation 240 Sekunden.

10.3.2 Messinstrumente

Lernerfolg

Zur Erfassung des Lernerfolgs wurde der Wissenstest mit Mikro- und Makroskalen aus Studie 1 verwendet (siehe Abschnitt 9.3.2 und Anhang B1). Die interne Konsistenz lag bei $\alpha = .83$ für die Items der Mikroskala und bei $\alpha = .58$ für die Items der Makroskala.

Vorwissen

Auch zur Erfassung des Vorwissens kam der Vorwissenstest aus Studie 1 zum Einsatz (siehe Abschnitt 9.3.2 und Anhang B2). Cronbachs α betrug für den Test $\alpha = .21$.

Räumliche Fähigkeiten

Räumliche Fähigkeiten wurden, wie in Studie 1 mit den Komponenten Verarbeitungskapazität und Bearbeitungsgeschwindigkeit im Bereich figuraler Aufgaben des BIS (Jäger et al., 1997) erfasst. Für eine genauere Darstellung siehe Abschnitt 9.3.2. In Studie 2 lagen die internen Konsistenzen bei $\alpha = .81$ für die Verarbeitungskapazität und $\alpha = .57$ für die Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Motivation

Die aktuelle Motivation wurde, wie in der Pilotstudie und Studie 1, mittels der Langform des FAM (Rheinberg et al., 2001) erfasst. Die internen Konsistenzen der einzelnen Skalen lagen bei $\alpha = .56$ (Herausforderung), $\alpha = .65$ (Interesse), $\alpha = .82$ (Erfolgswahrscheinlichkeit) und $\alpha = .91$ (Misserfolgsbefürchtung). Nach Beendigung der Animation kam eine gekürzte und adaptierte Version des FAM zum Einsatz. Hier lag die interne Konsistenz bei $\alpha = .688$. Für eine genauere Darstellung der Instrumente zur Erfassung der Motivation siehe Abschnitt 8.3.1 und Anhänge A3 und A4.

Kognitive Belastung

Auch die Maße der kognitive Belastung und mentalen Anstrengung wurden mit den Instrumenten der vorhergehenden Studien erhoben (siehe Abschnitt 8.3.1).

Blickbewegungen

Bei der Erfassung von Blickbewegungen handelt es sich um die Aufnahme von Bewegungen des Auges um etwas darüber zu erfahren, wo eine Person hinschaut, wie lange und in welcher Reihenfolge (Jarodzka, 2001). Die Blickbewegungsaufnahmen geben Aufschluss darüber, wo jemand hinschaut, aber nicht darüber, warum er dies tut. Wenn man also die kognitiven Prozesse bei der Bildverarbeitung und, im Fall dieser Arbeit, die Frage nach dem Einfluss der Darbietungsgeschwindigkeit auf die kognitive Verarbeitung einer Animation, untersuchen möchte, müssen spezifischen Annahmen über den Zusammenhang von kognitiven Prozessen und Blickbewegungen getroffen werden. Diese Annahmen betreffen die Verknüpfung von Wahrnehmung und Verarbeitung von Informationen. Just und Carpenter (1980) formulierten eine strenge *Eye-Mind Assumption*, derzufolge ein Objekt solange mit dem Blick „festgehalten“ wird solange es verarbeitet wird. Die kognitive Verarbeitung steht hier also in direktem Zusammenhang mit der perzeptuellen Verarbeitung.

Yarbus (1967) konnte in seinen Untersuchungen zeigen, dass Denkprozesse die Art der Betrachtung von Bildern steuern und determinieren. Demnach führen unterschiedliche Denkprozesse (hervorgerufen durch eine bestimmte Aufgabenstellung und/oder Vorwissen) zu unterschiedlichen Blickbewegungsmustern. „People that think differently see differently“ (Yarbus, 1967, S. 53).

Diese strengen Annahmen über den Zusammenhang von perzeptuellen und kognitiven Prozessen können aber auch in Frage gestellt werden. So ist es laut Ballstaedt (1997) nur begrenzt möglich, aus Blickbewegungen auf Denkprozesse zu schließen. Zwar ist es möglich,

mithilfe von Fixationsdauer und –häufigkeit Behaltensleistungen zu erklären (Craik & Lockhardt, 1972), aber welche Blickbewegungen welchen Denkprozessen entsprechen, lässt sich schwer sagen (vgl. Ballstaedt, 1997). Denn laut Ballstaedt unterliegen Blickbewegungen sowohl der automatischen als auch der willentlichen Steuerung. Die automatische Steuerung bezieht sich dabei auf Bildmerkmale wie Farben und überraschende Informationen. Diese lenken die visuelle Aufmerksamkeit. Bereiche eines Bildes mit vielen Informationen werden häufiger und länger wahrgenommen als weniger informationshaltige Bereiche. Auch kulturell bedingte Blickbewegungspfade wie beispielsweise die Leserichtung haben einen Einfluss auf die Augenbewegungen. Die Blickbewegungsanalyse ist demnach also eine Möglichkeit, perzeptuelle und kognitive Prozesse bei der Bildverarbeitung zu untersuchen. Aber aufgrund der interpretativen Analyse der Verhaltensdaten reicht die Blickbewegungsmessung allein nicht aus um gültige Aussagen über die kognitive Verarbeitung zu treffen, sondern kann nur als zusätzliche Methode zum Einsatz kommen.

Die Parameter der Blickbewegungsmessung, die häufig als Indikatoren für die kognitive Verarbeitung genutzt werden, sollen nun im Folgenden näher erläutert werden. Beim Betrachten eines Bildes wandert das Auge nacheinander über die verschiedenen Teile des Bildes und die visuelle Aufmerksamkeit wird auf für den Betrachter interessante Teile des Bildes gelenkt. Das Ruhen der visuellen Aufmerksamkeit auf einem Punkt des Bildes bezeichnet man als *Fixation*. Fixationen beinhalten dabei auch minimale Augenbewegungen innerhalb eines begrenzten Raumes um den Fixationspunkt herum und für einen begrenzten Zeitraum. Duchowski (2003; zitiert nach Jarodzka, 2011) spricht hier beispielsweise von einem Blickwinkel von weniger als 5 Grad und einer Zeit von 150 bis 600 Millisekunden, die eine Fixation abweichen kann. In der Literatur wird berichtet, dass Fixationen bei der Bildwahrnehmung ungefähr 300 bis 350 Millisekunden dauern (Ballstaedt, 1997; Rayner, 1978). Die Zeit, die das Auge auf dem jeweiligen Bildpunkt ruht, wird *Fixationszeit* genannt. Die Bewegung des menschlichen Auges von einem Bildpunkt zum nächsten erfolgt in Form von *Sakkaden*. Sakkaden sind sehr schnelle Bewegungen, die im Durchschnitt zwischen 20 und 40 Millisekunden benötigen, aber auch längere Sakkaden sind möglich (Ballstaedt, 1997). Während bei Fixationen davon ausgegangen wird, dass an der Stelle des Bildes Informationen entnommen werden, auf denen die visuelle Aufmerksamkeit zu einer bestimmten Zeit ruht (*Eye Mind-Assumption*, Just & Carpenter, 1980), wird während einer Sakkade keine Information aufgenommen (Holmqvist et al., 2011). Im Rahmen dieser Studie wurde zur Analyse der Blickbewegungen auf die Anzahl der Fixationen auf einem bestimmten

Bild(schirm)bereich und die Fixationsdauer in diesem Bereich als Indikatoren für die Bildverarbeitung zurückgegriffen. Dabei wurden zum einen die Anzahl der Fixationen und die durchschnittliche Fixationsdauer während der Lernzeit in den unterschiedlichen Geschwindigkeiten betrachtet. Zum anderen wurden die Anzahl der Fixationen und Fixationsdauern innerhalb bestimmter Teile der Animation erfasst, von denen man annimmt, dass sie Informationen über Mikro- oder Makroereignisse enthalten.

Zur Aufzeichnung der Blickbewegungen wurde in Studie 2 das Programm Eyelink II der Firma SR Research Ltd. (Ontario, Kanada) eingesetzt. Bei diesem System der Blickbewegungsmessung trägt der Proband eine Art Helm, an welchem Infrarotkameras angebracht sind, mit denen sowohl die Pupille als auch die Blickrichtung des Probanden aufgezeichnet wird. Laut Angaben des Herstellers ist eine Genauigkeit der Blickbewegungserfassung auf 0.5° möglich. Die Probanden sahen die Animation auf einem 22“-Bildschirm in c. 80 Meter Entfernung, woraus sich ein visuelles Blickfeld von 30 Grad ergab. In diesem Versuchsaufbau war eine Messgenauigkeit von bis auf 1 Grad gefordert, was eine Abweichung der Fixationsposition auf dem Bildschirm von maximal 12 Millimetern erlaubte. Die Kalibrierung wurde mithilfe eines Gittermusters aus 9 Punkten durchgeführt, wobei der Proband jeden Punkt in einer vorgegebenen Reihenfolge fixieren musste. Die Prozedur wurde sofort wiederholt, bis jede Blickposition im vordefinierten Bereich bestätigt werden konnte. In dieser Studie wurde jeweils nur die Blickbewegung eines Auges (Pupille und Kornearefektion) mit einer Frequenz von 250 Hz aufgezeichnet. Die Bewegungen welches Auges dabei aufgezeichnet wurde, hing von dem Ergebnis der Kalibrierung ab. Für diese Studie wurde eine Einstellung des Programms Eyelink II gewählt, gemäß der nur Fixationen mit einer Dauer von mindestens 80 Millisekunden als gültig erkannt wurden.

10.3.3 Design

In Studie 2 kam ein zweifaktorielles Design mit dem Between-Subject-Faktor „Sequenzierung“ (langsam-schnell [Version LS] vs. schnell-langsam [Version SL]) und dem Within-Subject-Faktor „Geschwindigkeit“ (langsam vs. schnell) zum Einsatz. Die Studierenden wurden einer der beiden Bedingungen zufällig zugeordnet. Als *abhängige Variablen* wurden die Anzahl der Fixationen, die jeweilige Fixationsdauer und die Anzahl der Sakkaden sowie die Leistung im Wissenstest erfasst. Als *unabhängige Variablen* dienten das Vorwissen, die Skalen Bearbeitungsgeschwindigkeit bei figuralen Aufgaben und die

Verarbeitungskapazität bei figuralen Aufgaben (BIS), die Motivation sowie die kognitive Belastung.

10.3.4 Stichprobe

An Studie 2 nahmen 20 Studierende der Universität Koblenz-Landau teil (3 männlich und 16 weiblich). Das durchschnittlichen Alter betrug 21.53 Jahre ($SD = 1.90$, $Min = 19$, $Max = 28$). 10 Probanden sahen die Animation zuerst langsam und dann schnell (Version LS) und 10 Probanden sahen die Animation zuerst schnell und dann langsam (Version SL). Eine Person musste aufgrund fehlender Blickbewegungsdaten von den Analysen ausgeschlossen werden. Die Versuchspersonen erhielten als Entlohnung zwei Versuchspersonenstunden oder 10€.

10.3.5 Durchführung

Studie 2 fand im Wintersemester 2007/2008 an der Universität Koblenz-Landau statt. Für die Untersuchungen wurden die Räumlichkeiten der Abteilung „Allgemeine und Pädagogische Psychologie“ genutzt. Das Vorgehen entsprach zu großen Teilen dem in Studie 1, wobei die Untersuchungen in Studie 2 aufgrund der Erfassung der Blickbewegungen als Einzeluntersuchungen im Labor stattfanden. Nach der Begrüßung der Probanden wurden diese zunächst über den Ablauf der Untersuchung informiert. Im Anschluss daran waren die Probanden aufgefordert, einen persönlichen Code zu erstellen und im Testheft einzutragen. Im daran anschließenden Fragebogen sollten die Studierenden Auskunft über demografische Daten geben. Es wurden hier das Alter, das Geschlecht, der Schulabschluss, die Art der Ausbildung/des Studium, die aktuelle Tätigkeit und das Semesters, in dem man studiert (falls Student), erfragt. Als nächstes wurden die Studierenden bezüglich ihrer Lernermerkmale getestet. Dabei kamen zunächst die figuralen Aufgaben zur Bearbeitungsgeschwindigkeit und Verarbeitungskapazität des BIS (Jäger et al., 1997) zum Einsatz. Die Bearbeitung dieser Aufgaben dauerte ungefähr 17 Minuten. Im Anschluss daran folgte der Vorwissenstest zum Viertaktmotor (ca. 10 Minuten). Nach dem Ausfüllen der Tests bekamen die Studierenden eine kurze Einführung über die Lernphase am PC. Dazu waren die Studierenden aufgefordert, ihren anfänglich im Testheft generierten persönlichen Code in ein Feld auf dem Computermonitor einzutragen und auf den Startbutton zu klicken. Auf der nun folgenden Instruktionseite wurde die Aufgabe zum Lernmaterial erläutert. Die Aufgabe war, die in der Animation gezeigten Vorgänge genau zu beobachten und zu verstehen. Außerdem wurde für die nächste Seite die Abbildung eines Standbildes angekündigt, in dem die Bestandteile des

Motors beschrieben sind. Nachdem die Versuchspersonen sich ein Bild machen konnten über die Aufgabe, die sie zu bearbeiten hatten, wurden sie gebeten, den Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation in der Langfassung (Rheinberg et al., 2001) auszufüllen. Danach folgten eine kurze Erläuterung der nun stattfindenden Blickbewegungsaufnahmen und eine Kalibrierung des jeweiligen Probanden. Im Anschluss daran wurde das Lernmaterial mit einem Klick auf einen grünen Pfeil gestartet. Die Lerner hatten 240 Sekunden Zeit, sich das Arbeiten des Motors je nach Zuordnung zur Gruppe in langsamer und schneller Geschwindigkeiten und aus zwei Perspektiven anzusehen und die Prozesse zu verstehen. Die Blickbewegungen wurden während der Lernphase aufgezeichnet. Nach der Lernphase wurden mentale Anstrengung und kognitive Belastung beim Lernen mit der Animation erfasst (Paas & van Merriënboer, 1993) sowie nach der Einschätzung gefragt, ob die Lernzeit ausreichend war. Weiterhin wurde die aktuelle Motivation vor dem Wissenstest mit der Kurzsкала des FAM (Rheinberg et al., 2001) erhoben. Danach folgte ein Wissenstest, der aus 34 Multiple-Choice-Items mit einer richtigen Antwortmöglichkeit bestand und Wissen bezüglich Mikro- und Makroereignissen der Animation abfragte. Nach der Beantwortung des Wissenstests folgte eine nochmalige Erfragung der mentalen Anstrengung und der kognitiven Belastung, dieses Mal in Bezug auf den Wissenstest. Für die Posttestphase gab es keine Zeitbegrenzung, die Versuchspersonen konnten den Posttestfragebogen in ihrer eigenen Geschwindigkeit ausfüllen. Insgesamt dauerten die Untersuchungen rund 60 Minuten und fanden als Einzeluntersuchungen im Labor statt. Nachdem der Posttestfragebogen ausgefüllt war, wurden die Versuchspersonen mit entweder 10€ oder zwei Versuchspersonenstunden entlohnt.

10.3.6 Auswertung

Die Blickbewegungsdaten wurden im Eyelink II Data Viewer vorbereitet. Dafür wurden sogenannte *Areas of Interest* definiert, welche die interessierenden Bereiche des Bildschirms festlegen. Die ausgelesenen und transformierten Daten wurden dann mit SPSS 20 für Windows analysiert. Zur Überprüfung der Hypothesen kamen *t*-Tests und varianzanalytische Verfahren zum Einsatz. Die Voraussetzung der zum Einsatz gekommenen Verfahren wurde jeweils geprüft (Bortz & Döring, 2003; Bortz, 2005). Dabei kamen sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Normalverteilung als auch der Levene-Test zur Prüfung der Varianzhomogenität zum Einsatz. Die statistischen Unterschiede wurden bei zweiseitiger Testung auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ überprüft. Kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten werden den Konventionen entsprechend kenntlich gemacht. Um

neben der statistischen Signifikanz auch Aussagen über die praktische Signifikanz der Ergebnisse machen zu können, werden Effektgrößen berichtet (Cohen, 1992). Für t -Tests wird das Differenzmaß d als Effektgröße angegeben. Cohen bezeichnet einen Effekt von $d = 0.2$ als kleinen, $d = 0.5$ als mittleren und $d = 0.8$ als großen Effekt. Für varianzanalytische Verfahren wird die Effektgröße η^2 berichtet, wobei ein η^2 von 0.01 als klein, ein η^2 von 0.10 als mittel und ein η^2 von 0.25 als groß zu bewerten ist (Bortz & Döring, 2003). Zusammenhänge wurden mittels Korrelationen berechnet. Hier wurde auf der Grundlage intervallskaliierter Daten der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r berechnet. Mittelwertsunterschiede wurden mittels t -Tests berechnet.

Bei der Analyse von Korrelationen beträgt die statistische Power ($1 - \beta$ -Fehler) für einen mittleren Effekt ($r = .30$) bei der gegebenen Stichprobengröße 25 Prozent bei zweiseitiger Testung und 37 Prozent bei einseitiger Testung. Für Mittelwertsvergleiche beträgt die statistische Power für einen mittleren Effekt ($d = 0.50$) 18 Prozent bei zweiseitiger Testung und 27 Prozent bei einseitiger Testung. Bei varianzanalytischen Auswertungen mit einem Messwiederholungs- und einem Gruppenfaktor mit je zwei Stufen beträgt die statistische Power für mittlere Effekte bei der gegebenen Stichprobe und den gegebenen Korrelationen zwischen den Wiederholungsmessungen 22 Prozent für den Haupteffekt des Gruppenfaktors, 58 Prozent für den Haupteffekt des Messwiederholungs-Faktors und 18 Prozent für die Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren (Faul et al., 2009).

10.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Analysen im Hinblick auf die Hauptforschungsfragen vorgestellt. Im Anschluss daran werden die Forschungsfragen 3 bis 7 beantwortet.

10.4.1 Analyse der Blickbewegungsdaten

Fixationen in verschiedenen Geschwindigkeiten

1. Unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Animation?

Hypothese 1a: Anzahl der Fixationen und Fixationsdauer unterscheiden sich beim Lernen mit langsamer Geschwindigkeit im Vergleich zum Lernen mit schneller Geschwindigkeit.

Hypothese 1b: Bei langsamer Geschwindigkeit werden andere Teile des Bildschirms betrachtet als bei schneller Geschwindigkeit.

Forschungsfrage 1 beschäftigte sich mit der Frage nach Unterschieden in den Blickbewegungsmustern in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Animation. Dabei wurden unterschiedliche Blickbewegungsmuster (Fixationen und Fixationsdauer) für den langsamen und schnellen Teil der Animation erwartet (Hypothese 1a). Zuerst wurden demnach die Anzahl der Fixationen und die durchschnittliche Fixationszeit im Hinblick auf die verschiedenen Geschwindigkeiten analysiert. Die Anzahl der Fixationen betrug im Mittel 183.47 in der langsamen Geschwindigkeit ($SD = 36.48$, $Min = 135$, $Max = 245$) und 148.74 in der schnellen Geschwindigkeit ($SD = 31.74$, $Min = 101$, $Max = 210$). Die durchschnittliche Fixationszeit betrug im Mittel 600.28 Millisekunden in der langsamen Geschwindigkeit ($SD = 128.77$, $Min = 429.28$, $Max = 826.95$) und 734.59 Millisekunden in der schnellen Geschwindigkeit ($SD = 130.47$, $Min = 514.04$, $Max = 968.67$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Anzahl der Fixationen und die mittlere Fixationszeit sind in Abbildung 10.2 dargestellt.

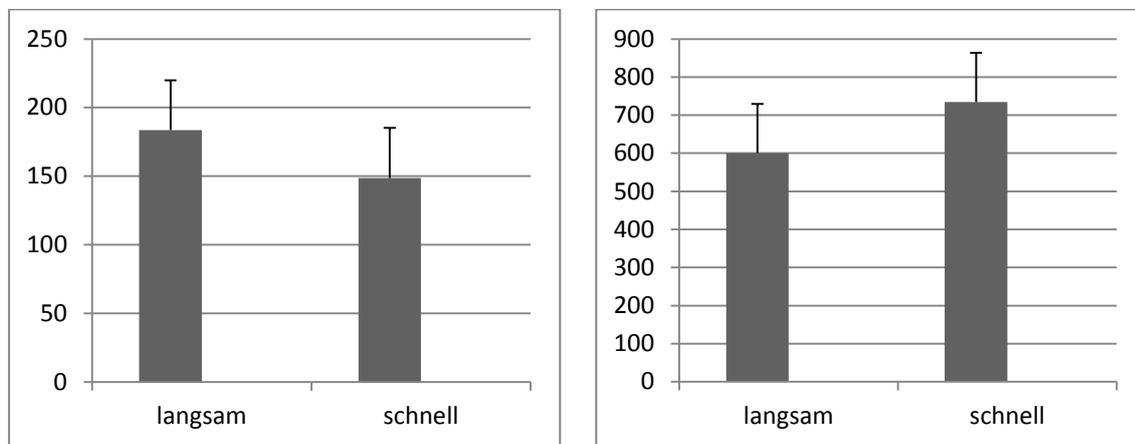


Abbildung 10.2. Anzahl der Fixationen (links) und durchschnittliche Fixationszeit in Millisekunden (rechts) bei langsamer und schneller Geschwindigkeit, Studie 2.

Zur Berechnung von Mittelwertsunterschieden in der Anzahl der Fixationen und der durchschnittlichen Fixationszeit je nach Geschwindigkeit wurden t -Tests für unabhängige Stichproben berechnet. In der langsamen Geschwindigkeit findet sich eine höhere Anzahl von Fixationen im Vergleich zur schnellen Geschwindigkeit. Dieser Mittelwertsunterschied ist signifikant ($t(33,30) = 3.21$, $p < .01$, $d = 1.04$). Die durchschnittliche Fixationszeit ist in der

langsamen Geschwindigkeit geringer als in der schnellen Geschwindigkeit. Auch dieser Unterschied in den Mittelwerten ist signifikant ($t(36) = 3.12, p < .01, d = 1.01$). Demnach unterscheiden sich also die Blickbewegungsmuster im Hinblick auf die Anzahl der Fixationen und der durchschnittlichen Fixationszeit zwischen langsamer und schneller Geschwindigkeit (Hypothese 1a).

Fixationen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten in verschiedenen „Areas of Interest“

In einem zweiten Schritt wurde genauer analysiert, welche Bereiche des Bildschirms die Lernenden in Abhängigkeit von der Animationsgeschwindigkeit betrachten (Hypothese 1b). Um die gesamte Fixationsdauer in bestimmten Bereichen des Bildschirms zu analysieren, wurden fünf „Areas of Interest“ (AOI) definiert. Es wird unterschieden zwischen (1) *Zahnräder, Frontansicht*, (2) *Ventile, Frontansicht*, (3) *Kolben, Frontansicht*, (4) *Ventile, Seitenansicht* und (5) *Kolben, Seitenansicht*. Von diesen Gebieten wird angenommen, dass sie entweder Mikro- (2, 4) oder Makroereignisse (1, 3, 5) zeigen (siehe Abbildung 10.3).

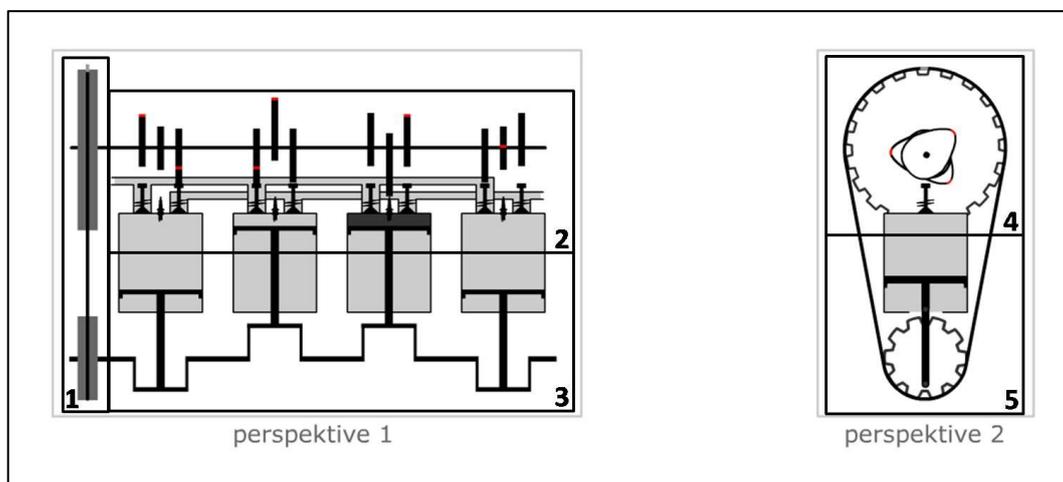


Abbildung 10.3. Lernmaterial mit definierten AOIs, Studie 2.

Es wird angenommen, dass beim Lernen mit langsamer Geschwindigkeit Mikroereignisse wie das Arbeiten der Ventile beobachtet werden, wohingegen bei schneller Geschwindigkeit Makroereignisse wie das Arbeiten der Kolben oder der Zahnräder fokussiert werden (Hypothese 1b). Die Fixationszeiten in diesen Gebieten wurden nur im Hinblick auf die Animationsgeschwindigkeit, nicht aber auf Sequenzierung der Animation analysiert. Die Hälfte der Lernzeit wurde im Gebiet (2) verbracht, in beiden Geschwindigkeiten (langsam:

$M = 50.89\%$, $SD = 17.96$; schnell: $M = 48.83\%$, $SD = 20.81$). In Tabelle 10.5 sind die Fixationszeiten in den verschiedenen AOIs nach Geschwindigkeit dargestellt.

Tabelle 10.5: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für die Fixationszeiten in 5 AOIs nach Geschwindigkeit, Studie 2.

	(1) Zahnräder	(2) Ventile Frontansicht	(3) Kolben Frontansicht	(4) Ventile Seitenansicht	(5) Kolben Seitenansicht
langsam	$M=2.77$ $SD=3.20$	$M=50.83$ $SD=18.39$	$M=21.05$ $SD=19.99$	$M=14.06$ $SD=11.77$	$M=6.63$ $SD=4.45$
schnell	$M=3.66$ $SD=5.50$	$M=47.90$ $SD=21.00$	$M=23.13$ $SD=19.72$	$M=12.50$ $SD=8.93$	$M=6.82$ $SD=5.14$

Die deskriptiven Ergebnisse zeigen, dass sich in allen AOIs ähnliche Fixationszeiten für die schnelle und langsame Geschwindigkeit der Animation finden. Das heißt, es finden sich keine spezifischen Fixationsmuster in den AOIs in Abhängigkeit von der Animationsgeschwindigkeit. Auch die Ergebnisse der Testung der Mittelwertsunterschiede zeigten keine signifikanten Ergebnisse. Hypothese 1b konnte demnach nicht bestätigt werden.

Um der Frage nachzugehen, ob die Sequenzierung einen Effekt auf die Blickbewegungsmuster in unterschiedlichen Geschwindigkeiten hat, wurden in einem weiteren Schritt die Blickbewegungsmuster in den AOIs in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Sequenzierung analysiert (Hypothese 2a).

Fixationen in unterschiedlichen Sequenzierungen in verschiedenen Areas of Interest

2. Wie beeinflusst die Sequenzierung der Geschwindigkeit die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen auf verschiedenen Hierarchieebenen?

Hypothese 2a: In Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheiden sich die Blickbewegungsmuster.

Hypothese 2b: In Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheidet sich der Lernerfolg.

Forschungsfrage 2 beschäftigte sich damit, wie die Sequenzierung der Geschwindigkeit die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen auf verschiedenen

Hierarchieebenen beeinflusst. Es wurde angenommen, dass sich die Blickbewegungsmuster in Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheiden (Hypothese 2a).

Tabelle 10.6 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen der gesamten Fixationszeiten für die schnelle und langsame Geschwindigkeit in allen AOIs für die Gruppen LS und SL.

Tabelle 10.6: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) für die Fixationszeiten in 5 AOIs nach Gruppe und Geschwindigkeit in Sekunden, Studie 2.

		(1) Zahnräder	(2) Ventile Frontansicht	(3) Kolben Frontansicht	(4) Ventile Seitenansicht	(5) Kolben Seitenansicht
Gruppe LS	langsam	M=3.84 SD=3.95	M=56.16 SD=13.46	M=13.76 SD=13.42	M=13.73 SD=08.56	M=8.75 SD=4.16
	schnell	M=5.38 SD=6.86	M=43.39 SD=22.97	M=24.66 SD=19.56	M=13.20 SD=9.65	M=8.33 SD=6.00
Gruppe SL	langsam	M=1.99 SD=1.92	M=44.82 SD=21.12	M=27.54 SD=23.64	M=14.49 SD=14.55	M=5.12 SD=4.66
	schnell	M=1.74 SD=1.87	M=54.87 SD=17.39	M=19.84 SD=20.15	M=12.51 SD=7.09	M=4.54 SD=3.26

Zur Überprüfung der Hypothese wurden zwei zweifaktorielle Varianzanalysen mit Meßwiederholung mit dem Between-Subject-Faktor „Sequenzierung“ (schnell-langsam vs. langsam-schnell) und dem Within-Subject-Faktor „Geschwindigkeit“ (schnell vs. langsam) berechnet. Für die Analysen wurden aggregierte Fixationszeiten für diejenigen AOIs berechnet, die mit der Vermittlung von Wissen über Mikro- und Makroereignisse in Verbindung gebracht werden. Das sind für Mikroereignisse die AOIs 2 und 4 und für Makroereignisse die AOIs 1, 3 und 5 (siehe Abbildung 10.3).

Für die Mikroereignisse zeigten die Ergebnisse der ANOVA keine signifikanten Haupteffekte für die Sequenzierung ($F(1, 17) < 1, ns$) und für die Geschwindigkeit ($F(1, 17) < 1, ns$). In beiden Gruppen wurden Mikroereignisse ungefähr gleich lange angeschaut in beiden Geschwindigkeiten. Aber es fand sich ein signifikanter Interaktionseffekt „Sequenzierung*Geschwindigkeit“ ($F(1, 17) = 6.60, p = .020, \eta^2 = 0.280$). Die Gruppe LS betrachtete Mikroereignisse länger in der langsamen Geschwindigkeit ($M = 66.08\%$, $SD = 11.81$) als in der schnellen Geschwindigkeit ($M = 53.69\%$, $SD = 26.29$). Die Gruppe SL

betrachtete Mikroereignisse länger in der schnellen Geschwindigkeit ($M = 61.99\%$, $SD = 20.92$) als in der langsamen Geschwindigkeit ($M = 53.82\%$, $SD = 23.64$). Mikroereignisse wurden in beiden Gruppen in der ersten Hälfte der Animation länger fixiert, unabhängig davon, in welcher Geschwindigkeit diese erste Hälfte abgespielt wurde. Im zweiten Teil der Animation nahm die Fixationszeit ab, aber immer noch war die Betrachtungszeit ähnlich in beiden Geschwindigkeiten.

Auch für die Makroereignisse fanden sich keine Haupteffekte „Sequenzierung“ ($F(1, 17) < 1$, ns) und „Geschwindigkeit“ ($F(1, 17) < 1$, ns), aber ein signifikanter Interaktionseffekt „Sequenzierung*Geschwindigkeit“ ($F(1, 17) = 5.63$, $p = .030$, $\eta^2 = 0.249$). Die Gruppe LS beobachtete Makroereignisse länger bei schneller Geschwindigkeit ($M = 36.58\%$, $SD = 25.43$) als bei langsamer Geschwindigkeit ($M = 25.00\%$, $SD = 11.98$). Die Gruppe SL betrachtete die entsprechenden AOIs länger in der langsamen Geschwindigkeit ($M = 31.52\%$, $SD = 22.56$) als in der schnellen Geschwindigkeit ($M = 23.90\%$, $SD = 19.44$). Die Fixationsdauer für Makroereignisse stieg an im zweiten Teil der Animation, unabhängig von der Geschwindigkeit dieses Teils. Makroereignisse wurde länger betrachtet, wenn der erste Teil der Animation in schneller Geschwindigkeit gespielt wurde, aber der Unterschied war nicht signifikant ($t(17) = 1.21$; ns). Hypothese 2a konnte demnach nicht bestätigt werden. Die Blickbewegungsmuster unterschieden sich nicht im Hinblick auf die Sequenzierung, sondern glichen sich für die jeweils ersten und zweiten Lernphasen der Animation.

Effekte der Sequenzierung auf den Lernerfolg

In Hinblick auf die Sequenzierung der Präsentationsgeschwindigkeiten wurde angenommen, dass sich der Lernerfolg in Abhängigkeit von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten unterscheidet (Hypothese 2b). Die deskriptiven Ergebnisse der Wissenstestskalen zeigten, dass die Probanden der Gruppe LS im Mittel 68.52 Prozent der Mikroaufgaben ($SD = 18.69$) und 26.15 Prozent der Makroaufgaben ($SD = 21.51$) richtig lösten. Die Probanden der Gruppe SL lösten durchschnittlich 66.95 Prozent der Mikroaufgaben ($SD = 26.65$) und 34.12 Prozent der Makroaufgaben ($SD = 12.82$) richtig. Die deskriptiven Ergebnisse der Rohwerte für den Wissenstest sind in Tabelle 10.4 dargestellt.

Tabelle 10.4: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Wissenstestskalen nach Gruppen, Studie 2.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Mikrowissen	LS	10	14.00	3.93	9.00	20.75
	SL	9	13.61	5.21	4.98	18.88
Makrowissen	LS	10	3.40	2.80	1.00	8.00
	SL	9	4.44	1.67	2.00	8.00

T-Tests auf Mittelwertsunterschiede zwischen den Gruppen im Hinblick auf das erworbene Mikro- und Makrowissen ergaben, dass sich die Probanden der Gruppen nicht hinsichtlich des Erwerbs von Wissen über Mikro- und Makroereignisse unterschieden (beide $t < 1$).

Im Hinblick auf den Lernerfolg unterschieden sich beide Gruppen also nicht in den tatsächlichen Werten (Rohwerten). Wenn man aber betrachtet, wie viel Mikrowissen im Vergleich zu Makrowissen gelernt wurde, unabhängig davon, wie viel Wissen überhaupt erworben wurde, findet sich ein Sequenzierungseffekt. Zu diesem Zweck wurde ein Indikator dafür berechnet, wie viel Makrowissen im Vergleich zu Mikrowissen ein Proband abhängig vom Gesamtestwert erworben hat. Dazu wurde der Anteil der korrekt beantworteten Makroitems durch den Anteil der insgesamt korrekt beantworteten Items geteilt. Die Gruppe LS erwarb mehr relatives Mikrowissen ($M = 81.18\%$, $SD = 9.56$) als die Gruppe SL ($M = 71.19\%$, $SD = 6.08$). Die Gruppe SL erwarb mehr relatives Makrowissen ($M = 28.09\%$, $SD = 6.08$) als die Gruppe LS ($M = 18.82\%$, $SD = 9.56$). Für die Berechnung der Sequenzierung im Hinblick auf die relativen Wissensmaße wurde eine einfaktorielle MANOVA mit dem Between-Subject-Faktor „Sequenzierung“ berechnet. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Effekt der Sequenzierung auf den Lernerfolg (Wilk's Lambda = 0.73, $F(1, 17) = 6.20$, $p = .024$, $\eta^2 = 0.267$). Hypothese 2b konnte demzufolge im Hinblick auf die relativen Lernerfolgsmaße bestätigt werden.

10.4.2 Testung der Hypothesen 3 bis 7

Tabelle 10.1: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Lernermerkmale nach Gruppen, Studie 2.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Vorwissen	LS	10	0.40	0.52	0	1.00
	SL	9	1.22	1.09	0	3.00
Verarbeitungs- kapazität	LS	10	17.80	5.63	8.00	27.00
	SL	9	15.33	5.87	8.00	23.00
Bearbeitungs- geschwindigkeit	LS	10	129.60	18.04	104.00	153.00
	SL	9	124.00	14.04	101.00	140.00

Tabelle 10.1 zeigt die deskriptiven Ergebnisse für die Leistungen im Vorwissenstest sowie die Leistungen im Test der räumlichen Fähigkeiten. Es finden sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Lernermerkmale in beiden Gruppen.

Der Mittelwertsunterschied des Vorwissens zwischen beiden Gruppen wurde mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests berechnet, da die Voraussetzungen für den Einsatz eines *t*-Tests nicht erfüllt waren. Zwar war die Normalverteilung der Grundgesamtheiten vorhanden (Kolmogorov-Smirnov-Z von $Z = 0.97$, *ns*), nicht aber die Varianzhomogenität. Der Levene-Test auf Varianzgleichheit zeigte ein signifikantes Ergebnis ($F(1, 17) = 7.07$, $p = .017$). Der Mann-Whitney U-Test ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Vorwissens in beiden Gruppen ($U(28, 30) = -1.76$, $p = .078$). Beide Gruppen unterschieden sich demnach nicht hinsichtlich des Vorwissens.

Für die Berechnung der Mittelwertsunterschiede bezüglich der räumlichen Fähigkeiten wurden *t*-Tests berechnet. Der Unterschied zwischen den Gruppen war weder für die Verarbeitungskapazität ($t(17) = 0.36$, *ns*) noch für die Bearbeitungsgeschwindigkeit ($t(17) = 0.46$, *ns*) signifikant. Die Gruppen unterschieden sich demnach nicht im Hinblick auf die räumlichen Fähigkeiten.

Forschungsfrage 3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 3: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des thematischen Vorwissens schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Mögliche Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg wurden mittels des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten r berechnet. Es fanden sich keine signifikanten Korrelationen zwischen dem Vorwissen und dem Mikrowissen ($r = .38$, ns) und dem Makrowissen ($r = .25$, ns). Die Annahme, dass Lerner mit hohem Vorwissen besser im Wissenstest abschneiden als Lerner mit niedrigem Vorwissen, konnte hier nicht bestätigt werden.

Forschungsfrage 4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Mögliche Zusammenhänge zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Lernerfolg, welche aufgrund der Ergebnisse der in Abschnitt 6.6 thematisierten empirischen Befunde angenommen werden, wurden mittels des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten r berechnet. Es fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verarbeitungskapazität und dem Mikrowissen ($r = .51$, $p = .027$). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Mikrowissen fand sich nicht. Auch fanden sich keine Zusammenhänge zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Makrowissen. Alle Korrelationen sind dem Anhang C1 zu entnehmen. Hypothese 4a konnte demnach nur teilweise, nämlich bezüglich des Mikrowissens, bestätigt werden. Hypothese 4b konnte nicht bestätigt werden. Im Hinblick auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit fanden sich keine Zusammenhänge mit den Skalen des Wissenstests.

Forschungsfrage 5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Die deskriptiven Ergebnisse der Skalen der Motivation zeigten für alle Skalen mittlere Werte bis hohe Werte. In Tabelle 10.2 sind die deskriptiven Ergebnisse für die Skalen der Motivation vor Beginn der Aufgabe und nach Bearbeitung des Wissenstests dargestellt.

Tabelle 10.2: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Motivationsvariablen nach Gruppen, Studie 2.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
FAM Interesse	LS	10	3.80	0.91	2.40	5.40
	SL	9	3.80	1.02	2.20	5.20
FAM Herausforderung	LS	10	3.95	1.21	2.00	5.75
	SL	9	4.19	0.59	3.00	4.75
FAM Erfolgswahrscheinlichkeit	LS	10	4.06	1.04	2.00	5.25
	SL	9	4.31	1.35	1.75	6.00
FAM Misserfolgsbefürchtung	LS	10	3.22	1.93	1.00	6.80
	SL	9	2.47	1.30	1.00	4.60
FAM Wissenstest	LS	10	4.14	0.73	2.90	5.20
	SL	9	4.00	0.53	3.00	4.80

Bezüglich der Motivation unterschieden sich die beiden Gruppen nicht. Die *t*-Tests auf Gruppenunterschiede zeigten auch im Hinblick auf die Motivationsskalen keine signifikanten Ergebnisse (alle $t < 1$).

Für die Beantwortung der Frage nach möglichen Zusammenhängen zwischen der Motivation und dem Lernerfolgsmaßen wurde auf die Berechnung der Zusammenhangsmaße mittels des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten zurückgegriffen. Es fanden sich überraschenderweise keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Skalen der

Motivation und dem Mikro- oder Makrowissen. Die Hypothesen 5a und 5b können dementsprechend nicht bestätigt werden. Die Korrelationen sowie Interkorrelationen können dem Anhang C2 entnommen werden.

Forschungsfrage 6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 6a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 6b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests und dem Wissenstestwert.

Tabelle 10.3 zeigt die deskriptiven Ergebnisse der Variablen „kognitive Belastung“ und „mentale Anstrengung“ für die Gruppen LS und SL jeweils bezüglich des Lernens mit der Animation und bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests. Die Daten zeigen, dass die erlebte kognitive Belastung während des Lernen mit der Animation insgesamt als weder besonders hoch noch besonders niedrig eingeschätzt wurde, wohingegen die kognitive Belastung während der Bearbeitung des Wissenstest als im Vergleich höher erlebt wurde. Auch die berichtete investierte mentale Anstrengung sowohl im Hinblick auf das Lernen mit der Animation als auch im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests liegt für beide Gruppen über dem Mittelwert der Skala.

Tabelle 10.3: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Variablen der kognitiven Belastung (*CL*) und mentalen Anstrengung (*ME*) nach Gruppen, Studie 2.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
CL Animation	LS	10	2.80	0.79	2.00	4.00
	SL	9	2.78	1.30	1.00	5.00
ME Animation	LS	10	4.80	1.23	2.00	6.00
	SL	9	3.89	1.62	1.00	6.00
CL Test	LS	10	4.70	0.95	3.00	6.00
	SL	9	4.44	1.13	3.00	6.00
ME Test	LS	10	4.90	1.29	3.00	6.00
	SL	9	4.44	1.01	3.00	6.00

Auch im Hinblick auf sowohl die Variablen der kognitiven Belastung während des Lernens und während der Bearbeitung des Wissenstests als auch die Variablen der mentalen Anstrengung während des Lernens und während der Bearbeitung des Wissenstests zeigten die *t*-Tests auf Gruppenunterschiede keine signifikanten Ergebnisse ($0.046 \leq t \leq 1.392$, *ns*). Bei der Berechnung möglicher Zusammenhänge der Cognitive Load-Skalen mit dem Lernerfolg zeigte sich eine negative signifikante Korrelation zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem erworbenen Mikrowissen ($r = -.48$, $p = .040$). Weitere signifikante Zusammenhänge fanden sich nicht (siehe Anhang C3). Hypothese 6a konnte also nicht bestätigt werden. Die erlebte kognitive Belastung während der Lernphase hatte keinen Effekt auf den Lernerfolg. Hypothese 6b konnte nur im Hinblick auf das Mikrowissen bestätigt werden. Hier fand sich ein negativer Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung und dem erworbenen Wissen.

Forschungsfrage 7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 7a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalters im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 7b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalters im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 7c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

Die Berechnungen möglicher Zusammenhänge zwischen den Skalen der Motivation und der mentalen Anstrengung während des Lernens mit der Animation und während der Bearbeitung des Wissenstests zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest und die mentale Anstrengung während der Bearbeitung des Wissenstests ($r = .49$, $p = .034$). Die Korrelationen zwischen den übrigen Motivationsskalen und Maßen der mentalen Anstrengung waren nicht signifikant (siehe Anhang C4). Es fanden sich auch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der mentalen Anstrengung im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und dem Lernerfolg (Mikrowissen: $r = .20$, *ns*; Makrowissen: $r = .26$, *ns*). Demnach konnte die Annahme bestätigt werden, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Motivation bezüglich der

Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests gibt (Hypothese 7b). Die Hypothesen 7a und 7c konnten dagegen nicht bestätigt werden.

10.5 Zusammenfassung und Diskussion

Studie 2 ging der Frage nach, wie verschiedene Geschwindigkeiten der Animation die Verarbeitung dynamischer Informationen auf verschiedenen Hierarchieebenen beeinflussen. Dazu wurden Blickbewegungen der Probanden während des Lernens aufgezeichnet. Weiterhin wurde der Einfluss verschiedener Kombinationen von schneller und langsamer Geschwindigkeit auf die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung untersucht.

Im Hinblick auf die Anzahl der Fixationen und die durchschnittliche Fixationszeit zeigte sich ein Unterschied in den Blickbewegungen ja nachdem, ob die Animation in langsamer oder schneller Geschwindigkeit gesehen wurde. Bei langsamer Abspielgeschwindigkeit zeigte sich eine höhere Anzahl von Fixationen als bei schneller Abspielgeschwindigkeit, diese Fixationen sind aber im Durchschnitt kürzer im Vergleich zur schnellen Geschwindigkeit. Dies entspricht der Annahme, dass sich die Blickbewegungsmuster in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Animation unterscheiden.

Bezüglich der Analyse der Fixationszeiten in den 5 definierten AOIs in Abhängigkeit von der Animationsgeschwindigkeit zeigten sich aber keine Unterschiede zwischen langsamer und schneller Geschwindigkeit. Es scheint, als würde nicht die Animationsgeschwindigkeit beeinflussen, welche Informationen verarbeitet werden, sondern die Sequenzierung der Animation.

Dementsprechend wurden in einem nächsten Schritt die Fixationen in den AOIs in Abhängigkeit von der Sequenzierung analysiert. Überraschenderweise beeinflussen weder Sequenzierung noch die Geschwindigkeit die Fixationszeiten in den definierten AOIs. Die Blickbewegungsmuster im Hinblick auf die Fixationszeiten glichen sich für die erste und zweite Lernphase. Trotzdem wechselt die Aufmerksamkeit während des Lernens von Mikroereignissen zu Makroereignissen. Die getrennte Analyse derjenigen AOIs, von denen angenommen wird, dass sie entweder Mikro- oder Makroereignisse darstellen, zeigte, dass die Lerner Mikroereignisse länger betrachteten als Makroereignisse, unabhängig von der Sequenzierung der Geschwindigkeiten. Die Ergebnisse deuten sogar darauf hin, dass, unabhängig von der Geschwindigkeit der Animation, Mikroereignisse in der ersten Lernphase

betrachtet wurden und Makroereignisse in der zweiten Lernphase. In der Gruppe LS nahm die Fixationszeit für Makroereignisse von der ersten Lernphase (langsame Geschwindigkeit) zur zweiten Lernphase (schnelle Geschwindigkeit) signifikant zu. In der Gruppe SL nahm die Fixationszeit für Mikroereignisse von der ersten Lernphase (schnelle Geschwindigkeit) zur zweiten Lernphase (langsame Geschwindigkeit) signifikant ab. Es scheint also so zu sein, dass Mikroereignisse, wie beispielsweise die Bewegung der Ventile, als wichtig betrachtet werden auch wenn die Animation bei schneller Geschwindigkeit gesehen wird. Möglicherweise ist es wichtig, das Arbeiten der Ventile zu verstehen, um die Funktionsweise des Motors nachvollziehen zu können. Eine alternative Erklärung könnte aber auch sei, dass die in AOI 2 und 4 dargestellten Vorgänge auch bei hoher Geschwindigkeit noch salient und relativ gut beobachtbar sind und die visuelle Aufmerksamkeit der Lerner auf sich ziehen.

Im Hinblick auf die Frage nach dem Einfluss der Sequenzierung auf den Lernerfolg scheint es so zu sein, dass in der ersten Hälfte der Animation anteilig mehr Wissen über Mikroereignisse erworben wird, wenn die Animation langsam gespielt wird, als wenn sie in der zweiten Hälfte langsam gespielt wird. Dasselbe gilt für das Makrowissen. Es wird dann mehr anteiliges Makrowissen im Vergleich zu Mikrowissen erworben, wenn die Animation in der ersten Hälfte schnell gespielt wird. Die zuerst gesehene Geschwindigkeit scheint dominant zu sein. Je nachdem, ob sie schnell oder langsam ist, scheint mehr Wissen im Vergleich zur anderen Geschwindigkeit erworben zu werden. Die Ergebnisse können als ein weiterer Hinweis auf den Einfluss der Animationsgeschwindigkeit auf die Salienz unterschiedlicher hierarchischer Ebenen gesehen werden. Dabei ist einschränkend darauf hinzuweisen, dass es sich hierbei um die Analyse der relativen Wissensmaße handelt, nämlich dem Anteil an erworbenem Mikro-/Makrowissen am insgesamt erworbenen Wissen. Trotzdem ist festzuhalten, dass insgesamt in beiden Gruppen mehr Mikrowissen erworben wurde, da auch in der schnellen Geschwindigkeit die Tendenz besteht, Mikroereignisse zu beobachten. Das passiert besonders dann, wenn die Animation zuerst schnell gesehen wird (Gruppe SL). Die Verarbeitung der Informationen scheint nicht nur bottom-up-, sondern auch top-down-gesteuert zu sein (siehe Fischer et al., 2006). Die Sequenzierung „langsam – schnell“ scheint den Bedingungen der Lerner im Hinblick auf die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung der dynamischen Informationen eher entgegen zu kommen als die Sequenzierung „schnell – langsam“. Darauf deutet zumindest die Analyse der Blickbewegungsmuster für beide Gruppen hin.

Das Problem bei der Interpretation der Wissenstestergebnisse besteht allerdings darin, dass der Wissenstest erst im Anschluss an das Lernen mit der Animation stattfand. Es wurde also nicht zwischen den beiden Lernphasen in den unterschiedlichen Geschwindigkeiten geprüft, wie viel und welche Art von Wissen erworben wurde. Das war aufgrund der Durchführung dieser Studie mithilfe der Blickbewegungsmessung nicht anders zu realisieren. Um dem Einfluss der Sequenzierung auf den Wissenserwerb genauer nachzugehen, wurde eine vierte Studie durchgeführt, die in Kapitel 11 beschrieben ist.

Lernermerkmale. Im Hinblick auf die Lernermerkmale fand sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg, weder auf der Skala der Mikroereignisse noch auf der Skala der Makroereignisse. Dieser fehlende Zusammenhang ist möglicherweise dem insgesamt sehr niedrigen Vorwissen der Probanden geschuldet. In der Studie, wie auch in den anderen Studien der Arbeit, war es durchaus beabsichtigt, dass die Lerner möglichst wenig Vorwissen zum Thema der Animation mitbringen. So sollte sichergestellt werden, dass die Lernenden den Wissenstest aufgrund des während des Lernens mit der Animation erworbenen Wissens beantworten und nicht aufgrund von schon vorhandenem Wissen über den Viertaktmotor. Im Hinblick auf die räumlichen Fähigkeiten fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verarbeitungskapazität und dem Mikrowissen, aber nicht zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Mikrowissen. Auch fanden sich keine Zusammenhänge zwischen der Verarbeitungskapazität und dem Makrowissen und der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Makrowissen. Diese fehlenden Zusammenhänge sind möglicherweise auf die insgesamt größere Heterogenität der Makroaufgaben im Vergleich zu den Mikroaufgaben und der höheren Schwierigkeit der Makroaufgaben zu sehen. Der Anteil der richtig gelösten Makroaufgaben war mit rund 33 Prozent relativ niedrig. Der fehlende erwartete Zusammenhang zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Lernerfolg steht in Einklang mit den Ergebnissen aus Studie 1 und unterstützt damit die Interpretation, dass diese Variable (zumindest im Kontext dieser Studien) möglicherweise nicht im engeren Sinne als räumliche Fähigkeit zu sehen ist.

Cognitive Load. Die Ergebnisse bezüglich der erlebten kognitiven Belastung zeigten, dass das Lernen mit der Animation als nicht besonders schwierig empfunden wurde, wohingegen die kognitive Belastung während der Bearbeitung des Wissenstests als höher erlebt wurde. Auch die Werte für die investierte mentale Anstrengung sind als eher hoch einzustufen, sowohl beim Lernen mit der Animation als auch bei der Bearbeitung des Wissenstests. Beide Gruppen unterschieden sich nicht. Hier wäre, gerade im Hinblick auf einen möglichen Effekt

der Sequenzierung auf die erlebte kognitive Belastung, interessant, ob sich die Schwierigkeitseinschätzung je nach Präsentationsgeschwindigkeit unterscheidet. Darüber sind aber an dieser Stelle leider keine Aussagen möglich, da dazu eine Abfrage der Einschätzungen nach jeder Sequenz hätte stattfinden müssen, was aus durchführungstechnischen Gründen in dieser Studie nicht möglich war. Interessant ist zu erwähnen, dass die kognitive Belastung während des Lernens mit der Animation trotz der Anwendung der Blickbewegungsmessung augenscheinlich nicht höher, sondern eher niedriger war als in Studie 1. Das Lernen scheint dadurch nicht wesentlich gestört worden zu sein.

Die Ergebnisse im Hinblick auf die Zusammenhänge zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Lernerfolg sowie zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg zeigten, dass sich eine hohe kognitive Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests negativ auf den Lernerfolg auswirkt. Lerner, die die Bearbeitung des Wissenstests als anstrengend erlebt haben, zeigten schlechtere Werte im Wissenstest als Lerner, die die Bearbeitung des Wissenstests als weniger anstrengend erlebt haben. Anders herum ist natürlich auch die Interpretation der Ergebnisse dahin gehend möglich, dass Lerner das Bearbeiten eines Tests, den sie nicht gut können, als belastender erlebten, als Lerner, die den Tests gut bearbeiten können. Der signifikante Zusammenhang fand sich dabei ausschließlich für die Skala Mikrowissen. Auch hier sei an dieser Stelle auf die unterschiedlichen Reliabilitäten der beiden Wissenstestskalen hingewiesen.

Im Hinblick auf die mentale Anstrengung fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest und die mentale Anstrengung während der Bearbeitung des Wissenstests. Eine hohe Motivation während der Wissenstestbearbeitung führte demnach zu einer höheren Investition kognitiver Ressourcen bei der Bearbeitung des Tests als eine niedrige Motivation.

Motivation. Zwischen den erfassten Variablen der Motivation und dem Lernerfolg konnten in dieser Studie keine Zusammenhänge gefunden werden. Insgesamt waren die Lerner sowohl vor dem Lernen mit der Animation als auch im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstest relativ hoch motiviert. Möglicherweise ist die zu kleine Stichprobe von 19 Probanden ein Grund für das Ausbleiben der erwarteten Zusammenhänge.

11 Studie 3 – Sequenzierung von Geschwindigkeiten

11.1 Zielsetzung

Ziel von Studie 3 war es, den Einfluss der Sequenzierung auf den Erwerb von Wissen über Mikro- und Makroereignisse genauer zu untersuchen. Es ging hier vor allem um die Frage, Wissen welcher Art (Mikro- oder Makrowissen) unter welcher Geschwindigkeitsbedingung gelernt wird und um die Frage, welches Geschwindigkeitsmuster sich am besten für den Aufbau eines mentalen Modells der Funktionsweise des Viertaktmotors eignet. Weiterhin sollte geklärt werden, wie eng das Verhältnis zwischen Wahrnehmung und kognitiver Verarbeitung ist.

Basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Studien stellt sich die Frage nach dem Verhältnis zwischen Wahrnehmung und kognitiver Verarbeitung dynamisch dargestellter Informationen. Ausgehend von einer „lokalen“ Perspektive kann man für ein unmittelbares Mapping einer (langsamen oder schnellen) Geschwindigkeit auf den Erwerb von Mikro- oder Makrowissen argumentieren. Hier wird ein enger Zusammenhang angenommen: Wenn eine Animation bei schneller Geschwindigkeit gesehen wird, von der angenommen wird, dass sie Makroereignisse salient macht, führt das zu Wissenserwerb über Makroereignisse. Wenn eine Animation bei langsamer Geschwindigkeit gesehen wird, von der angenommen wird, dass sie Mikroereignisse betont, führt das zu Wissenserwerb über Mikroereignisse. Diese Perspektive wurde, basierend auf den Ergebnissen der aktuellen Forschung zum Lernen mit Animationen (z.B. Fischer et al., 2008; Fischer & Schwan, 2010; vgl. Abschnitt 6.5.2) in den vorangegangenen Studien angenommen. Die Ergebnisse der bisherigen Studien deuten zwar teilweise auf einen engen Zusammenhang hin, zeigen aber kein eindeutiges Bild, welches mit dieser Sicht in Einklang steht.

Die Blickbewegungsanalysen der Studie 2 legen vielmehr nahe, dass die Verarbeitung nicht nur bottom-up-, sondern auch top-down-gesteuert stattfindet. Es werden im Trend die Ereignisse weiterverfolgt, die in der ersten Geschwindigkeit geprint wurden. Demnach ist schon zuerst geschwindigkeitsabhängig, was salient ist und gesehen wird. Das wird dann aber weiterbeobachtet, unabhängig von der aktuell gesehenen Geschwindigkeit. Es ergibt sich aus der Interpretation der Ergebnisse eine neue Sichtweise auf die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung der Informationen auf verschiedenen dynamischen Hierarchieebenen. Aus einer reflektierten Perspektive könnte man auch über einen vermittelten Zusammenhang zwischen

Wahrnehmung und kognitiver Verarbeitung nachdenken. Hier kommen individuelle Lernermerkmale und allgemeine kognitive Voraussetzungen ins Spiel. Die kognitive Verarbeitung hängt nicht allein von der aktuellen (schnellen oder langsamen) Präsentation der Geschwindigkeit ab, sondern auch davon, welche Informationen vor der aktuellen Geschwindigkeitspräsentation verarbeitet wurden. Diese Perspektive enthält zwei Komponenten: (1) *perzeptuelles Priming*, nämlich welches dynamische Hierarchielevel (Mikro oder Makro) wurde während der ersten Geschwindigkeitspräsentation betont (dies entspricht der „lokalen Perspektive“ und (2) *Spillover*, abhängig davon, welche dynamische Hierarchieebene in der ersten Geschwindigkeitspräsentation hervorgehoben wurde, findet die weitere kognitive Verarbeitung auf dieser dynamischen Hierarchieebene statt, unabhängig von der aktuellen Geschwindigkeitspräsentation. Das heißt, die erste Animation in einer Sequenz von Animationen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten definiert das Gerüst für die weitere kognitive Verarbeitung. Diese Perspektive wird im Folgenden „Perzeptuelles Priming und Spillover“ genannt.

11.2 Fragestellung und Hypothesen

Ausgehend von den ausgeführten Überlegungen und basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Studien, insbesondere von Studie 2, wird in Studie 3 ein erweitertes Verständnis über das Verhältnis von Wahrnehmung und kognitiver Verarbeitung zugrunde gelegt. Es lassen sich folgende Hypothesen ableiten:

(1) Dynamische Sensitivitäts-Hypothese

Die erste Hypothese beschäftigt sich mit der Frage, ob eine Sensitivität für Geschwindigkeitsunterschiede auf verschiedenen kognitiven Ebenen existiert. Das heißt, ob eine schnelle Geschwindigkeit Makroereignisse hervorhebt und eine langsame Geschwindigkeit Mikroereignisse.

Hypothese 1a: Eine langsame Geschwindigkeitspräsentation führt zu einem signifikanten Wissenszuwachs auf der Ebene der Mikroereignisse. Bei langsamer Geschwindigkeit sind Mikroereignisse salient und können beobachtet werden. Demnach sollte die Gruppe mit der Sequenzierung „langsam-schnell“ beim Mikrowissenstest nach der ersten Lernsequenz (Testzeitpunkt 1) besser abschneiden als die Gruppe mit der Sequenzierung „schnell-langsam“.

Hypothese 1b: Eine schnelle Geschwindigkeitspräsentation führt zu einem signifikanten Wissenszuwachs auf der Ebene der Makroereignisse. Bei schneller Geschwindigkeit sind Makroereignisse salient und können beobachtet werden. Demnach sollte die Gruppe mit der Sequenzierung „schnell-langsam“ beim Makrowissenstest nach der ersten Lernsequenz (Testzeitpunkt 1) besser abschneiden als die Gruppe mit der Sequenzierung „langsam-schnell“.

(2) Primed Setting-Hypothese

Die zweite Hypothese nimmt an, dass abhängig von der zuerst gesehenen Geschwindigkeit (priming) eine Basis geschaffen wurde, auf der entweder Mikro- oder Makroereignissen beobachtet werden, auch bei veränderter Geschwindigkeitspräsentation. Diese Basis wird durch die erste Geschwindigkeitspräsentation erzeugt und wird dann auch während der zweiten Geschwindigkeitspräsentation weiter genutzt (spillover).

Hypothese 2a: Basierend auf der Annahme, dass die Geschwindigkeit der Animation während der ersten Lernphase einen Einfluss darauf hat, welche (Mikro- oder Makro-) Ereignisse während der zweiten Lernphase wahrgenommen werden, wird eine Interaktion zwischen der Sequenzierung und dem Messzeitpunkt angenommen. Der Lernzuwachs auf der Skala der Mikroereignissen sollte in der Gruppe mit der Sequenzierung „langsam-schnell“ höher sein als in der Gruppe mit der Sequenzierung „schnell-langsam“.

Hypothese 2b: Basierend auf der Annahme, dass die Geschwindigkeit der Animation während der ersten Lernphase einen Einfluss darauf hat, welche (Mikro- oder Makro-) Ereignisse während der zweiten Lernphase wahrgenommen werden, wird eine Interaktion zwischen der Sequenzierung und dem Messzeitpunkt angenommen. Der Lernzuwachs auf der Skala der Makroereignissen sollte in der Gruppe mit der Sequenzierung „schnell-langsam“ höher sein als in der Gruppe mit der Sequenzierung „langsam-schnell“.

Die folgenden Forschungsfragen und dazugehörigen Hypothesen sind analog zu den Forschungsfragen in den Studien 1 und Studie 2 formuliert. Für die theoretische Herleitung siehe Abschnitt 9.2.

3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 3: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des Vorwissens schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 6a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 6b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests und dem Wissenstestwert.

7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 7a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 7b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lerners im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 7c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

11.3 Methode

11.3.1 Lernmaterial

Als Lernmaterial kam die schon in Studie 2 eingesetzte Version der Animation zum Viertaktmotor zum Einsatz. Die Animation war nicht von Nutzer zu steuern und wurde in vorgegebener Reihenfolge in zwei verschiedenen Geschwindigkeiten präsentiert. In der langsamsten Geschwindigkeit waren 2 Durchgänge des Viertaktmotors pro Minute zu sehen, in der schnellen Geschwindigkeit 24 Durchgänge pro Minute. Die Perspektiven waren wieder in gleicher Größe auf dem Bildschirm dargestellt. Allerdings gab es in Studie 3 wieder zwei Versionen des Lernmaterials mit entweder der Frontansicht auf der linken Seite des Bildschirms und der Seitenansicht auf der rechten Seiten des Bildschirms oder anders herum. Eine der Perspektiven war jeweils verdeckt und konnte durch Anklicken sichtbar gemacht werden. Im selben Moment wurde die andere Perspektive verdeckt dargestellt. Abbildung 11.1 zeigt die Version der Animation mit der Frontansicht links und der Seitenansicht rechts auf dem Bildschirm.

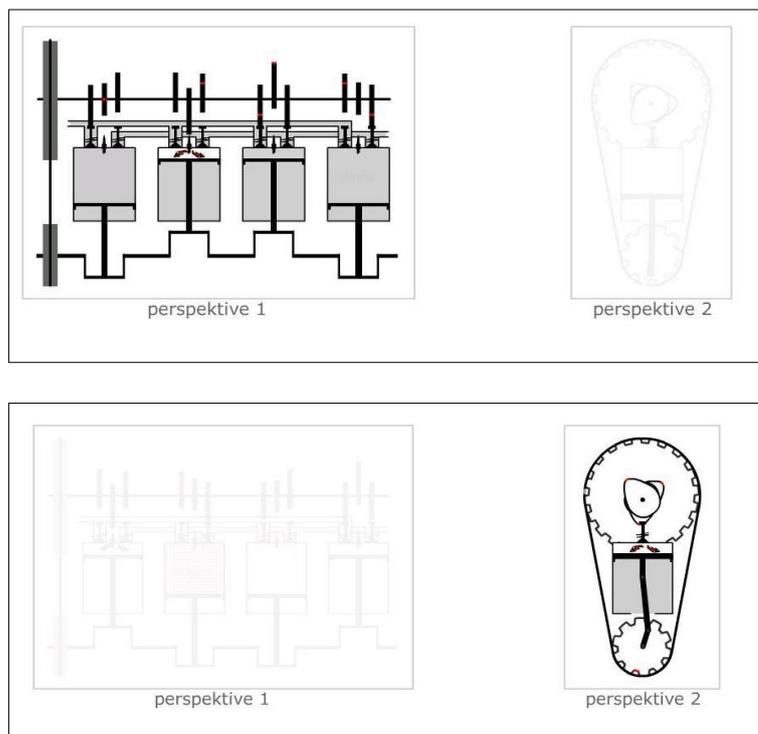


Abbildung 11.1. Screenshots der Animation in Studie 3 mit jeweils Front- oder Seitenansicht verdeckt dargestellt.

11.3.2 Messinstrumente

Lernerfolg

Zur Erfassung des Lernerfolgs nach jeder Lernphase (Geschwindigkeit) wurden zwei parallele Tests A und B aus dem Wissenstest gebildet, der auch in den Studien 1 und 2 eingesetzt wurde. Für die Erstellung der parallelen Tests wurden zunächst die Items des gesamten Wissenstests nach Mikro- und Makroitems aufgeteilt. Drei Items, die aus jeweils drei Aufgaben bestanden, wurden dabei getrennt, so dass daraus insgesamt neun Items resultierten. Ein Mikroitem wurde so umgeschrieben, dass ein Makroitem daraus entstand. Weiterhin wurden drei zusätzliche Items formuliert. Die Mikro- und Makroitems wurden in einem nächsten Schritt zunächst nach augenscheinlicher Schwierigkeit und nach ähnlichen Inhalten geordnet und anschließend in zwei Wissenstests aufgeteilt, wobei eine gleichmäßige Verteilung hinsichtlich Schwierigkeit und Inhalt der Items angestrebt wurde.

Beide parallele Tests beinhalteten jeweils 12 Mikroitems und 8 Makroitems, die innerhalb der Tests durchmischt dargeboten wurden (siehe Anhang D1). Zu Beginn des ersten Wissenstests erfolgte außerdem, wie auch in den vorangegangenen Studien, eine Abfrage der Bestandteile des Viertaktmotors anhand des Standbildes, welches vor der ersten Animation gezeigt wurde, um zu prüfen, ob die Versuchspersonen die Begriffe, die auch zum Verständnis der Fragen notwendig sind, kennen. Zur Prüfung der Parallelität der Tests A und B wurden beide Versionen in unterschiedlicher Reihenfolge gegeben. Innerhalb beider Versuchsgruppen bekam jeweils die Hälfte der Probanden nach der ersten Lernphase Test A und nach der zweiten Lernphase Test B, bei der anderen Hälfte war es anders herum. Die internen Konsistenzen für die Skalen der Testversionen waren wie folgt: Mikrowissen Test A: Cronbach's $\alpha = .78$, Makrowissen Test A: Cronbach's $\alpha = .44$, Mikrowissen Test B: Cronbach's $\alpha = .70$, Makrowissen Test B: Cronbach's $\alpha = .25$.

Vorwissen

Zur Erfassung des Vorwissens kam der Vorwissenstest aus den Studien 1 und 2 zum Einsatz (siehe Abschnitt 9.3.2 und Anhang B2). Cronbachs α betrug für den Vorwissenstest $\alpha = .36$.

Räumliche Fähigkeiten

Räumliche Fähigkeiten wurden, wie in den Studien 1 und 2 mit den Komponenten Verarbeitungskapazität und Bearbeitungsgeschwindigkeit im Bereich figuraler Aufgaben des BIS (Jäger et al., 1997) erfasst. Für eine genauere Darstellung siehe Abschnitt 9.3.2. In Studie

3 lagen die internen Konsistenzen bei $\alpha = .55$ für die Verarbeitungskapazität und $\alpha = .50$ für die Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Motivation

Die aktuelle Motivation vor dem Lernen mit der Animation wurde, wie in den vorangegangenen Studien mittels der Langform des FAM (Rheinberg et al., 2001) erfasst. Für eine genauere Darstellung der Instrumente zur Erfassung der Motivation siehe Abschnitt 8.3.1 und Anhänge A3 und A4.

Kognitive Belastung

Auch die Maße der kognitive Belastung und mentalen Anstrengung wurden mit den Instrumenten der vorhergehenden Studien erhoben (siehe Abschnitt 8.3.1).

Verhaltensvariablen

Um Informationen darüber zu gewinnen, wieviel Lernzeit die Versuchspersonen mit dem Beobachten der einzelnen Perspektiven verbracht haben, wurde das Lernerverhalten während der Bearbeitung der Animation in Form von Logfiles gespeichert. Dabei wurde aufgezeichnet, wie lange jede Perspektive beobachtet wurde und wie oft zwischen den Perspektiven gewechselt wurde.

11.3.3 Design

In Studie 3 kam ein zweifaktorielles Messwiederholungsdesign mit dem Between-Subject-Faktor „Sequenzierung“ (langsam-schnell [LS] vs. schnell-langsam [SL]) und dem Within-Subject-Faktor „Testzeitpunkt“ (TZP 1 und TZP 2) zum Einsatz. Die Studierenden wurden einer der beiden Bedingungen zufällig zugeordnet. Als *abhängige Variablen* wurde die Leistung im Wissenstest im Hinblick auf die Skalen Mikrowissen und Makrowissen zu zwei Testzeitpunkten erhoben. Als *unabhängige Variablen* dienten das Vorwissen, die Skalen Bearbeitungsgeschwindigkeit bei figuralen Aufgaben und die Verarbeitungskapazität bei figuralen Aufgaben (BIS; Jäger et al. 1997), die Motivation sowie die kognitive Belastung.

11.3.4 Stichprobe

An Studie 3 nahmen insgesamt 70 Studierende der Universität Koblenz-Landau teil. Sieben Versuchspersonen wurden wegen zu hohen Vorwissens, zwei weitere Versuchspersonen wegen zu vieler fehlender Werte beim Wissenstest ausgeschlossen. Drei weitere Versuchspersonen wurden nach der Berechnung der Standardabweichungen der

Probanden auf den vier Skalen des Wissenstests (Testzeitpunkt 1 und 2 für die Skalen Mikro- und Makrowissen) von der Analyse ausgeschlossen. Für den Ausschluss wurde ein Intervall mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% festgelegt, was alle Versuchspersonen mit Standardabweichungen zwischen -2.33 und $+2.33$ einschließt.

Die endgültige Stichprobe setzte sich demnach aus 58 Studierenden (10 männlich und 48 weiblich) zusammen. Das durchschnittliche das Alter der Versuchspersonen betrug 22.6 Jahre ($SD = 3.60$), bei einem Altersrange von 18 bis 34 Jahre. Unter den Versuchspersonen befanden sich 48 Frauen und 10 Männer. 28 Probanden sahen die Animation zuerst langsam und dann schnell (Version LS) und 30 Probanden sahen die Animation zuerst schnell und dann langsam (Version SL). Die Versuchspersonen erhielten als Entlohnung zwei Versuchspersonenstunden oder 8€.

11.3.4 Durchführung

Studie 3 fand im Wintersemester 2007/2008 an der Universität Koblenz-Landau statt. Für die Untersuchungen wurde der Experimentalraum der Abteilung „Allgemeine und Pädagogische Psychologie“ genutzt. Im Experimentalraum standen bis zu acht PC-Arbeitsplätze mit Monitoren, die eine Bildschirmgröße von 19" hatten, zur Verfügung. Die Untersuchung wurde von einem Testleiter durchgeführt, der die Probanden anhand eines angefertigten Testleiterskripts durch die Testsitzung führte.

Zunächst wurden die Versuchspersonen den zur Verfügung stehenden Computerarbeitsplätzen zugewiesen. Die Wissenstests A und B wurden, jeweils in einem separaten Umschlag, an den PC-Arbeitsplätzen bereitgelegt. Die Umschläge waren mit „Umschlag A“ und „Umschlag B“ beschriftet. Nach einer Begrüßung und der Erläuterung des Ablaufs der Untersuchung waren die Probanden zunächst aufgefordert, einen persönlichen Code zu erstellen und auf der ersten Seite des Vortestheftes einzutragen. Dieses Vortestheft bestand aus Fragen zu demografischen Angaben wie Alter, Geschlecht, Schulabschluss, Art der Ausbildung/des Studiums, aktueller Tätigkeit und Semesterzahl sowie den Subskalen des BIS (Jäger et al., 1997), dem Vorwissenstest und der Langversion des FAM (Rheinberg et al., 2001). Als nächstes wurde das Vortestheft bearbeitet. Dabei standen für die Aufgaben des BIS ungefähr 17 Minuten zur Verfügung, der Vorwissenstest dauerte ca. 10 Minuten. Nach einer kurzen Einführung in die Lernphase und dem Start des Lernprogramms am Computer durch das Eintragen des anfänglich im Testheft generierten persönlichen Code in ein Feld auf dem Computermonitor und Klicken des Startbuttons waren die Probanden aufgefordert, die

Instruktionsseite zu lesen und sich über die bevorstehende Aufgabe zu informieren. Danach wurden die Versuchspersonen gebeten, den Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation in der Langfassung auszufüllen. Im Anschluss daran wurde das Lernmaterial mit einem Klick auf einen grünen Pfeil gestartet. Die Versuchspersonen sahen nun zunächst für 45 Sekunden ein Standbild, welches sie mit den wichtigsten Begriffen des Viertaktmotors vertraut machte. Danach startete die erste Lernphase. Die Versuchspersonen sahen die Animation für 120 Sekunden in entweder der langsamen oder der schnellen Geschwindigkeit. Nach Ende der ersten Animation waren die Versuchspersonen aufgefordert, das Testheft aus Umschlag A auszufüllen. Dieses Heft bestand, neben dem Wissenstest in Version A oder B aus den beiden Fragen zur kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung bezüglich des Lernens mit der Animation (Paas & van Merriënboer, 1993) sowie der Abfrage der Beschriftung des Standbildes und den beiden Fragen zur kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung in Bezug auf die Beantwortung des Wissenstests. Nach Bearbeitung des ersten Testheftes wurden die Probanden gebeten, den zweiten Teil der Animation zu starten. Nach weiteren 120 Sekunden, in denen die Animation je nach Gruppenzugehörigkeit entweder schnell oder langsam gesehen wurde, waren die Versuchspersonen aufgefordert, das Testheft aus Umschlag B zu bearbeiten. Dieses Testheft enthielt neben dem Wissenstest in Version A oder B wieder die Fragen zur kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung, zunächst im Hinblick auf das Lernen mit der Animation, nach dem Wissenstest im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests sowie die gekürzte, adaptierte Version des FAM. Nach Beendigung des Wissenstests in Umschlag B wurden die Versuchspersonen verabschiedet und erhielten ihre gewählte Vergütung. Insgesamt dauerte die Untersuchung etwa 60 Minuten.

11.3.5 Auswertung

Zur Überprüfung der Hypothesen kamen *t*-Tests und varianzanalytische Verfahren zum Einsatz. Die Voraussetzung der zum Einsatz gekommenen Verfahren wurde jeweils geprüft (Bortz & Döring, 2003; Bortz, 2005). Dabei wurden sowohl der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Normalverteilung als auch der Levene-Test zur Prüfung der Varianzhomogenität genutzt. Die statistischen Unterschiede wurden bei zweiseitiger Testung auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ überprüft. Kleinere Irrtumswahrscheinlichkeiten werden den Konventionen entsprechend kenntlich gemacht. Um neben der statistischen Signifikanz auch Aussagen über die praktische Signifikanz der Ergebnisse machen zu können, werden Effektgrößen berichtet (Cohen, 1992). Für *t*-Tests wird das Differenzmaß *d* als Effektgröße angegeben. Cohen bezeichnet einen Effekt von $d = 0.2$ als klein, $d = 0.5$ als

mittleren Effekt und $d = 0.8$ als großen Effekt. Für varianzanalytische Verfahren wird die Effektgröße η^2 berichtet, wobei ein η^2 von 0.01 als klein, ein η^2 von 0.10 als mittel und ein η^2 von 0.25 als groß zu bewerten ist (Bortz & Döring, 2003). Zusammenhänge wurden mittels Korrelationen berechnet. Hier wurde auf der Grundlage intervallskalierter Daten der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r berechnet.

Bei der Analyse von Korrelationen beträgt die statistische Power ($1 - \beta$ -Fehler) für einen mittleren Effekt ($r = .30$) bei der gegebenen Stichprobengröße 65 Prozent bei zweiseitiger Testung und 76 Prozent bei einseitiger Testung. Für Mittelwertvergleiche beträgt die statistische Power für einen mittleren Effekt ($d = 0.50$) 46 Prozent bei zweiseitiger Testung und 59 Prozent bei einseitiger Testung. Bei varianzanalytischen Auswertungen mit einem Messwiederholungs- und einem Gruppenfaktor mit je zwei Stufen beträgt die statistische Power für mittlere Effekte bei der gegebenen Stichprobe und den gegebenen Korrelationen zwischen den Wiederholungsmessungen 61 Prozent für den Haupteffekt des Gruppenfaktors, 93 Prozent für den Haupteffekt des Messwiederholungs-Faktors und 46 Prozent für die Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren (Faul et al., 2009).

11.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Analysen im Hinblick auf die Hauptforschungsfragen vorgestellt. Im Anschluss daran werden die Forschungsfragen 3 bis 7 beantwortet.

11.4.1 Testung der Hypothesen 1 und 2

(1) Dynamische Sensitivitäts-Hypothese

Die *dynamische Sensitivitäts-Hypothese* postuliert einen direkten Einfluss der präsentierten Geschwindigkeit der Animation auf die Salienz von dynamischen Ereignissen auf verschiedenen hierarchischen Ebenen. So sollten bei langsamer Geschwindigkeit Mikroereignisse salient werden und eine schnelle Geschwindigkeit sollte Makroereignisse betonen. Der erste Teil der Hypothese 1 lautet statistisch formuliert:

Hypothese 1a: $M_{LS} > M_{SL}$ (Mikrowissen zu Testzeitpunkt 1)

Um die erste Hypothese zu testen, wurden t -Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Zur Überprüfung der Hypothese, dass eine langsame Animation besser für den Erwerb von Mikrowissen geeignet ist als eine schnelle Animation wurden die Gruppenmittelwerte der

Skala Mikrowissen zum Testzeitpunkt 1 miteinander verglichen. Es fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($t(56) = 0.134, ns$).

Die statistische Formulierung des zweiten Teils der Hypothese 1 lautet:

Hypothese 1b: $M_{LS} < M_{SL}$ (Makrowissen zu Testzeitpunkt 1)

Zur Überprüfung der Hypothese, dass eine schnelle Animation besser für den Erwerb von Makrowissen geeignet ist als eine langsame Animation, wurden die Gruppenmittelwerte der Skala Makrowissen zum Testzeitpunkt 1 miteinander verglichen. Auch hier fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ($t(56) = .892, ns$).

(2) *Primed Setting-Hypothese*

Mit der *Primed Setting-Hypothese* wurde postuliert, dass es, basierend auf der Annahme, dass die Geschwindigkeit der Animation während der ersten Lernphase einen Einfluss darauf hat, welche (Mikro- oder Makro-) Ereignisse während der zweiten Lernphase wahrgenommen werden, eine Interaktion zwischen der Sequenzierung und dem Messzeitpunkt gibt. Demnach sollte der Lernzuwachs von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 auf der Skala der Mikroereignissen in der Gruppe LS höher sein als in der Gruppe SL (Hypothese 2a) und der Lernzuwachs Lernzuwachs von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 auf der Skala der Makroereignissen in der Gruppe SL höher sein als in der Gruppe LS (Hypothese 2b). Statistisch formuliert lautet der erste Teil der Hypothese:

Hypothese 2a: $Lernzuwachs_{LS} > Lernzuwachs_{SL}$ (Mikrowissen von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2)

Zur Testung von Hypothese 2 wurden zwei zweifaktorielle Kovarianzanalysen (ANCOVA) mit Messwiederholung mit dem Between-Subject-Faktor „Sequenzierung“ und dem Within-Subject-Faktor „Testzeitpunkt“ unter Kontrolle der Variable „Vorwissen“ für die Skalen Mikrowissen und Makrowissen berechnet. Die Variable „Vorwissen“ wurde kontrolliert, da sich hier Unterschiede zwischen den Gruppen fanden. Die Ergebnisse des Tests auf Mittelwertsunterschiede werden weiter unten berichtet (Abschnitt 11.4.2, Hypothese 3). Weil sich die Gruppen hinsichtlich ihres Vorwissens unterschieden (siehe Abschnitt 11.4.1), wurde die Variable Vorwissen als Kontrollvariable in die Analysen eingeschlossen.

Die Ergebnisse der Analyse für die Skala Mikrowissen zeigten einen Haupteffekt für den Messzeitpunkt ($F(1, 55) = 17.59, p < .001, \eta^2 = 0.242$), aber keinen Haupteffekt für die Gruppe ($F(1, 55) < 1, ns$). Die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe wurde

marginal signifikant ($F(1, 55) = 17.59$, $p(\text{einseitig}) = .057$, $\eta^2 = 0.045$), was bedeutet, dass der Mittelwert der Gruppe LS von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 höher anstieg als der Mittelwert der Gruppe SL (siehe Abbildung 11.2). Dies entspricht der Erwartung, dass die Gruppe SL einen höheren Lernzuwachs auf der Skala der Mikroereignisse zeigt als die Gruppe LS.

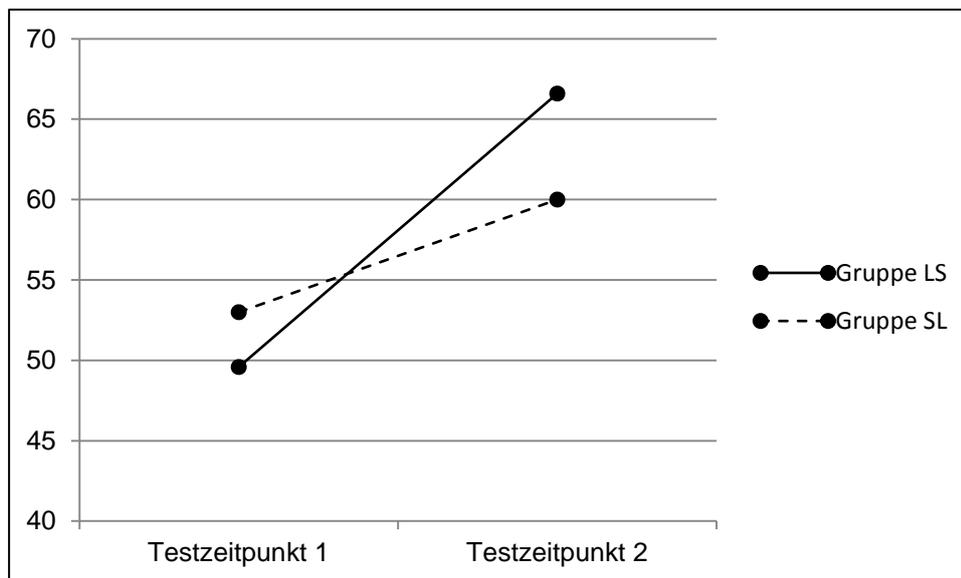


Abbildung 11.2: Prozent richtiger Antworten auf der Skala Mikrowissen für beide Gruppen zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

Der zweite Teil der Hypothese lautet statistisch formuliert wie folgt:

Hypothese 2b: $Lernzuwachs_{LS} < Lernzuwachs_{SL}$ (Makrowissen von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2)

Die Ergebnisse im Hinblick auf die Frage, ob eine schnelle Animation zu einem besseren Lernergebnis im Hinblick auf die Makrowissensskala führt, zeigten einen Haupteffekt für den Messzeitpunkt ($F(1, 55) = 14.925$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.213$), aber keinen Haupteffekt für die Gruppe ($F(1, 55) < 1$, ns). Auch die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe wurde nicht signifikant ($F(1, 55) = 1.103$, ns), was bedeutet, dass der Mittelwert der Gruppe SL von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 nicht höher anstieg als der Mittelwert der Gruppe LS (siehe Abbildung 11.3). Die Erwartung, dass die Gruppe LS einen höheren Lernzuwachs auf der Skala der Makroereignisse zeigt als die Gruppe SL, konnte demnach nicht bestätigt werden.

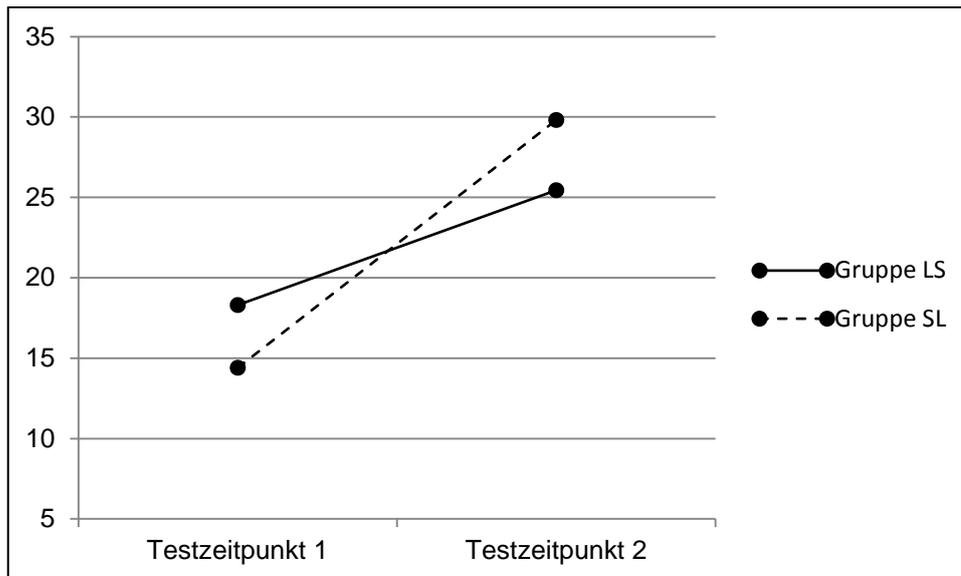


Abbildung 11.3: Prozent richtiger Antworten auf der Skala Makrowissen für beide Gruppen zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

11.4.2 Testung der Hypothesen 3 bis 7

Die Beantwortung der folgenden Forschungsfragen ist analog zur Beantwortung der Forschungsfragen in den Studien 1 und 2.

Forschungsfrage 3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen Vorwissen und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Vorwissen

Der Mittelwertsunterschied des Vorwissens zwischen beiden Gruppen wurde mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests berechnet, da die Voraussetzungen für den Einsatz eines *t*-Tests nicht erfüllt waren. Zwar war die Normalverteilung der Grundgesamtheiten vorhanden (Kolmogorov-Smirnov-Z von $Z = 1.24$, $p = .092$), nicht aber die Varianzhomogenität. Der Levene-Test auf Varianzgleichheit zeigte ein signifikantes Ergebnis ($F(1, 56) = 18.93$, $p = .000$). Der Mann-Whitney U-Test ergab einen signifikanten Unterschied bezüglich des Vorwissens in beiden Gruppen ($U(28, 30) = -2.07$, $p = .038$). Obwohl die Probanden nahezu kein Vorwissen über den Viertaktmotor aufwiesen (siehe Tabelle 11.1), unterschieden sich die Gruppen dennoch im Hinblick auf diese Variable.

Tabelle 11.1: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Lernermerkmale und Kontrollvariablen nach Gruppen, Studie 3.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Vorwissen	LS	28	1.07	1.15	0	3
	SL	30	0.43	0.63	0	2
Verarbeitungs- kapazität	LS	28	16.79	4.09	9.00	27.00
	SL	30	16.03	3.53	8.00	25.00
Bearbeitungs- geschwindigkeit	LS	28	109.57	15.30	80.00	149.00
	SL	30	113.37	13.96	78.00	144.00

Wissenstest

Die Probanden der Gruppe LS lösten im Mittel 51.77 Prozent der Mikroaufgaben (*SD* = 24.05) und 18.30 Prozent der Makroaufgaben (*SD* = 18.25) zu Testzeitpunkt 1 richtig. Die Probanden der Gruppe SL lösten durchschnittlich 50.95 Prozent der Mikroaufgaben (*SD* = 22.46) und 14.40 Prozent der Makroaufgaben (*SD* = 14.97) zu Testzeitpunkt 1 richtig. Zu Testzeitpunkt 2 beantworteten die Probanden der Gruppe LS durchschnittlich 67.11 Prozent der Mikroaufgaben (*SD* = 20.56) und 25.44 Prozent der Makroaufgaben (*SD* = 19.57) richtig. Die Probanden der Gruppe SL lösten im Mittel 59.64 Prozent der Mikroaufgaben (*SD* = 20.42) und 29.82 Prozent der Makroaufgaben (*SD* = 22.29) zu Testzeitpunkt 2 richtig. Die deskriptiven Ergebnisse der Rohwerte der Wissenstests sind in Tabelle 11.2 dargestellt.

Tabelle 11.2: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) für die Skalen Mikrowissen und Makrowissen für beide Gruppen zu beiden Testzeitpunkten (TZP), Studie 3.

		<i>N</i>	TZP 1: <i>M</i> (<i>SD</i>)	TZP 2: <i>M</i> (<i>SD</i>)
Mikrowissen	Gruppe LS	28	6.21 (2.81)	7.89 (2.43)
	Gruppe SL	30	5.89 (2.52)	6.89 (2.36)
Makrowissen	Gruppe LS	28	1.61 (1.37)	2.21 (1.42)
	Gruppe SL	30	1.37 (1.13)	2.60 (1.73)

Um die Äquivalenz der beiden parallelen Wissenstests zu überprüfen, wurden für die Gruppen LS und SL für beide Wissensskalen (Mikro und Makro) zu beiden Testzeitpunkten *t*-

Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten für die Skalen Mikro- und Makrowissen (siehe Tabelle 11.3). Es kann also angenommen werden, dass die beiden parallelen Testversionen zufriedenstellend äquivalent sind.

Tabelle 11.3: *T-Tests auf Mittelwertsunterschiede für die Skalen Mikrowissen und Makrowissen für beide Testversionen und beide Gruppen, Studie 3.*

			<i>T</i>	<i>df</i>	Signifikanz
Gruppe LS	TZP 1	Mikrowissen	-0.379	24	.71
		Makrowissen	-1.152	28	.26
	TZP 2	Mikrowissen	-0.299	28	.77
		Makrowissen	0.922	28	.36
Gruppe SL	TZP 1	Mikrowissen	0.699	28	.49
		Makrowissen	-1.466	28	.15
	TZP 2	Mikrowissen	-0.907	28	.37
		Makrowissen	1.510	28	.14

Hypothese 3: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich des Vorwissens schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Mögliche Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg wurden mithilfe bivariater Korrelationen getestet. Es fand sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Vorwissen und dem Mikrowissen zum Testzeitpunkt 1 ($r = .30$, $p = .02$). Hypothese 3 kann demnach teilweise als bestätigt angesehen werden. Zumindest im Hinblick auf die Mikrowissensskala zeigte sich der erwartete Zusammenhang.

Forschungsfrage 4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Fähigkeiten und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 4a: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich räumlicher Fähigkeiten (BIS Verarbeitungskapazität) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Hypothese 4b: Lerner mit höheren Fähigkeiten bezüglich der Bearbeitungsgeschwindigkeit (BIS Bearbeitungsgeschwindigkeit) schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Fähigkeiten bezüglich dieser Variable.

Die Unterschiede der Mittelwerte der räumlichen Fähigkeiten zwischen den Versuchsgruppen wurden mittels *t*-Tests für unabhängige Stichproben geprüft. Im Hinblick auf die räumlichen Fähigkeiten fanden sich sowohl für die Verarbeitungskapazität als auch für die Bearbeitungsgeschwindigkeit keine signifikanten Gruppenunterschiede (beide $t > 1$).

Mögliche Zusammenhänge zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Lernerfolg wurden mithilfe bivariater Korrelationen getestet.

Es fand sich eine signifikante Korrelation zwischen der Verarbeitungskapazität und dem Mikrowissen zu beiden Testzeitpunkten (TZP 1: $r = .31$, $p = .016$; TZP 2: $r = .37$, $p = .004$). Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Lernerfolg. Demnach konnte Hypothese 4a bestätigt werden im Hinblick auf die Mikrowissensskala. Hypothese 4b konnte nicht bestätigt werden.

Forschungsfrage 5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und dem Wissenserwerb beim Lernen mit einer Animation?

Hypothese 5a: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf die Aufgabe schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Hypothese 5b: Lerner mit höheren Werten bezüglich der Motivation im Hinblick auf den Wissenstest schneiden im Wissenstest besser ab als Lerner mit niedrigeren Werten auf dieser Variable.

Tabelle 11.4 zeigt die deskriptiven Ergebnisse der Erhebung der Motivation im Hinblick auf die bevorstehende Aufgabe (die Skalen Interesse, Herausforderung, Erfolgswahrscheinlichkeit und Misserfolgsbefürchtung des FAM) und nach Bearbeitung des Wissenstests. Auch die Unterschiede der Mittelwerte der Motivationsvariablen zwischen den Versuchsgruppen wurden mittels *t*-Tests für unabhängige Stichproben geprüft. Auch hinsichtlich der aktuellen Motivation fanden sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen, weder zum ersten Zeitpunkt vor der ersten Animation noch zum zweiten Zeitpunkt nach Beantwortung des zweiten Wissenstestteils (alle $t > 1$).

Tabelle 11.4: Mittelwerte (*M*), Standardabweichungen (*SD*), Minimum (*Min*) und Maximum (*Max*) der Motivationsvariablen nach Gruppen, Studie 3.

		<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
FAM Interesse	LS	28	3.13	1.18	1.40	5.80
	SL	30	3.21	1.12	1.00	6.20
FAM Herausforderung	LS	28	3.88	0.84	2.50	5.30
	SL	30	4.18	1.23	1.30	6.00
FAM Erfolgswahrscheinlichkeit	LS	28	3.74	1.11	1.80	6.30
	SL	30	3.77	1.28	2.00	6.50
FAM Misserfolgsbefürchtung	LS	28	2.98	1.12	1.00	5.00
	SL	30	2.44	1.09	1.00	4.60
FAM Wissenstest	LS	28	2.99	0.84	2.00	5.25
	SL	30	3.05	0.88	1.88	5.13

Die Berechnung von Zusammenhängen zwischen den Variablen der Motivation und dem Lernerfolg fand mithilfe bivariater Korrelationen statt. Es fanden sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem Interesse und dem Makrowissen zu Testzeitpunkt 2 ($r = .27$, $p = .039$), zwischen der Herausforderung und dem Makrowissen zu Testzeitpunkt 2 ($r = .27$, $p = .040$) und zwischen der Motivation nach Beendigung des Wissenstests und dem Mikrowissen zu Testzeitpunkt 1 ($r = .28$, $p = .034$) und dem Makrowissen zu Testzeitpunkt 2 ($r = .28$, $p = .033$). Die Hypothesen 5a und 5b konnten demzufolge größtenteils bestätigt werden. Insbesondere für das Lernen von Makroereignissen scheinen ein großes Interesse und die Einschätzung der Aufgabe als Herausforderung wichtig zu sein für erfolgreiches Lernen.

Forschungsfrage 6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg?

Hypothese 6a: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation und dem Wissenstestwert.

Hypothese 6b: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests und dem Wissenstestwert.

Tabelle 11.5 zeigt die deskriptiven Ergebnisse der Variablen „kognitive Belastung“ und „mentale Anstrengung“ jeweils bezüglich des Lernens mit der Animation und bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests für beide Gruppen zu beiden Testzeitpunkten.

Tabelle 11.5: Mittelwerte (*M*) und Standardabweichungen (*SD*) der Variablen der kognitiven Belastung (*CL*) und mentalen Anstrengung (*ME*) nach Gruppen und Testzeitpunkt, Studie 3.

		<i>N</i>	TZP1: <i>M (SD)</i>	TZP2: <i>M (SD)</i>
CL Animation	Gruppe LS	28	3.89 (1.67)	4.57 (1.07)
	Gruppe SL	30	3.80 (1.30)	3.77 (1.10)
ME Animation	Gruppe LS	28	4.32 (0.77)	3.96 (1.11)
	Gruppe SL	30	4.27 (1.05)	4.63 (0.93)
CL Test	Gruppe LS	28	5.43 (0.84)	5.32 (0.61)
	Gruppe SL	30	5.37 (1.00)	5.20 (1.03)
ME Test	Gruppe LS	28	3.89 (0.99)	4.07 (1.18)
	Gruppe SL	30	4.50 (1.08)	4.73 (1.02)

Zur Prüfung der Mittelwertsunterschiede wurden auch hier *t*-Tests für unabhängige Stichproben genutzt. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Unterschied für die kognitive Belastung während des Lernens mit der Animation während der zweiten Lernphase (Testzeitpunkt 2; $t(56) = 2.82, p = .007$).

Aufgrund der Gruppenunterschiede wurden mögliche Zusammenhänge zwischen den Maßen der kognitiven Belastung und dem Lernerfolg getrennt nach Gruppen mittels bivariaten Korrelationen berechnet. Für die Gruppe LS fanden sich keine signifikanten Korrelationen, weder zu Testzeitpunkt 1 noch zu Testzeitpunkt 2. Für die Gruppe SL fanden sich signifikante Zusammenhänge zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests zum Testzeitpunkt 1 und dem Mikrowissen zum Testzeitpunkt 1 ($r = -.49, p = .006$), zwischen der kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation zum Testzeitpunkt 2 und dem Mikrowissen zum Testzeitpunkt 1 ($r = -.44, p = .015$), zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests zum Testzeitpunkt 2 und dem Mikrowissen zum Testzeitpunkt 1 ($r = -.57, p = .001$) und der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests zum Testzeitpunkt 2 und dem Mikrowissen zum

Testzeitpunkt 2 ($r = -.46, p = .010$). Alle Korrelationen sind der Tabelle in Anhang D2 zu entnehmen. Je höher also die erlebte kognitive Belastung der Probanden der Gruppe SL im Hinblick auf den Wissenstest und teilweise auch das Lernen mit der Animation war, umso schlechter schnitten diese auf der Skala Mikrowissen ab. Die Hypothesen konnten also nur für die Gruppe SL bestätigt werden und auch dort nur teilweise. Es fand sich ein Zusammenhang zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit der Animation zu Testzeitpunkt 1 und dem erworbenen Mikrowissen zu Testzeitpunkt 1 (Hypothese 6a). Weiterhin fanden sich Zusammenhänge zwischen der erlebten kognitiven Belastung beim Bearbeiten des Wissenstests (TZP 1 und 2) und dem erworbenen Mikrowissen (TZP 1 und 2).

Forschungsfrage 7. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Motivation und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit einer Animation und bei der Bearbeitung des Wissenstests?

Hypothese 7a: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalters im Hinblick auf die Aufgabe und der investierten mentalen Anstrengung beim Lernen.

Hypothese 7b: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Motivation eines Lernalters im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests.

Hypothese 7c: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg.

Zur Prüfung der Mittelwertsunterschiede wurden auch hier t -Tests für unabhängige Stichproben genutzt. Die Ergebnisse zeigten signifikante Unterschiede für die investierte mentale Anstrengung beim Bearbeiten des Wissenstests nach der ersten Lernphase (Testzeitpunkt 1; $t(56) = -2.23, p = .030$), für die investierte mentale Anstrengung während des Lernens mit der Animation in der zweiten Lernphase (Testzeitpunkt 2; $t(56) = -2.50, p = .015$) und für die investierte mentale Anstrengung beim Bearbeiten des Wissenstests nach der zweiten Lernphase (Testzeitpunkt 2; $t(56) = -2.29, p = .026$). Dementsprechend werden die nachfolgenden Berechnungen getrennt für beide Gruppen berichtet.

Ausgehend von der Annahme, dass eine hohe Motivation mit einer hohen Lernleistung als Ergebnis einer höheren oder vermehrten Aufwendung kognitiver Ressourcen für die Verarbeitung des Lernmaterials einhergeht (Paas & van Merriënboer, 1993; siehe Abschnitt 9.3.2), wurden mögliche Zusammenhänge zwischen der mentalen Anstrengung und den Motivationsskalen des FAM mittels bivariater Korrelationen berechnet. Dabei wurden die

Korrelationen aufgrund der gefundenen Gruppenunterschiede getrennt für beide Gruppen berechnet. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 11.6 und Tabelle 11.7 dargestellt.

Tabelle 11.6: Korrelationen (Pearsons r) der Variablen der mentalen Anstrengung (ME) mit den Variablen der Motivation (FAM), Gruppe LS, Studie 3.

	FAM Interesse	FAM Heraus- forderung	FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	FAM Misserfolgs- befürchtung	FAM Post
ME Animation TZP 1	.288 .137	.244 .211	-.083 .676	-.098 .621	.385* .043
ME Test TZP 1	.460* .014	.465* .013	.242 .215	.182 .354	.367 .055
ME Animation TZP 2	.488** .008	.455* .015	.324 .093	.368 .054	.180 .359
ME Test TZP 2	.571** .002	.587** .001	.331 .086	.329 .087	.267 .169

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

Für die Gruppe LS fanden sich signifikanten Korrelationen zwischen dem Interesse sowie der Herausforderung und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation zu Testzeitpunkt 2 und zwischen dem Interesse sowie der Herausforderung und der mentalen Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten.

Für die Gruppe SL fanden sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem Interesse und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation zu Testzeitpunkt 2 sowie der mentalen Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten. Außerdem zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen der Herausforderung und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation zu beiden Testzeitpunkten sowie der mentalen Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung zu Testzeitpunkt 1. Die Erfolgswahrscheinlichkeit korrelierte in der Gruppe SL signifikant mit der mentalen Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten. Außerdem fanden sich signifikante Korrelationen zwischen der Motivation im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests und mentalen Anstrengung bei der Wissenstestbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten.

Tabelle 11.7: Korrelationen (Pearsons r) der Variablen der mentalen Anstrengung (ME) mit den Variablen der Motivation (FAM), Gruppe SL, Studie 3.

	FAM Interesse	FAM Heraus- forderung	FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	FAM Misserfolgs- befürchtung	FAM Post
ME Animation TZP 1	.310	.442*	.209	.058	.308
	.106	.014	.268	.763	.098
ME Test TZP 1	.617**	.398*	.471*	-.234	.538**
	.000	.029	.009	.213	.002
ME Animation TZP 2	.488**	.393*	.209	-.297	.442*
	.006	.032	.268	.112	.014
ME Test TZP 2	.505**	.317	.409*	-.147	.519**
	.004	.088	.025	.439	.003

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

Zwischen den Maßen der mentalen Anstrengung zu den jeweiligen Testzeitpunkten und den Wissenstestskalen zu den jeweiligen Testzeitpunkten fanden sich für beiden Gruppen keine signifikanten Zusammenhänge (siehe Anhang D2).

Für die Gruppe LS konnte Hypothese 7a nur im Hinblick auf den zweiten Testzeitpunkt und die Motivationsskalen Interesse und Herausforderung bestätigt werden. Die Erwartungen bezüglich der Hypothesen 7b und 7c konnten hier nicht bestätigt werden.

Für die Gruppe SL zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen den Motivationsskalen Herausforderung und Interesse (nur zu Testzeitpunkt 2) und der mentalen Anstrengung beim Lernen mit der Animation. Hypothese 7a konnte hier also teilweise bestätigt werden. Außerdem zeigten sich bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Motivation im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung und der investierten mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests, was den Erwartungen bezüglich Hypothese 7b entspricht. Hypothese 7c konnte auch für die Gruppe SL nicht bestätigt werden.

Verlaufsanalysen zur kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung

Im Hinblick auf die Veränderungen der Einschätzungen bezüglich der kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung sowohl bezüglich des Lernens mit der Animation als

auch bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests von einer Lernphase zur nächsten wurden keine Hypothesen formuliert. Die Ergebnisse der Analysen werden im Folgenden dargestellt.

Um den Verlauf der Daten der kognitiven Belastung und der mentalen Anstrengung zu analysieren, wurden Varianzanalysen mit Messwiederholungen dem Between-Subject-Faktor „Gruppe“ und den Within-Subject-Faktoren „Testzeitpunkt 1“ und „Testzeitpunkt 2“ berechnet, jeweils für kognitive Belastung und mentale Anstrengung im Hinblick auf das Lernen mit der Animation und im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests. Die Ergebnisse der ANOVA für mentale Anstrengung im Hinblick auf das Lernen mit der Animation zeigten keine Haupteffekte für den Testzeitpunkt ($F(1, 56) < 1$, *ns*) und für die Gruppe ($F(1, 56) = 2.06$, *ns*), aber eine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 56) = 6.70$, $p = .012$, $\eta^2 = 0.107$). Das heißt, die mentale Anstrengung beim Lernen mit der Animation nimmt in der Gruppe LS von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 ab und steigt in der Gruppe SL leicht an (siehe Abbildung 11.4).

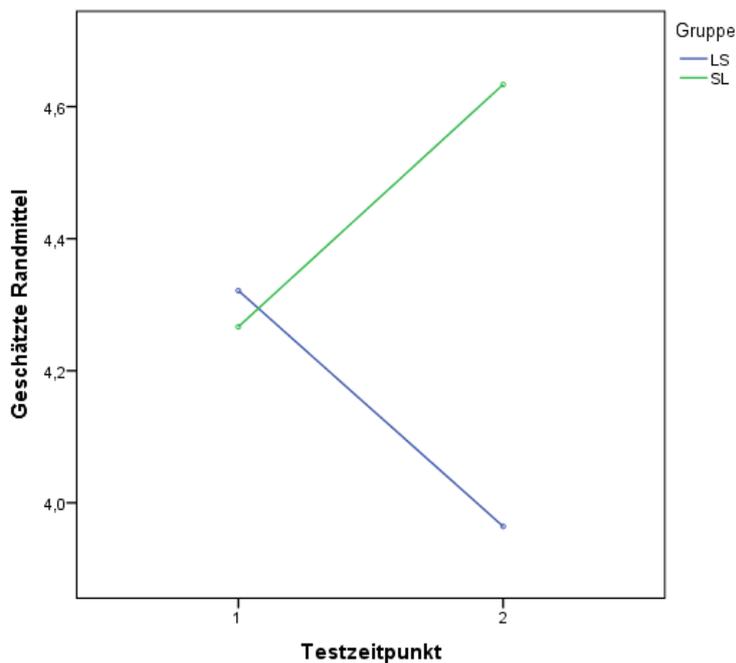


Abbildung 11.4: Geschätzte Randmittel für die mentale Anstrengung beim Lernen mit der Animation zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

Für die kognitive Belastung im Hinblick auf das Lernen mit der Animation zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Testzeitpunkt ($F(1, 56) = 4.75$, $p = .034$, $\eta^2 = 0.078$), nicht aber für die Gruppe ($F(1, 56) = 2.81$, $p = .099$). Weiterhin fand sich eine signifikante

Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 56) = 5.78, p = .020, \eta^2 = 0.094$). Das heißt, die kognitive Belastung beim Lernen mit der Animation steigt in der Gruppe LS von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 an, wobei auch Haupteffekt vor allem auf die Unterschiede innerhalb der Gruppe LS zurückzuführen ist (siehe Abbildung 11.5).

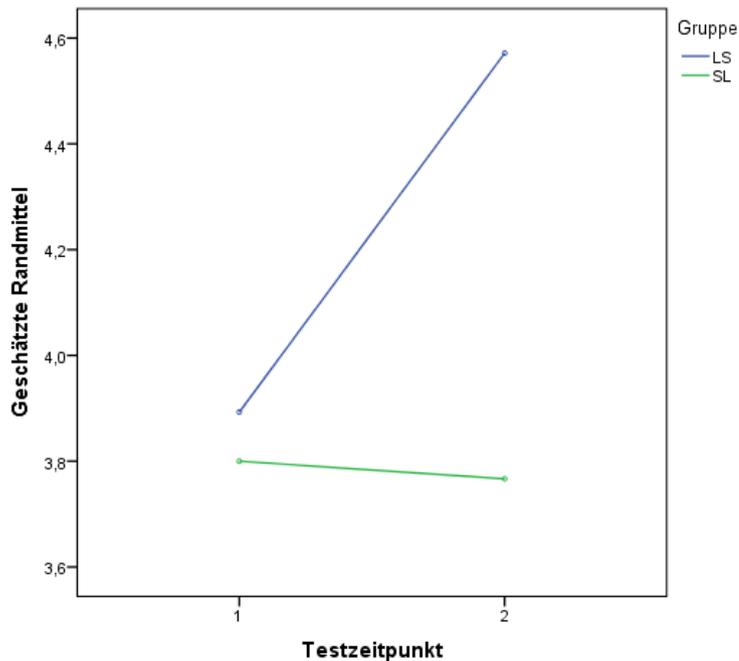


Abbildung 11.5: Geschätzte Randmittel für die kognitive Belastung beim Lernen mit der Animation zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

Die Ergebnisse der Analyse für die mentale Anstrengung im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests zeigten einen signifikanten Haupteffekte für den Testzeitpunkt ($F(1, 56) = 4.37, p = .041, \eta^2 = 0.072$) und einen signifikanten Haupteffekt für die Gruppe ($F(1, 56) = 5.82, p = .019, \eta^2 = 0.094$). Es fand sich keine signifikante Interaktion zwischen Testzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 56) < 1, ns$). Das heißt, die mentale Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests steigt in beiden Gruppen vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt an und ist in der Gruppe SL zu beiden Testzeitpunkten höher als in der Gruppe LS (siehe Abbildung 11.6).

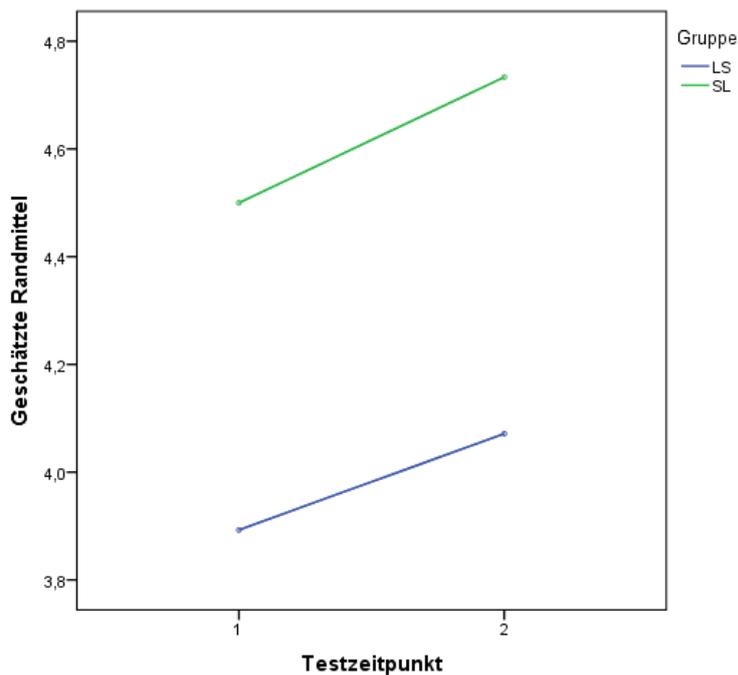


Abbildung 11.6: Geschätzte Randmittel für die mentale Anstrengung bei der Testbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

Bezüglich der kognitive Belastung im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests fanden sich weder Haupteffekte für den Testzeitpunkt ($F(1, 56) = 2.27, ns$) und die Gruppe ($F(1, 56) < 1, ns$) noch eine signifikante zwischen Interaktion Testzeitpunkt und Gruppe ($F(1, 56) < 1, ns$). Die kognitive Belastung war für beide Gruppen zu beiden Testzeitpunkten ungefähr gleich und bewegte sich dabei auf einem relativ hohen Niveau (siehe Abbildung 11.7).

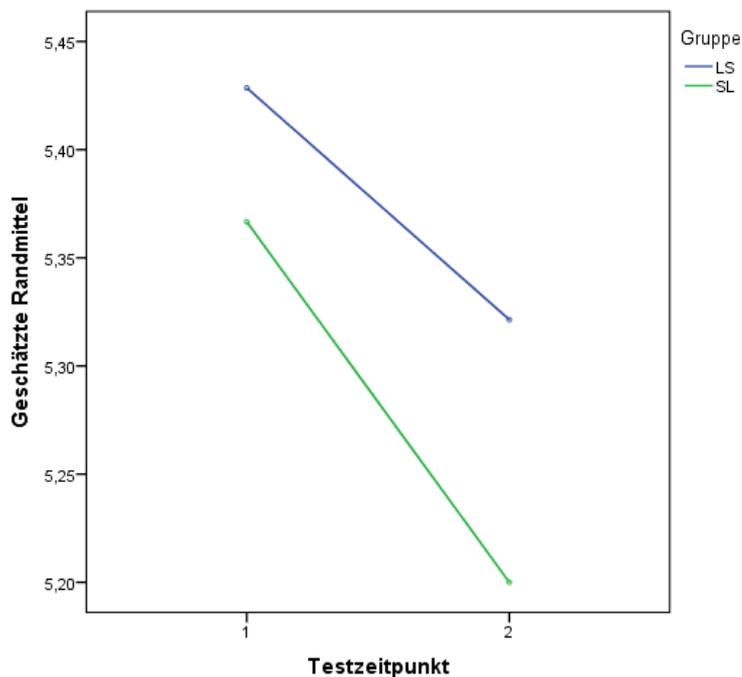


Abbildung 11.7: Geschätzte Randmittel für die kognitive Belastung bei der Testbearbeitung zu beiden Testzeitpunkten, Studie 3.

Perspektivenanordnung auf dem Bildschirm

Um einen möglichen Effekt der Anordnung der Perspektiven auf dem Bildschirm (Frontansicht links und Seitenansicht rechts oder anders herum) zu untersuchen, wurden die Gruppenmittelwerte der Mikro- und Makroskala des Wissenstests (Testzeitpunkt 2) miteinander verglichen. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe „Frontansicht links, Seitenansicht rechts“ und der Gruppe „Seitenansicht rechts, Frontansicht links“, weder für die Skala Mikrowissen ($t(56) = 1.58, ns$) noch für die Skala Makrowissen ($t(56) < 1, ns$).

Verhaltensvariablen

In die Berechnungen im Hinblick auf das mittels Logfiles aufgezeichnete Lernerhalten gingen von den 58 Versuchspersonen aufgrund fehlender Werte nur 41 ein ($n = 23$ in der Gruppe LS und $n = 18$ in der Gruppe SL). Es werden hier zunächst deskriptive Daten zur Nutzung der Perspektiven und die Perspektivenwechsel dargestellt, um im Anschluss mögliche Gruppenunterschiede zu berichten.

Die Ergebnisse zur Nutzung der Perspektiven zeigten, dass die Probanden bevorzugt die Frontansicht ($M = 179$ Sekunden, $SD = 53$) im Vergleich zur Seitenansicht ($M = 61$ Sekunden, $SD = 53$) beobachteten. Im Hinblick auf die Geschwindigkeiten der Animation zeigte sich bei langsamer Geschwindigkeit eine mittlere Lernzeit in der Frontansicht von $M = 85$ Sekunden ($SD = 33$) und eine mittlere Lernzeit in der Seitenansicht von $M = 35$ Sekunden ($SD = 33$). Bei schneller Geschwindigkeit lernten die Probanden im Durchschnitt 93 Sekunden ($SD = 25$) in der Frontansicht und 27 Sekunden ($SD = 25$) in der Seitenansicht. Die Berechnung der durchschnittlichen Lernzeiten pro Perspektive getrennt für Testzeitpunkt 1 und 2 ergaben, dass während der ersten Lernphase durchschnittlich 86 Sekunden ($SD = 31$) der Lernzeit in der Frontansicht und 34 Sekunden ($SD = 31$) der Lernzeit in der Seitenansicht verbracht wurden. Während der zweiten Lernphase lernten die Probanden 93 Sekunden ($SD = 29$) in der Frontansicht und 27 Sekunden ($SD = 29$) in der Seitenansicht. Abbildung 11.8 veranschaulicht die Nutzung der Perspektiven für die verschiedenen Geschwindigkeiten und den Testzeitpunkt grafisch.

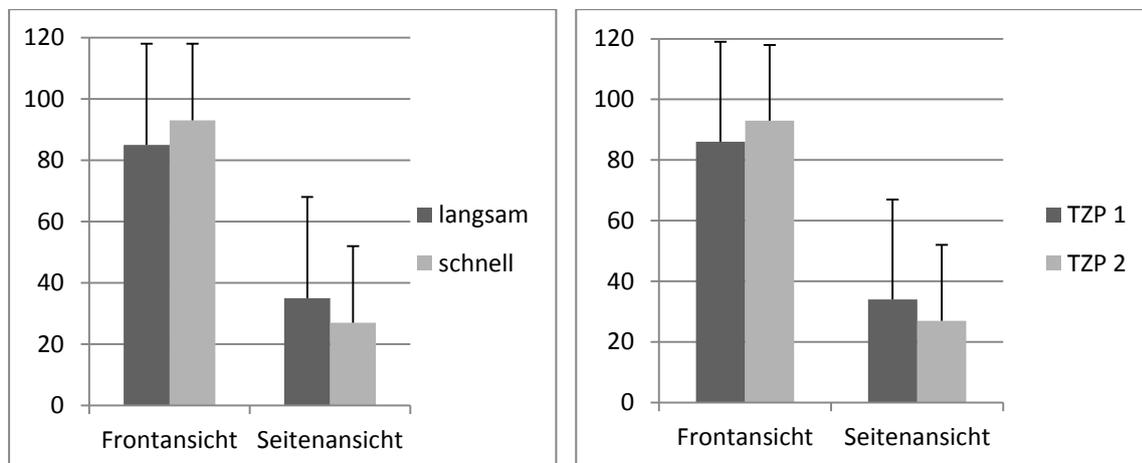


Abbildung 11.8. Nutzung der Perspektiven nach Geschwindigkeit (links) und Testzeitpunkt (rechts), Studie 3.

Im Hinblick auf die Nutzung der Perspektivenwechsel konnte ein geringer Mittelwert festgestellt werden. Im Durchschnitt wechselten die Probanden während der Lernzeit 3.24 mal ($SD = 1.93$) zwischen Front- und Seitenansicht. Getrennt für die Geschwindigkeiten der Animation zeigte sich, dass in der langsamen Geschwindigkeit im Mittel 1.29 mal ($SD = 1.03$) zwischen den Perspektiven gewechselt wurde und in der schnellen Geschwindigkeit im Mittel 1.95 mal ($SD = 1.45$). Aufgegliedert nach Testzeitpunkt 1 und 2

zeigte sich während der ersten Lernphase ein Mittelwert von 1.85 ($SD = 1.42$) Perspektivenwechseln und während der zweiten Lernphase ein Mittelwert von 1.39 ($SD = 1.12$) Perspektivenwechseln.

Die Überprüfung der Gruppenunterschiede bezüglich der Verhaltensvariablen fand mittels t -Tests für unabhängige Stichproben statt und wurde für die Anzahl der Perspektivenwechsel, die Dauer der Beobachtung der Seitenansicht und für die Dauer der Beobachtung der Frontansicht berechnet. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Verhaltensvariablen (siehe Tabelle 11.8). Die beiden Gruppen unterschieden sich also in ihrem Verhalten während des Lernens mit der Animation nicht voneinander.

Tabelle 11.8: T -Tests auf Mittelwertsunterschiede für die Verhaltensvariablen in beiden Gruppen, Studie 3.

	T	df	Signifikanz
Perspektivenwechsel	-1.078	39	.29
Zeit in Seitenansicht	-1.520	39	.14
Zeit in Frontansicht	1.520	39	.14

Für die Berechnung von Zusammenhängen zwischen Verhaltensvariablen und räumlichen Fähigkeiten, Motivation und Lernerfolg wurde auf bivariate Korrelationen zurückgegriffen. Zwischen den Verhaltensvariablen und den räumlichen Fähigkeiten oder der Motivation zeigten sich keine signifikanten Korrelationen. Die Korrelationen zwischen dem Wechsel der Perspektiven und dem Lernerfolg im Wissenstest wurden ebenfalls nicht signifikant. In Bezug auf die Dauer der Beobachtung von Front- und Seitenansicht zeigten sich signifikante Korrelationen. Es fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Lernergebnis auf der Makroskala zum Testzeitpunkt 1 und der Lernzeit in der Seitenansicht ($r = .345$, $p < .05$) und der Lernzeit in der Frontansicht ($r = -.345$, $p < .05$). Da sich die Lernzeiten in beiden Perspektiven jeweils zu 120 Sekunden addieren, fallen die Korrelationen im Betrag entsprechend gleich aus. Es zeigte sich also ein schwacher positiver (negativer) Zusammenhang zwischen der Beobachtung der Seitenansicht (Frontansicht) des Viertaktmotors und den Lernergebnissen in Bezug auf die Makroereignisse.

11.5 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel der Studie war die Analyse des Einflusses verschiedener Geschwindigkeitssequenzierungen auf den Erwerb von Wissen auf unterschiedlichen dynamischen Ebenen. Es ging zum einen um die Frage, welche Geschwindigkeit welche Art von Wissen in den Fokus der Sensitivität für dynamische Kontraste rückt, das heißt welche Art von Ereignissen bei welcher Geschwindigkeit salient werden. Zum anderen ging es um die Frage der „richtigen“ Sequenzierung von Geschwindigkeiten, das heißt welche Art der Sequenzierung eignet sich insgesamt besser für den Wissenserwerb. Außerdem stellte sich, aufgrund der Ergebnisse der vorangegangenen Studien, die Frage nach dem Verhältnis zwischen perzeptueller Wahrnehmung und kognitiver Verarbeitung beim Lernen mit einer Animation mit Geschwindigkeiten in unterschiedlicher Reihenfolge.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein Großteil der Hypothesen in dieser Studie nicht bestätigt werden konnten. Im Hinblick auf die Frage nach der Sensitivität für Geschwindigkeitsunterschiede auf der Ebene der kognitiven Verarbeitung konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen LS und SL gefunden werden. Weder unterschieden sich die Gruppen bezüglich des Wissenserwerbs zum Thema Mikroereignisse zum Testzeitpunkt 1 noch bezüglich des Wissenserwerbs zum Thema Makroereignisse zum Testzeitpunkt 1. Beide Gruppen gewannen nach der ersten Lernphase ungefähr gleich viel Wissen über Mikro- oder Makroereignisse hinzu, wobei der Umfang an Mikrowissen höher ausfiel als der Umfang an Makrowissen.

Die Probanden scheinen insgesamt bevorzugt Mikroereignisse zu beobachten, unabhängig von der aktuellen Geschwindigkeit der Animation. Diese Ergebnisse stehen demzufolge im Einklang mit den Befunden von Studie 2. Es scheint wichtig (oder auch weniger schwierig) zu sein, die Mikroereignisse zuerst zu beobachten, insbesondere für Lerner mit wenig oder keinem Vorwissen. Zur Frage der lernförderlicheren Art der Sequenzierung kann deshalb festgehalten werden, dass es so zu sein scheint, dass, zumindest für das Lernen der Funktionsweise des Viertaktmotors und für die untersuchte Personengruppe, eine mentale Modellkonstruktion im günstigeren Fall zuerst auf der Mikroebene stattfindet und dann auf der Makroebene. Dies würde der Idee des *progressive model building* (Mayer & Chandler, 2001) entsprechen. Demnach würde schrittweise zunächst ein Modell der Teile des Prozesses konstruiert, um diese Teile dann in ein mentales Modell der Funktionsweise des Viertaktmotors zu integrieren. Um ein vollständiges mentales Modell von der Funktionsweise

des Viertaktmotors zu konstruieren, ist es nötig, das Zusammenspiel von Mikroereignissen, wie das Verhalten der Ventile oder die Bewegungen des Kolbens mit dem Verhalten von Makrostrukturen, wie die Umdrehungen von Kurbel- und Nockenwelle, miteinander zu verknüpfen. Dies scheint, insbesondere für Novizen, eine sehr schwierige Aufgabe darzustellen. Darauf deuten zum einen die Ergebnisse der generellen Bevorzugung der Beobachtung von Mikroereignissen im Vergleich zu Makroereignissen hin, zum anderen die Ergebnisse der Analyse der kognitiven Belastung, auf die später noch genauer eingegangen wird. Möglicherweise genügte aber auch die Lernzeit nicht, um ein ausreichendes mentales Modell der Makroereignisse zu konstruieren. Die Ergebnisse deuten weiterhin darauf hin, dass die schnelle Geschwindigkeit nicht schnell genug war, um die Salienz der Mikroereignisse komplett zu „überspielen“. Es war auch während der Lernphase in schneller Geschwindigkeit, wenngleich mit größerer Anstrengung, möglich, Mikroereignisse zu beobachten und zu verstehen. Andererseits würde eine weitere Beschleunigung der Animationsgeschwindigkeit mit dem Ziel einer deutlicheren Betonung der Makroereignisse möglicherweise auch keinen Effekt auf den Lernerfolg auf der Makroebene bewirken, da eine zu schnelle Geschwindigkeit eine noch höhere kognitive Anforderung an die Lerner darstellt.

Bezüglich der *Perzeptuelles Priming und Spillover*-Perspektive zeigten die Ergebnisse der ANCOVA eine marginal signifikante Interaktion zwischen der Skala Mikrowissen und dem Messzeitpunkt für die Gruppe LS. Diese Interaktion ist als höherer Wissenszuwachs auf der Skala Mikrowissen für die Gruppe LS im Vergleich zur Gruppe SL zu interpretieren und entspricht damit der formulierten Erwartung. Der gleiche Trend zeigte sich auch für die Ergebnisse der Makrowissensskala, die Interaktion wurde aber nicht signifikant. Es scheint also so zu sein, dass die Geschwindigkeit während der ersten Lernphase einen Einfluss auf die wahrgenommenen Ereignisse während der zweiten Lernphase hat. Zumindest bei der Gruppe SL zeigte sich ein signifikant höherer Lernzuwachs auf der Skala der Mikroereignisse zwischen den Testzeitpunkten. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Probanden, allesamt Novizen im Hinblick auf das Thema Viertaktmotor, mit einer für sie anspruchsvollen und schwierigen Aufgabe konfrontiert wurden und deshalb auch in der zweiten Lernphase die Ereignisse weiter beobachteten, die sie schon in der ersten Lernphase erkannt hatten. Demzufolge scheint die visuelle Aufmerksamkeit nicht nur durch bottom-up- sondern auch durch top-down-gesteuert zu sein (Fischer et al., 2006; 2008).

Ein kritischer Punkt der Studie ist in den Wissenstests zu sehen. Zum einen fand sich hier, wie auch in den vorangegangenen Studien, eine niedrige Reliabilität der Makroskala.

Außerdem waren die Itemschwierigkeiten beider Skalen sehr unterschiedlich. Die Items der Makroskala wiesen höhere Schwierigkeitswerte auf als die Items der Mikroskala. Zusätzlich zur schon erwähnten Bevorzugung der Beobachtung von Mikroereignissen selbst bei schneller Geschwindigkeit bieten die erhobenen Verhaltensdaten eine mögliche Erklärung für die Schwierigkeit der Makroitems. Die Probanden bevorzugten die Frontansicht gegenüber der Seitenansicht und wechselten zwischen den Perspektiven sehr selten. Von der Frontansicht wird angenommen, dass sie relevante Informationen für das Verstehen von Mikroereignissen bereithält während die Seitenansicht relevante Makroereignisse darstellt. Entsprechend den Ergebnissen der Analysen der Verhaltensdaten waren die Bedingungen für das Lernen von Mikroereignissen wesentlich besser als für das Lernen von Makroereignissen. Darauf deutet auch der positive Zusammenhang zwischen der Beobachtung der Seitenansicht des Viertaktmotors und dem Lernerfolg auf der Makroskala hin.

Lernerverhalten. Das Ergebnis zum Zusammenhang zwischen der Lernzeit in der Seitenansicht und dem Erwerb von Makrowissen zum ersten Testzeitpunkt steht in Einklang mit der Annahme, dass sich die Seitenansicht für das Beobachten von Makroereignissen besser geeignet ist als die Frontansicht. Es zeigten sich allerdings keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Lernzeit in der Front- beziehungsweise Seitenansicht und dem erworbenen Makrowissen zum zweiten Testzeitpunkt. Ebenso wurden auch die Korrelationen mit den Skalen der Mikroereignisse nicht signifikant. Ein Grund hierfür ist wahrscheinlich, dass die Frontansicht im Vergleich zur Seitenansicht viel länger beobachtet wurde, wodurch die Mikroereignisse im Verhältnis zu den Makroereignissen länger beobachtet wurden. Vermutlich liegt hier also ein Deckeneffekt vor.

Cognitive Load. Die Ergebnisse der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Cognitive Load-Daten und dem Lernerfolg zeigten nur signifikante Zusammenhänge zwischen den Variablen in der Gruppe mit der Sequenzierung „schnell – langsam“. Eine höhere erlebte kognitive Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und bei der Bearbeitung des zweiten Teils der Animation führte hier zu schlechteren Ergebnissen auf der Skala der Mikroereignisse. Die fehlenden negativen signifikanten Zusammenhänge zwischen den Variablen der kognitiven Belastung und der Skala Makrowissen ist möglicherweise auf eine geringere Streuung der Ergebnisse der Items der Makroskala zurückzuführen. Weiterhin ist es interessant, dass die signifikanten Zusammenhänge nur in der Gruppe SL auftraten. Denn bis auf die kognitive Belastung während des Lernens mit der Animation während der zweiten Lernphase unterschieden sich die Gruppen in den Variablen, mit denen signifikante

Zusammenhänge gefunden wurden, nicht. Eine höhere berichtete kognitive Belastung der Gruppe LS beim Lernen mit der Animation während der zweiten Lernphase führt hier demnach nicht zu einem negativen Effekt auf den Wissenserwerb. Im Hinblick auf die erlebte kognitive Belastung scheint es tatsächlich so zu sein, dass das Lernen mit der Sequenzierung „schnell – langsam“ als weniger lernförderlich gesehen werden kann. Bei der Interpretation der Ergebnisse zu kognitiver Belastung und mentaler Anstrengung ist allerdings anzumerken, dass es sich hierbei um erstens um subjektive Ratingsskalen handelt und die Daten zweites auf der Beantwortung eines einzelnen Items beruhen. Zu Schwierigkeiten und Einschränkungen bei der Messung von Cognitive Load sei auf Abschnitt 3.3 verwiesen.

Die Ergebnisse der Verlaufsanalyse der kognitiven Belastung und mentalen Anstrengung zeigte, dass sich die mentale Anstrengung beim Lernen mit der Animation von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 verringert in der Gruppe LS im Vergleich zur Gruppe SL, die kognitive Belastung beim Lernen mit der Animation von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 in der Gruppe LS aber signifikant zunimmt, während sie in der Gruppe SL gleich bleibt. Dies deutet drauf hin, dass die schnelle Geschwindigkeit für die Probanden, die die Animation in der ersten Lernphase langsam gesehen haben, die schnelle Animation als wesentlich schwerer einschätzten im Vergleich zur langsamen Animation, aber auch im Vergleich zu dem Probanden der Gruppe SL. Gleichzeitig stieg die mentale Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests von Testzeitpunkt 1 zu Testzeitpunkt 2 in der Gruppe LS an, während sie in der Gruppe SL ungefähr gleich blieb. Dabei ist zu beachten, dass sich die Gruppen zum Testzeitpunkt 1 in der Einschätzung der mentalen Anstrengung beim Bearbeiten des Wissenstests dahingehend unterschieden, dass sie die Probanden der Gruppe LS weniger mentale Anstrengung berichteten als die Probanden der Gruppe SL. Die kognitive Belastung während der Bearbeitung des Wissenstests war in beiden Gruppen zu beiden Testzeitpunkten etwa auf dem gleichen Niveau und lang mit rund 5 von 6 Punkten relativ hoch. Die Wissenstests wurden demnach durchgehend als schwierig eingeschätzt.

Motivation. Die Motivation bewegte sich für alle erfassten Subskalen der Langfassung des FAM sowie für die Skala der adaptierten Kurzfassung nach Beendigung der Aufgabe auf einem mittleren Niveau. Es fanden sich keine Gruppenunterschiede. Im Hinblick auf die Zusammenhänge zwischen den Motivationsvariablen und den Variablen des Lernerfolgs konnte gezeigt werden, dass eine hohe Motivation in Zusammenhang steht mit dem Lernerfolg auf der Makroskala zu Testzeitpunkt 2. Probanden, die ein höheres Interesse berichteten und die bevorstehende Aufgabe als Herausforderung wahrnahmen, erwarben

insgesamt mehr Makrowissen als Probanden, die auf diesen Motivationsvariablen weniger hohe Werte hatten. Außerdem erwarben Probanden mit einer hohen Motivation bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests mehr Mikro- (Testzeitpunkt 1) und Makrowissen (Testzeitpunkt 2) als Probanden mit weniger hoher Motivation bezüglich der Bearbeitung des Wissenstests. Eine hohe Motivation scheint sich demnach insbesondere auf den Erwerb von Makrowissen positiv auszuwirken.

Außerdem wurde im Hinblick auf die Motivation der Zusammenhang mit der mentalen Anstrengung jeweils im Hinblick auf die jeweiligen Lernphasen und Wissenstests analysiert. Die Annahme, dass eine hohe Motivation mit einer höheren oder vermehrten Aufwendung kognitiver Ressourcen für die Verarbeitung des Lernmaterials im Sinne von mentaler Anstrengung einhergeht, konnte teilweise bestätigt werden. Es fanden sich signifikante Zusammenhänge zwischen Interesse, Herausforderung und retrospektiv berichteter Motivation mit der mentalen Anstrengung sowohl im Hinblick auf das Lernen mit der Animation als auch im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests jeweils zu beiden Testzeitpunkten. Wobei hier einschränkend zu erwähnen ist, dass sich die berichteten Zusammenhänge zu einem großen Teil nur für die Gruppe mit der Sequenzierung „schnell – langsam“ fanden. Diese Gruppe unterschied sich von der Gruppe mit der Sequenzierung „langsam – schnell“ dadurch, dass sie sowohl für die mentale Anstrengung beim Lernen mit der Animation zu beiden Testzeitpunkten als auch für die mentale Anstrengung bei der Testbearbeitung zu Testzeitpunkt 2 signifikant höhere Werte aufwies. Leider hatte dieser (selbst berichtete) vermehrte Einsatz kognitiver Ressourcen keinen positiven Effekt auf den Wissenserwerb.

III Gesamtdiskussion

12 Diskussion und Ausblick

12.1 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse

Nachdem die empirische Forschung zu statischen versus dynamischen Bildern bislang keine klare Ergebnislage hervorbrachte und sich die Fragen, die sich aus der vergleichenden Forschung ergaben, damit beschäftigten, wann und für wen welches Medium besser geeignet ist als ein anderes, ging es in der vorliegenden Arbeit darum, „allein“ das Medium *Animation* mit seinen besonderen Eigenschaften differenziert zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein Lerngegenstand gewählt, von dem nach Rezeption der Literatur (z.B. Hegarty et al., 2003) davon auszugehen war, dass er sich als Thema für eine dynamische Wissensvermittlung eignet. Das Thema *Funktionsweise des Viertaktmotors* bietet eine gute Passung zwischen Thema und Lernumgebungsgestaltung in Form der Animation. Eine Animation bietet sich hier an, um die komplexen Vorgänge sichtbar zu machen. Die Darstellung des Lernmaterials war mit Bedacht sehr einfach und schematisch gehalten, um die Lerner nicht durch statische visuelle Bildeigenschaften abzulenken, sondern nur durch die dynamischen Eigenschaften des Bildes zu beeinflussen, nämlich die Darstellung von Ereignissen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

Die Hauptfragestellungen der Arbeit betrafen den Einfluss der Präsentationsgeschwindigkeit auf die Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung von Informationen beim Lernen mit einer Animation. Die Arbeit ging dabei der Frage nach, ob die Präsentationsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Salienz dynamischer Hierarchieebenen hat (Studie 1 bis 3). Weiterhin wurde die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung dynamisch präsentierter Informationen untersucht (Studie 2) und es wurde analysiert, welches Geschwindigkeitsmuster im Sinne verschiedener Sequenzen von Präsentationsgeschwindigkeiten sich am besten für den Aufbau mentaler Modelle (Studie 3) eignet.

Die Ergebnisse der Studien 1 und 2 deuteten teilweise darauf hin, dass die Präsentationsgeschwindigkeit die kognitive Verarbeitung der entsprechenden dynamischen Informationen beeinflusst. Es konnte gezeigt werden, dass die Geschwindigkeit der Animation einen Einfluss auf den Erwerb von Wissen über Mikro- und Makroereignisse hat. Die Ergebnisse zeigten aber auch, dass eine nutzergesteuerte Animation nicht in jedem Fall lernförderlich sein muss. Zwar gibt es in vielen empirischen Arbeiten Hinweise darauf, dass

Nutzersteuerung nützlich sein kann (siehe Abschnitt 6.5.1), weil so der Lerner die Animation an seine eigenen Lernbedürfnisse anpassen kann, aber in dieser Arbeit zeigte sich, dass wenn Lerner die Möglichkeit haben, zwischen verschiedenen Geschwindigkeiten und Perspektiven zu wählen, möglicherweise relevante Informationen „verpasst“ werden, die nur in bestimmten Geschwindigkeiten oder in einer bestimmten Ansicht gut sichtbar sind. Sowohl in der Pilotstudie als auch in Studie 1 bevorzugten die Lerner langsame Geschwindigkeiten, die in Verbindung mit der Vermittlung von Wissen über Mikroereignisse gebracht werden. Das bedeutet, Makroereignisse, die bei schnellen Geschwindigkeiten sichtbar werden sollen, konnten nur schwer erkannt werden. Die fehlende Nutzung schneller Geschwindigkeiten wird sichtbar, wenn man sich den Lernerfolg anschaut. Die Lerner erwarben weit weniger Wissen über Makroereignisse im Vergleich zu Wissen über Mikroereignisse (Studie 1). Die Ergebnisse stehen beispielsweise in Einklang mit den Ergebnissen einer Studie von Lowe (2003; 2008) zum Lernen mit Wetterkarten. Dort „verpassten“ die Probanden wichtige Informationen über höher geordnete zeitliche Strukturen dadurch, dass sie nicht alle Möglichkeiten der Interaktivität adäquat nutzten. Dennoch konnte ein Einfluss der Geschwindigkeit auf den Erwerb von Wissen über Ereignisse auf verschiedenen hierarchischen Ebenen gefunden werden. Je höher die Durchschnittsgeschwindigkeit war, mit der die Lerner die Animation betrachteten, umso höher war der Anteil an Makrowissen am insgesamt erworbenen Wissen.

Die Ergebnisse der Studie von Fischer et al. (2008) zeigten, dass die Variation der Geschwindigkeiten einen Einfluss auf das Aufmerksamkeitsprofil der Lerner hatte. Ausgehend von diesen Ergebnissen wurde in den Studien 2 und 3 angenommen, dass eine sukzessive Präsentation des Lerneinhalts in verschiedenen Geschwindigkeiten dazu genutzt werden kann, die Aufmerksamkeit des Lerners auf die thematisch relevanten Teile der Animation zu lenken. Um also sicher gehen zu können, dass sowohl Informationen auf der Mikro- als auch auf der Makroebene wahrgenommen und damit auch kognitiv verarbeitet werden können, ist es also entscheidend, dass die Animation in verschiedenen Geschwindigkeiten abgespielt wird, die mit dem Hervorheben der jeweiligen zeitlichen Hierarchieebene in Verbindung gebracht werden. Demnach sollte den Lernern in Studie 2 und 3 eine langsame und eine schnelle Geschwindigkeit präsentiert werden. In Verbindung mit der sequenziellen Präsentation verschiedener Geschwindigkeiten stand die Annahme, dass die Reihenfolge der Geschwindigkeitspräsentation eine wichtige Rolle spielt. Eine Annahme darüber, welche Sequenzierung von Geschwindigkeiten lernförderlicher ist als die andere,

konnte nicht getroffen werden. So kann die Darbietung einer schnellen vor einer langsamen Geschwindigkeit lernförderlich sein, da es hier möglich ist, zuerst einen Überblick über die Funktionsweise der Animation zu gewinnen, bevor die Details betrachtet werden. Aber auch die Darbietung einer langsamen vor einer schnellen Geschwindigkeit kann lernförderlich sein, weil hier die Möglichkeit besteht, zunächst die Teile der Animation zu betrachten bevor diese in einem zweiten Schritt in ein globales mentales Modell zusammengeführt werden.

Die Analysen der Blickbewegungsmessung in Studie 2 legten nahe, dass eine Geschwindigkeitspräsentation in der Reihenfolge „langsam – schnell“ den perzeptuellen Prozessen der Lerner eher entspricht als eine Präsentation in der umgekehrten Reihenfolge. Lerner fokussierten in der ersten Lernphase vorrangig Mikroereignisse, selbst bei schneller Geschwindigkeit. Die Ergebnisse stehen in Einklang mit den Ergebnissen der Studie von Fischer et al. (2008), die zeigte, dass die visuelle Aufmerksamkeit beim Lernen mit einer schnellen vs. langsamen Geschwindigkeit nicht nur von visuell-räumlichen und zeitlichen Merkmalen einer Animation gesteuert wird, sondern auch von top-down-Prozessen beeinflusst wird. Obwohl die Makroereignisse des Viertaktmotors bei schneller Geschwindigkeit salient sein sollten, zeigten die Ergebnisse von Studie 2, dass die Lerner dazu neigen, Mikroereignisse zu beobachten und zwar auch, wenn die schnelle Geschwindigkeit zuerst präsentiert wurde. Vielleicht ist es wichtig, zunächst das Funktionieren eines Zylinders zu verstehen, um die gesamte Funktionsweise des Motors zu verstehen. Vielleicht war aber auch die schnelle Geschwindigkeit nicht schnell genug um die perzeptuelle Salienz der Mikroereignisse vollständig zu „überschreiben“. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Probanden, allesamt Novizen im Hinblick auf den Viertaktmotor, wussten, wo sie hinschauen müssen und welche Reihenfolge der Beobachtung von Ereignissen sinnvoll ist. Trotzdem scheint die Sequenz „langsam – schnell“ günstiger für das Lernen zu sein. Die Analyse der Fixationszeiten in bestimmten Gebieten der Animation/des Bildschirms (AOIs) deuten darauf hin, dass beide Gruppen während der ersten Lernphase Mikroereignisse beobachteten und in der zweiten Lernphase Makroereignisse. So werden zunächst durch die langsame Geschwindigkeit die Mikroereignisse betont, was für die Konstruktion eines mentalen Modells über die Teile des Viertaktmotors hilfreich ist. In einem zweiten Schritt können diese Teile in ein globales mentales Modell integriert werden (*progressive model building*; Mayer & Chandler, 2001). Entgegen der theoretisch besseren Passung deuten die Ergebnisse in Studie 2 jedoch nicht darauf hin, dass es Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich des Erwerbs von Mikro- oder Makrowissen gibt. Leider

lässt sich aus den Ergebnissen nicht ableiten, zu welchem Zeitpunkt, das heißt nach welcher Lernphase, Mikro- und Makrowissen erworben wurde. Aufgrund der Anlegung der Studie als Blickbewegungsstudie war es nicht möglich, Wissenstests zwischen den einzelnen Geschwindigkeitspräsentationen/Lernphasen einzusetzen. Die Probanden erhielten den Wissenstest nur einmal nach Beendigung beider Lernphasen. Diesem kumulativen Aspekt des Wissenserwerbs beim Lernen mit einer Animation mit sequenzierten Geschwindigkeiten wurde in Studie 3 Rechnung getragen.

Ziel von Studie 3 war eine differenzierte Untersuchung, unter welcher Geschwindigkeitsbedingung welche Art von Wissen, im Sinne von Wissen über verschiedene dynamische Hierarchieebenen, erworben wurde. Dazu wurde ein Messwiederholungsdesign angewendet. Nach jeder Geschwindigkeit/Lernphase erhielten die Probanden einen Wissenstest mit Fragen zu Mikro- und Makroereignissen. Die Annahmen waren, dass (1) die perzeptuelle Salienz der durch die Geschwindigkeit geprägten hierarchischen Ereignisse ausschlaggebend für die Wahrnehmung ist (*Dynamic Sensitivity-Hypothese*) und (2) die in der ersten Lernphase „geprägte“ dynamische Hierarchieebene im Sinne einer Art Vorwissens bestimmt, welche Hierarchieebene während der zweiten Lernphase beobachtet wird, unabhängig von der aktuellen Geschwindigkeit (*Primed Setting-Hypothese*). Die *Dynamic Sensitivity-Hypothese* konnte nicht bestätigt werden. Wie schon in Studie 2 zeigte sich, dass Lerner in der ersten Lernphase, egal ob die Animation schnell oder langsam präsentiert wurde, Mikroereignisse beobachtet wurden. Das legen zumindest die Ergebnisse des Wissenstests zum ersten Testzeitpunkt nahe. Die Gruppen unterschieden sich nicht hinsichtlich der Skalen des Wissenstests. Beide Gruppen erwarben nahezu gleich viel Wissen über Mikro- und Makroereignisse. Möglicherweise ist es, insbesondere für Lerner ohne Vorwissen, wichtig (oder auch weniger schwierig), zuerst Mikroereignisse zu beobachten. Die *Primed Setting-Hypothese* konnte zumindest teilweise bestätigt werden. Die visuelle Aufmerksamkeit blieb auch während der zweiten Geschwindigkeit/Lernphase auf den Ereignissen, die während der ersten Lernphase beobachtet wurden. Mikroereignisse wurden also auch bei schneller, Makroereignisse auch bei langsamer Geschwindigkeit beobachtet, wenn diese als zweite Geschwindigkeit präsentiert wurden. Die Ergebnisse der Analyse des Wissenszuwachses von einem zum nächsten Testzeitpunkt zeigte, dass zumindest innerhalb der Gruppe mit der Sequenzierung „langsam – schnell“ ein höherer Wissenszuwachs auf der Skala der Mikroereignisse zu verzeichnen war als in der Gruppe „schnell – langsam“. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass in der Gruppe „langsam – schnell“ auch in der zweiten

Lernphase, obwohl diese in schneller Präsentationsgeschwindigkeit stattfand, Mikroereignisse fokussiert wurden. Für die Skala der Makroereignisse fand sich ein ähnliches Bild, die Analyse zeigte allerdings keinen signifikanten Effekt. Die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung dynamischer Informationen scheint als nicht nur durch perzeptuell saliente Merkmale der Animation beeinflusst zu sein, sondern auch durch bereits erworbenes Wissen (siehe auch Fischer et al., 2006; 2008).

Mit Blick auf die kognitive Verarbeitung lässt sich festhalten, dass es möglicherweise, zumindest im Hinblick auf den genutzten Lerninhalt, von Bedeutung zu sein scheint, das Funktionieren der einzelnen Teile des Motors zu verstehen, um das Zusammenspiel der Teile auf einer globalen (Makro-) Ebene zu verstehen. Dies würde dem *progressive model building* (Mayer & Chandler, 2001) entsprechen. Die Konstruktion eines vollständigen mentalen Modells der Funktionsweise des Motors erfordert ein hohes Maß an kognitiver Verarbeitung, welche die angenommenen Effekte der Präsentationsgeschwindigkeit nichtig macht. Möglicherweise würde eine längere Lernzeit es den Probanden erlauben, ein adäquates mentales Modell des Funktionierens der Mikroereignisse zu konstruieren und darauf aufbauend ein mentales Modell der gesamten Funktionsweise des Motors. Auf diese Erklärung deuten die Ergebnisse der Eyetracking-Studie hin, wonach während der ersten Lernphase Mikroereignisse beobachtet wurden und in der zweiten Lernphase diejenigen Teile der Animation für das Beobachten an Bedeutung gewannen, die mit der Darstellung von Makroereignissen in Verbindung gebracht werden.

Ein kritischer Punkt, der alle Studien betrifft, sind die Skalen des Wissenstests. Die Schwierigkeit der Mikro- und Makroskala waren in allen Untersuchungen sehr unterschiedlich. Die Beantwortung von Makroaufgaben erwies sich wesentlich schwieriger als die Beantwortung der Mikroaufgaben. Weiterhin deuten die teilweise unbefriedigenden internen Konsistenzen der Makroskalen der einzelnen Studien darauf hin, dass die Makroskala wesentlich heterogener ist als die Mikroskala. Das Ausbleiben der erwarteten Effekte, insbesondere im Hinblick auf das Makrowissen, ist hier möglicherweise auch der schlechten Reliabilität dieser Skala zuzuschreiben. Auch die aufgrund der Stichprobengrößen teilweise geringe statistische Power, einen signifikanten Effekt zu finden (besonders in Studie 2) sei an dieser Stelle erwähnt.

Die Analysen der Verhaltensdaten der Studien zeigten eine deutliche Präferenz für die Frontansicht des Viertaktmotors gegenüber der Seitenansicht. Außerdem wechselten die Probanden selten zwischen den Ansichten. Da die Frontansicht vorrangig Mikroereignisse

darstellt und die Seitenansicht eher Makroereignisse zeigt, waren die Bedingungen für den Erwerb von Mikrowissen wesentlich besser als für den Erwerb von Makrowissen. Dies könnte eine weitere Erklärung sein für die schlechten Lernerfolge auf der Ebene der Makroereignisse sein.

Ein weiteres Problem, was angesprochen werden sollte, ist das der Ratewahrscheinlichkeit. Die Items der beiden Skalen wiesen unterschiedliche Ratewahrscheinlichkeiten auf. Die Ratewahrscheinlichkeit für die Mikroitems lag insgesamt bei ungefähr 40 Prozent, die der Makroaufgaben insgesamt bei ungefähr 25 Prozent. Da aber viele Probanden Aufgaben, die sie nicht beantworten konnten der Instruktion gemäß nicht beantworteten, war es nicht möglich, die Ergebnisse um die Ratewahrscheinlichkeit zu korrigieren. Das heißt, die Unterschiede zwischen den Lernerfolgen auf den beiden Skalen können als weniger groß angenommen werden als die Daten zuerst andeuteten.

Neben der Untersuchung der Hauptfragestellungen der Arbeit wurden auch Forschungsfragen bezüglich der Lernermerkmale, der kognitiven Belastung und der Motivation verfolgt. Die Ergebnisse der Analysen werden im Folgenden zusammenfassend diskutiert.

Lernermerkmale. In den vorliegenden Studien ging es vor allem um die Untersuchung der Wahrnehmung und kognitiven Verarbeitung hierarchischer Ereignissen unter verschiedenen Geschwindigkeitsbedingungen. Mit dem Modell von Schnotz und Bannert (2003; Schnotz, 2005) und auch mit der Prozessmodell des Bildverstehens nach Weidenmann (1988a, 1994b) kann und muss man davon ausgehen, dass das Vorwissen einen wesentlichen Einfluss auf die Wahrnehmung der dargestellten Informationen und damit auch auf den Wissenserwerb hat. Bezüglich des Einflusses des Vorwissens auf die Wahrnehmung von Ereignissen lassen sich die Arbeiten von Lowe (z.B. Lowe, 1999; 2003) zitieren, der herausfand, dass sich Lerner mit geringem Vorwissen eher von perzeptuell salienten Informationen leiten lassen, während Experten den Blick auf vielleicht weniger saliente, aber inhaltlich relevante Informationen richten. Im Falle der vorliegenden Studien war das Lernmaterial so gewählt und gestaltet, dass die in einer bestimmten Geschwindigkeit perzeptuell salienten Informationen auch den relevanten Informationen entsprachen. Außerdem ging es nicht vorrangig um die Frage der Unterschiede zwischen Novizen und Experten, sondern es wurden mit Bedacht Versuchspersonen untersucht, die kein Vorwissen haben. So sollte sichergestellt werden, dass das erworbene Wissen auf die dem Lernmaterial entnommenen Informationen zurückzuführen ist. Nur so können Rückschlüsse auf den

Wissenserwerb unter verschiedenen Geschwindigkeitsbedingungen gezogen werden. Allein bei der Blickbewegungsstudie wäre es interessant gewesen, Versuchspersonen mit unterschiedlichem Vorwissen zu untersuchen. Da man hier sozusagen on-line die perzeptuelle Informationsverarbeitung aufzeichnen kann, wären Aussagen darüber möglich gewesen, ob und wie sich die Blickbewegungen von Experten und Novizen unterscheiden.

Trotzdem an allen Studien nur Lerner mit wenig Vorwissen teilnahmen, konnten doch (1) teilweise Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen bezüglich des (wenn auch geringen) Vorwissens und (2) positive signifikante Zusammenhänge zwischen dem Vorwissen und dem Lernerfolg gefunden werden. Wobei zu erwähnen ist, dass das Vorwissen in der Pilotstudie und Studie 1 nicht nur thematisch in Bezug auf den Viertaktmotor, sondern auch domänenspezifisch mithilfe des Mannheimer Test zur Erfassung des physikalisch-technischen Problemlösens (MTP; Conrad et al., 1980) erfasst wurde. Auch hier fanden sich signifikante Zusammenhänge mit dem Lernerfolg.

Die empirischen Befunde der ATI-Forschung (siehe Abschnitt 6.6) sprechen für die Annahme, dass auch räumliche Fähigkeiten einen Einfluss auf den Lernerfolg haben. Demnach sind räumliche Fähigkeiten eine Voraussetzung für das Verstehen von Bildern und für das Konstruieren einer mentalen Vorstellung anhand eines Bildes oder einer Animation (Brünken et al., 2000). Auch in den Studien dieser Arbeit ließen sich die Befunde bestätigen. Es zeigte sich in allen Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen den räumlichen Fähigkeiten und dem Lernerfolg. Die Nützlichkeit räumlicher Fähigkeiten für den Wissenserwerb mit Bildern kann in dieser Arbeit demnach bestätigt werden. Aussagen darüber, ob sich der Einfluss räumlicher Fähigkeiten eher im Sinne einer *ability as enhancer*-Hypothese oder einer *ability as compensator*-Hypothese interpretieren lassen, sind an dieser Stelle nicht möglich.

Einschränkend zu den hier berichteten Ergebnissen ist zu sagen, dass sich die gefundenen Zusammenhänge auf den Lernerfolg bezüglich des Mikrowissens beschränken. Dies trifft auch für die gefundenen Zusammenhänge des Vorwissens mit dem Lernerfolg zu. Die Ergebnisse sind aber nicht weiter verwunderlich, wenn die oben erwähnten Schwierigkeiten in Zusammenhang mit der Erfassung des Makrowissens bedacht werden. Für die Skala der Makroereignisse fand sich nur ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Lernerfolg. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit kann als Indikator für eine schnelle Wahrnehmungsfähigkeit gesehen werden. Demnach waren Probanden, die im Test für die Bearbeitungsgeschwindigkeit gut abschnitten, auch gut im

Erkennen und Lernen von Makroereignissen. Dieses Ergebnis gibt einen Hinweis auf Individualität der Sensitivität für dynamische Kontraste, auch unabhängig vom Vorwissen.

Cognitive Load. Im Hinblick auf die Ergebnisse zu kognitiver Belastung und mentaler Anstrengung lässt sich zusammenfassend feststellen, dass über alle Studien hinweg negative signifikante Zusammenhänge zwischen der kognitiven Belastung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Lernerfolg gefunden wurden. Teilweise (Studien 1 und 3) fanden sich diese Zusammenhänge auch zwischen der kognitiven Belastung während des Lernens mit der Animation und dem Lernerfolg. Die Einschätzung der Probanden, dass der Wissenstest (und teilweise auch das Lernen mit der Animation) sehr schwierig war, zeigte sich demnach in einem schlechteren Lernerfolg. Zum Zusammenhang zwischen der investierten mentalen Anstrengung und dem Lernerfolg fand sich nur in Studie 1 ein marginal signifikanter Zusammenhang zwischen der mentalen Anstrengung bei der Bearbeitung des Wissenstests und dem Ergebnis des Wissenstests. Wobei die Ergebnisse auch hier, wie schon bei den Lernermerkmalen, auf die Skala der Mikroereignisse beschränkt sich.

Bei der Interpretation der Ergebnisse bezüglich des Cognitive Load soll an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Daten mit jeweils einem Item erfasst wurden und auf subjektiven Einschätzungen beruhen. Zu den Schwierigkeiten bei der Messung von Cognitive Load sei auf Abschnitt 3.3 verwiesen.

Motivation. Neben den aus kognitionspsychologischer Sicht durchaus plausiblen Vorteilen von Animationen (*facilitating function* und *enabling function*; Salomon, 1984; Schnotz, 2002c; Schnotz & Lowe, 2008; Schnotz & Rasch, 2005; 2008; siehe Abschnitt 6.4) wird Animationen auch eine motivierende Funktion zugeschrieben. Sie sollen zum Lernen anregen und die Aufmerksamkeit des Lerners aufrechterhalten. Dafür, dass es sich bei den Probanden der Studien dieser Arbeit vorwiegend um Psychologie- oder Lehramtsstudierende handelte, bei denen man davon ausgehen kann, dass sie sich wahrscheinlich nicht in besonderem Maße für den Viertaktmotor interessierten, kann man sagen, dass die mittels der Fragebögen erhobene Motivation während des Lernen und auch während der Testbearbeitung zufriedenstellend war. Aussagen darüber, ob das Lernen mit einer Animation hier zu einer höheren Motivation geführt hat im Vergleich zum Lernen mit Standbildern, können an dieser Stelle nicht getroffen werden. Dies wäre sicher, insbesondere im Hinblick auf für einen den Lerner eher unattraktiven Lerninhalt, eine interessante Forschungsfrage. Was an dieser Stelle zu berichten ist, ist dass die Motivation der Lernenden insgesamt in jedem Fall zufriedenstellend bis gut war.

Eine weitere interessante Frage, die sich im Zusammenhang mit der Motivation eröffnete, war die nach dem Einfluss der Motivation auf die mentale Anstrengung, also darauf, wie sehr sich beim Lernen und bei der Bearbeitung des Wissenstests angestrengt wurde. Theoretisch ist anzunehmen, dass sich eine hohe Motivation positiv auf die investierte mentale Anstrengung auswirkt (Paas & van Merriënboer, 1993). Für die Studie 1 und 2 fanden sich signifikante Zusammenhänge zwischen der Motivation im Hinblick auf die Bearbeitung des Wissenstests und der berichteten mentalen Anstrengung, die bei der Bearbeitung des Wissenstests investiert wurde. Ein Zusammenhang zwischen der Motivation im Hinblick auf das Lernen mit der Animation und der beim Lernen mit der Animation investierten mentalen Anstrengung fand sich in den Studien 1 und 2 nicht. Für Studie 3 ließen sich signifikante Zusammenhänge zwischen den Motivationsskalen Interesse, Herausforderung und Motivation im Hinblick auf den Wissenstest und der mentalen Anstrengung im Hinblick auf sowohl das Lernen mit der Animation als auch die Wissenstestbearbeitung berichten. Die Skala Erfolgswahrscheinlichkeit wies einen signifikanten Zusammenhang mit der mentalen Anstrengung im Hinblick auf die Wissenstestbearbeitung auf. Die Annahme, dass sich eine hohe Motivation positiv auf die in das Lernen investierten kognitiven Ressourcen auswirkt, kann also mithilfe der Ergebnisse von Studie 3 bestätigt werden. Die Annahme, dass sich eine hohe Motivation positiv auf die bei der Testbearbeitung investierten kognitiven Ressourcen auswirkt, kann also mithilfe der Ergebnisse der Studien dieser Arbeit bestätigt werden. Leider wirkte sich die vermehrte Investition mentaler Anstrengung nicht positiv auf den Wissenserwerb aus.

12.2 Implikationen

Aus Sicht der instruktionspsychologischen Praxis ist es wichtig festzustellen, wie Animationen so gestaltet werden können, dass sie das Lernen effektiv unterstützen. Im Hinblick auf die Ergebnisse der vorliegenden Studien lässt sich festhalten, dass die verwendete Animation die Konstruktion eines mentalen Modells über einen dynamischen Sachverhalt unterstützen konnte. Ob sie dies besser oder schlechter tun als statische Bilder, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden, dieser Frage ging die Arbeit nicht nach. Allerdings sollte die Gestaltung von Animationen dabei bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Bedingungen, die berücksichtigt werden sollten, betreffen visuell-räumliche und zeitliche Aspekte der Animation. Gemäß dem *apprehension principle* (Tversky et al, 2002) sollte die externe Repräsentation so gestaltet sein, dass sie leicht und korrekt wahrgenommen und

verstanden werden kann. Eine Animation als externe Repräsentation sollte demnach mit der internen Repräsentation, die gefördert werden soll, übereinstimmen (*equivalent resemblance principle*; Hegarty, 2005). Eine Möglichkeit der Unterstützung des Lernens mit Animationen ist die Nutzung interaktiver Möglichkeiten. Durch Interaktion mit dem Lernmaterial kann die aktive Verarbeitung gefördert werden und Eigenschaften der Animation, wie beispielsweise die Geschwindigkeit können vom Lerner selbst beeinflusst werden (Tversky et al., 2002; Schwan & Riempp, 2004; Betrancourt, 2005). Aber die Möglichkeiten der Interaktivität können auch Schwierigkeiten im Hinblick auf die kognitiven Ressourcen des Lerners mit sich bringen (Sweller & Chandler, 1994; Schnotz et al., 1999). Die praktischen Implikationen, die sich für die zeitliche Gestaltung von Animationen aus den Ergebnissen der Studien der vorliegenden Arbeit ergeben, sind aufgrund der untersuchten Stichprobe und des sehr speziellen Lerninhalts nur sehr begrenzt gültig. Die Ergebnisse der Studien, in denen die Lerner die Möglichkeit hatten, die Animation im Hinblick auf die Geschwindigkeit selbst zu steuern (Pilotstudie, Studie 1) zeigen, dass auch hier die Interaktivität eher Schwierigkeiten mit sich brachte. Die Schlussfolgerungen, die sich ziehen lassen betreffen die Tatsache, dass Lerner mit niedrigem Vorwissen beim Lernen mit einer komplexen Animation, bei der verschiedene Vorgänge auf verschiedenen zeitlichen Ebenen zugleich sichtbar waren, bevorzugt langsame Geschwindigkeiten wählten, wenn ihnen die Möglichkeit zur Selbststeuerung gegeben wurde. Die Informationsaufnahme fand im Hinblick auf die Geschwindigkeiten dadurch eher selektiv statt, da nicht alle Möglichkeiten der Interaktion genutzt wurden. Höhere Geschwindigkeiten schienen die Lerner eher zu überfordern, was sich beispielsweise bei der Analyse des Verlaufs der erlebten kognitiven Belastung beim Lernen mit einer sequenzierten Animation zeigte. Unter Berücksichtigung der hier untersuchten Zielgruppe von Lernern mit geringem Vorwissen über den zu vermittelnden Sachverhalt, deuten die Ergebnisse der Studien an, dass eine Animation mit weniger Möglichkeiten der Selbststeuerung hier besser geeignet wäre, um sicher zu stellen, dass alle relevanten Informationen gesehen werden können. Leider gaben die Ergebnisse der Studien zum Lernen mit einer Animation in verschiedenen Geschwindigkeiten keine Hinweise darauf, dass sich der Erwerb von Makrowissen damit unterstützen ließ, dass sichergestellt wurde, dass der Lerner die Animation auch in schneller Geschwindigkeit betrachtete. Der prozentuale Anteil des erworbenen Mikro- und Makrowissens war über alle Studien vergleichbar. Dies kann zum einen daran gelegen haben, dass selbst die schnelle Geschwindigkeit nicht schnell genug war, um die visuelle Aufmerksamkeit auf die Makroereignisse zu lenken, zum anderen an der schon erwähnten Präferenz der Frontansicht gegenüber der Seitenansicht.

Möglichkeiten, das Lernen mit Animationen zu unterstützen, sind die Verwendung von visuellen Hinweisreizen wie beispielsweise das farbliche Hervorheben wichtiger Informationen (*highlighting*), bestimmte Farbmarkierungen (*color coding*) oder die Manipulation der Geschwindigkeit. Der sogenannte *perceptual dominance effect* (de Koning et al., 2007; siehe auch Lowe, 1999) kann genutzt werden, um die Aufmerksamkeit des Lernalers auf relevante Aspekte des Lernmaterials zu lenken. Die Manipulation der Geschwindigkeit bietet dabei die Möglichkeit, relevante Informationen zu betonen, indem sie in den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit rückt werden (Fischer & Schwan, 2010; Boucheix & Lowe, 2008; de Koning et al., 2011). Um die zeitliche Gestaltung ging es in den Studien der vorliegenden Arbeit. Die Variation der Geschwindigkeiten und auch die Kombination verschiedener Geschwindigkeiten beinhalten große Möglichkeiten für das Design von Animationen im Hinblick auf die Darstellung komplexer dynamischer Sachverhalte. Dabei ist es wichtig, optimale Präsentationsgeschwindigkeiten für dynamische Visualisierungen zu finden, um bestimmte dynamische hierarchische Ebenen zu betonen und so die Konstruktion eines adäquaten mentalen Modells zu unterstützen. Zukünftige Forschung ist nötig, um die Effekte der Manipulationen der Geschwindigkeit beim Lernen mit Animationen weiter zu untersuchen.

12.3 Ausblick

Im Hinblick auf die zeitliche Gestaltung von Animationen besteht weiterhin großer Forschungsbedarf. Dies betrifft beispielsweise die Übertragung der Ergebnisse auch auf andere Wissensdomänen, eine Erweiterung der Variationen verschiedener Präsentationsgeschwindigkeiten und möglicherweise auch größere Kontraste zwischen langsamen und schnellen Geschwindigkeiten. Die Vergrößerung des Kontrasts zwischen schnellen und langsamen Geschwindigkeiten würde dabei eine direkte Fortsetzung der Studien der Arbeit darstellen. In Abschnitt 12.1 (siehe auch Abschnitt 11.5) wurde eine immer noch zu langsame Geschwindigkeit als möglicher Grund für das Ausbleiben der erwarteten Effekte diskutiert. Hier könnte eine Folgestudie mit einer höheren schnellen Geschwindigkeit Aufschluss geben.

Aus Sicht der ökologischen Validität ist es auch von großer Wichtigkeit, diejenigen Zielgruppen zu untersuchen, die in der Praxis die Adressaten dieser Art von Lernumgebungen sind. Die vorliegenden Studien fanden als parallele Einzeluntersuchungen in einer experimentellen Lernumgebung mit Studierenden statt. Es ist nicht auszuschließen, dass sich

die Lernsituation auf das Lernverhalten und demnach auch auf den Lernerfolg ausgewirkt hat. So wäre es interessant, die Studien (1 und 3) in Feldexperimenten an einer größeren Stichprobe von Schülerinnen und Schülern zu untersuchen. Hier würde man auch eine größere Varianz der individuellen Lernermerkmale erwarten, deren Einfluss auf den Wissenserwerb beim Lernen mit Animationen analysiert werden können. Zudem könnte überprüft werden, ob das teilweise Ausbleiben der erwarteten Effekte möglicherweise einer zu geringen statistischen Power aufgrund der eher kleinen Stichprobengrößen geschuldet ist.

Um zu verallgemeinerbaren Befunden bezüglich der zeitlichen Gestaltung von Animationen zu gelangen, ist es unabdingbar, die Forschung auf Lerninhalte aus anderen Wissensdomänen zu erweitern. Zwar kann für den hier gewählten Lerninhalt angenommen werden, dass er im Hinblick auf verschiedene Eigenschaften repräsentativ für Animationen im Allgemeinen ist. So zeigt die Animation des Viertaktmotors zyklische Ereignisse, wie sie auch für andere in der Forschung verwendete Animationen charakteristisch sind (siehe Fischer & Schwan, 2010). Auch sind die in der Animation des Viertaktmotors gezeigten Ereignisse zeitlich hierarchisch strukturiert. Und auch dieses Merkmal hat die in den vorliegenden Studien genutzte Animation mit anderen in der Forschung genutzten Animationen, wie beispielsweise den Wetterkarten (Lowe, 1999) oder der Pendeluhr (Fischer & Schwan, 2008), gemein (vgl. auch Fischer & Schwan, 2010). Dennoch bieten sich für weitere Forschungen auch andere Wissensdomänen an. Hier kann man beispielsweise an die dynamische Darstellung biologischer Vorgänge denken, die sich für die Wissensvermittlung durch Animationen eignen und bei denen der Aspekt der Präsentationsgeschwindigkeit untersucht werden könnte.

Im Hinblick auf die perzeptuelle und kognitive Verarbeitung von Animationen ist auch die Frage nach Unterschieden zwischen Experten und Novizen interessant. Hier bieten sich verschiedene Fragestellungen an, die mithilfe von Blickbewegungsmessungen untersucht werden können. Zum einen könnten die Blickbewegungsmuster von Experten und Novizen unter verschiedenen Geschwindigkeitsbedingungen verglichen werden, zum anderen könnte untersucht werden, ob es möglich ist, dass Novizen von den Blickbewegungsmustern der Experten lernen (vgl. hierzu die Forschung zu *Eye Movement Modeling Examples* (EMME); van Gog, Jarodzka, Scheiter, Gerjets & Pass, 2009; Jarodzka, van Gog, Dorr, Scheiter & Gerjets, 2013).

Für zukünftige Forschung könnte es weiterhin interessant sein, eine sequenzierte Geschwindigkeitspräsentation mit visuellem Cueing zu kombinieren. Diese visuellen

Hinweisreize könnten ein hilfreiches Gestaltungsmittel sein, um die visuelle Aufmerksamkeit auf die relevanten Mikro- und Makroereignisse einer Animation zu lenken. So könnte die Betrachtungsweise der Animation über die Zeit hinweg und in einer bestimmten Reihenfolge beeinflusst werden (Boucheix & Lowe, 2010; Boucheix, Lowe, Putri & Groff, 2013; de Koning et al., 2007; 2010). Insbesondere beim Lernen mit Animationen ohne begleitenden Text kann sich das Hervorheben bestimmter Teile der Animation oder auch das Hervorheben kausaler Zusammenhänge lernförderlich auswirken (Boucheix & Lowe, 2010). Aber auch die Möglichkeit einer verbalen Lenkung der Aufmerksamkeit durch gesprochenen Text zusätzlich zur Animation bietet eine interessante Forschungsfrage.

Wie diese Ausführungen und die bisherigen Befunde zur zeitlichen Manipulation von Animationen und inklusive der Ergebnisse der vorliegenden Studien zeigen, gibt es weiteren Forschungsbedarf, um die Effekte zeitlicher und auch visuell-räumlicher Merkmale von Animationen zu untersuchen. Auch die Bedingungen auf Seiten des Lerners, unter denen das Lernen mit Animationen stattfindet, die Anforderungen, die das Lernen mit dynamischen Lernumgebungen an den Lerner stellen und die Möglichkeiten, wie Lerner beim Lernen mit Animationen unterstützt werden können, müssen systematisch untersucht werden (Lowe, 2002). Nur so ist es möglich, dass sinnvolle und lernförderliche dynamische Lernmaterialien hergestellt werden können.

Zusammenfassung

Animationen können in instruktionalen Kontexten genutzt werden, um Wissen über Sachverhalte zu vermitteln, die Prozesse oder Abläufe beinhalten. So können dynamische Sachverhalte explizit dargestellt werden und müssen nicht vom Lerner selbst in Gedanken hergestellt, sondern nur anhand der Animation nachvollzogen werden. Dies sollte sich positiv auf den Wissenserwerb auswirken. Dabei stellen Animationen mit ihrer besonderen Eigenschaft der Darstellung zeitlicher Abläufe besondere Herausforderungen an den Lerner. Das menschliche Informationsverarbeitungssystem unterliegt bestimmten Begrenzungen im Hinblick auf die Wahrnehmung von Geschwindigkeiten. Zu schnelle und zu langsame Geschwindigkeiten können beispielsweise nur schwer wahrgenommen und dementsprechend auch nicht kognitiv verarbeitet werden. Die Zielsetzung der Arbeit, die sich daraus ergibt, war eine systematische Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Präsentationsgeschwindigkeiten auf das Wahrnehmen und Verstehen eines dynamischen Sachverhaltes anhand einer Animation.

Um die Fragestellungen der Arbeit beantworten zu können, wurden vier experimentelle Studien durchgeführt. Die Pilotstudie hatte das Ziel, sowohl das Lernmaterial als auch den entwickelten Wissenstest zu evaluieren. In Studie 1 wurde der Frage nach dem Einfluss der Präsentationsgeschwindigkeit auf den Wissenserwerb beim Lernen mit einer interaktiven Animation nachgegangen. Die Studien 2 und 3 untersuchten den Einfluss verschiedener Reihenfolgen von Geschwindigkeiten auf den Wissenserwerb. Hier ging es um eine systematische Erfassung der perzeptuellen und kognitiven Verarbeitung dynamischer Informationen in zwei verschiedenen Geschwindigkeiten mittels Blickbewegungsmessung (Studie 2) und wiederholten Testungen des Wissenserwerbs zwischen den einzelnen Lernphasen (Studie 3).

Die Ergebnisse der Studien deuten darauf hin, dass bei langsamer Geschwindigkeit Wissen über Ereignisse auf untergeordneter zeitlicher Ebene erworben wurde und dass je schneller eine Animation gesehen wurde, umso mehr anteiliges Wissen auf einer übergeordneten zeitlichen Ebene erworben wurde (Studie 1), aber eindeutige Aussagen über den Einfluss der Geschwindigkeit auf den Wissenserwerb auf verschiedenen zeitlichen Hierarchieebenen lassen sich aufgrund der Ergebnisse der Studien nicht machen. Im Hinblick auf die Lernförderlichkeit verschiedener Arten der Sequenzierung von Geschwindigkeiten zeigten sich auch keine eindeutigen Ergebnisse. Aufgrund der Analyse der Blickbewegungsdaten deutet sich jedoch an, dass die Reihenfolge „langsam – schnell“ den Bedingungen auf Seiten der Lerner eher entgegen kommt als die Reihenfolge „schnell – langsam“.

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. & van Labeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representations. *Learning and Instruction, 14*, 241-255.
- Amelang, M. & Zielinski, W. (2004). *Psychologische Diagnostik und Intervention*. Berlin: Springer.
- Anderson, J. R. (1996). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Anderson, J. R. & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. Washington, DC: Winston.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (Volume 2, S. 89-195). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science, 255*, 556-559.
- Baddeley, A. (1995). Working memory. In M.S. Gazzaniga (Hrsg.), *The cognitive neurosciences* (S. 755-764). Cambridge, MA: MIT Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Science, 4*, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist, 56*, 851-864.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *Psychology of learning and motivation* (Bd. 8, S. 17-90). Orlando, FL: Academic Press.
- Ballstaedt, S.-P. (1997). *Wissensvermittlung*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Barlow, H., Blakemore, C. & Weston-Smith, M. (1990). *Images and understanding*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles. In R. E. Mayer (Hrsg.) *Handbook of Multimedia* (S. 287-296). Cambridge: Cambridge University Press.

- Bétrancourt, M. & Rebetez, C. (2007). *Building dynamic mental models from animation: effect of user control on exploration behaviours*. Vortrag, gehalten auf der 12. Biennial Conference on Research on Learning and Instruction (EARLI), August 2007 in Budapest, Ungarn.
- Blake, T. (1977). Motion in instructional media: Some subject-display mode interactions. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 975-985.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Boucheix, J.-M., Lowe, R. K., Putri, D. K. & Groff, J. (2013). Cueing animations: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, 25, 71-84.
- Bower, G. H., Black, J. B. & Turner, T. J. (1979). Scripts in memory for text. *Cognitive Psychology*, 11, 177-220.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2000). Neue Medien als Gegenstand empirischer pädagogischer Analyse: Stand der Forschung und Perspektiven. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung*. Aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung (S.7-16). Münster: Waxmann.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2001). Split-Attention effects in multimedia learning [Abstract]. In F. Oser (Hrsg.), *Proceedings of the 9th European Conference for Research on Learning and Instruction*. Fribourg, Swiss: Mainz.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. (2003). Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 53-61.
- 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., Steinbacher, S. & Leutner, D. (2000). Räumliches Vorstellungsvermögen und Lernen mit Multimedia. In D. Leutner & R. Brünken (Hrsg.), *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung* (S. 37-46). Münster: Waxmann.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Plass, J. L. & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning using dual task methodology. *Experimental Psychology*, 49, 109-119.

- Chandler, P. (2004). The crucial role of cognitive processes in the design of dynamic visualizations. *Learning and Instruction, 14*, 353-357.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*, 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology, 10*, 151-170.
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review, 3*, 149-210.
- Clarke, T., Ayres, P. & Sweller, J. (2005). The impact of sequencing and prior knowledge on learning mathematics through spreadsheet applications. *Educational Technology Research and Development, 53*, 15-24.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin, 112*, 155-159.
- Conrad, W., Baumann, E. & Mohr, V. (1980). *Mannheimer Test zur Erfassung des physikalisch-technischen Problemlösens*. Göttingen: Hogrefe.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour, 11*, 671-684.
- Cronbach, L. J. & Snow, R. E. (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions*. New York: Irvington.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P. & Paas, F. (2007). Attention cueing as a means to enhance learning from an animation. *Applied Cognitive Psychology, 21*, 731-746.
- De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P. & Paas, F. (2010). Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding? *Learning and Instruction, 20*, 111-122.
- De Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P. & Paas, F. (2011). Attention cueing in an instructional animation: The role of presentation speed. *Computers in Human Behavior, 27*, 41-45.

- Deno, S. L., Johnson, P. E. & Jenkins, J. R. (1968). Associative similarity of words and pictures. *Educational Technology Research & Development*, 16, 280-286.
- Domagk, S. (2010). Do pedagogical agents facilitate learner motivation and learning outcomes?: The role of the appeal of agent's appearance and voice. *Journal of Media Psychology: Theories, Methods, and Applications*, 22, 84-97.
- Domagk, S., Zander, S., Niegemann, H. M. & Brünken, R. (2007). Does motivation affect cognitive load? Paper presented at the Biennial Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI), August 28th - September 1st, Budapest, Hungary.
- Dwyer, F. M. (1978). *Strategies for improving visual learning*. Pennsylvania: Learning Services.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H. & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton: Educational Testing Service.
- Engelkamp, J. (1990). *Das menschliche Gedächtnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Engelkamp, J. & Mohr, G. (1994). Size in picture and text. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 113-124). Amsterdam: North-Holland.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41, 1149-1160.
- Fischer, S., Lowe, R.K. & Schwan, S. (2006). Effects of presentation speed of a dynamic visualization on the understanding of a mechanical system. In R. Sun, & N. Miyake (Hrsg.), *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 1305-1310). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Fischer, S., Lowe, R. K. & Schwan, S. (2008). Effects of Presentation Speed of a Dynamic Visualization on the Understanding of a Mechanical System. *Applied Cognitive Psychology*, 22, 1126-1141.
- Fischer, S. & Schwan, S. (2010). Comprehending Animations. Effects of Spatial Cueing versus Temporal Scaling. *Learning and Instruction*, 20, 465-475.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representation. *Psychological Review*, 94, 427-438.
- Gentner, D. & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

- Gerjets, P., Scheiter, K. & Cierniak, G. (2009). The scientific value of Cognitive Load Theory: A research agenda based on the structuralist view of theories. *Educational Psychology Review*, 21, 43-54.
- Greeno, J. G. (1983). Conceptual entities. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 227-252). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Hart, S. & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 139-183). Amsterdam: North Holland.
- Hasler, B. S., Kersten, B. & Sweller, J. (2007). Learner control, cognitive load, and instructional animation. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 713-729.
- Hegarty, M. (2004). Dynamic visualizations and learning: getting to the difficult questions. *Learning and Instruction*, 14, 343-351.
- Hegarty, M. (2005). Multimedia learning about physical systems. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 447-465). New York: Cambridge University Press.
- Hegarty, M. & Just, M. A. (1989). Understanding machines from text and diagrams. In H. Mandl & J. Levin (Hrsg.). *Knowledge acquisition from text and picture*. Amsterdam: North Holland.
- Hegarty, M. & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of memory and language*, 32, 717-742.
- Hegarty, M. & Kriz, S. (2008). Effects of knowledge and spatial ability on learning from animation. In R. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning from Animation*, (3-29). Cambridge University Press.
- Hegarty, M., Kriz, S. & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition & Instruction*, 21, 325-360.
- Hegarty, M. & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory and Cognition*, 22, 411-430.
- Herrmann, T. (1985). *Allgemeine Sprachpsychologie. Grundlagen und Probleme*. München u.a.: Urban & Schwarzenberg.
- Höffler, T. N. (2010). Spatial ability: Its influence on Learning with visualizations – a meta-analytic review. *Educational Psychology Review*, 22, 245-269.

- Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction, 17*, 722-738.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Horn, J. L. & Cattell, R.B. (1966). Refinement and test of theory of fluid and crystallized intelligence. *Journal of Educational Psychology, 57*, 253-270.
- Isaak, M. I. & Just, M. A. (1995). Constraints on the processing of rolling motion: The curtate cycloid illusion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*, 1391-1408.
- Issing, L. J. & Klimsa, P. (2002). *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*. Weinheim: Beltz.
- Jäger, A. O. (1982). Mehrmodale Klassifikation von Intelligenzleistungen. Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica, 28*, 195 – 226.
- Jäger, A. O., Süß, H.-M. & Beauducel, A. (1997). Der Berliner Intelligenzstruktur-Test (BIS-Test; Form 4). Göttingen: Hogrefe.
- Jarodzka, H. (2011). *In the eye of an expert. Conveying perceptual skills in biological and medical domains via eye movement modeling examples*. Dissertation an der Eberhard Karls Universität Tübingen. Dissertationsschrift online im Internet: URL: <http://tobias-lib.uni-tuebingen.de/volltexte/2011/5709/> (Stand 25.07.2011)
- Jarodzka, H., van Gog, T., Dorr, M., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2013). Learning to see: Guiding students' attention via a model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction, 25*, 62-70.
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science, 4*, 71-115.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1987). The comprehension of discourse and mental models. In M. Nagao (Hrsg.), *Language and artificial intelligence* (S. 253-261). Amsterdam: North-Holland.
- Joseph, J. H. & Dwyer, F. M. (1984). The effects of prior knowledge, presentation mode, and visual realism on student achievement. *Journal of Experimental Education, 52*, 110-121.

- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1980). A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19, 509–539.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kebeck, G. (1997). *Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*. Wernheim, München: Juventa Verlag.
- Kintsch, W. & van Dijk, T. A. (1978). Towards a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 95, 363-394.
- Kluwe, R. H. (1990). Understanding and problem solving. In W. Schneider & F.E. Weinert (Hrsg.), *Interactions among aptitudes, strategies and knowledge in cognitive performance* (S. 59-73). New York: Springer.
- Knowlton, J. Q. (1966). On the definition of picture. *Audiovisual Communication Review*, 14, 157-183.
- Kosslyn, S. (1989). Understanding charts and graphs. *Applied Cognitive Psychology*, 3, 185-226.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme. Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Beltz.
- Levie, W. H. (1987). Research on pictures: A guide to the literature. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration. Vol. 1, Basic research* (S. 1-50). New York: Springer.
- Levie, W. H. & Lentz, R. (1982). Effects of text illustration: A review of research. *Educational Communication and Technology Journal*, 30, 195-232.
- Levin, J., Anglin, G. & Carney, R. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In M. Willow & H. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration* (S. 51-85).
- Lewalter, D. (1997). *Lernen mit Bildern und Animationen*. Münster: Waxmann.
- Loftus, G. R. & Bell, S. M. (1975). Two types of information in picture memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 104, 103-113.

- Lowe, R. K. (1993). Constructing a mental representation from an abstract technical diagram. *Learning and Instruction, 3*, 157-179.
- Lowe, R. K. (1996). Background knowledge and the construction of a situational representation from a diagram. *European Journal of Psychology of Education, 11*, 377-397.
- Lowe, R. K. (1999). Extracting information from an animation during complex visual learning. *European Journal of Psychology of Education, 14*, 225-244.
- Lowe, R. E. (2002). Perceptual and cognitive challenges to learning with dynamic visualisations. In R. Plötzner (Hrsg.), *Online-Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction, 13*(2), 157-176.
- Lowe, R. K. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction, 14*, 257-274.
- Lowe, R. K. (2008). Learning from animation - Where to look, when to look. In R. K. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation* (S. 49-68). New York, NY: Cambridge University Press.
- Lowe, R. K., and Boucheix, J.-M. (2011). Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes? *Learning and Instruction, 21*, 650-663.
- Marcel, A. J. (1983). Conscious and unconscious perception: An approach to the relations between phenomenal experience and perceptual processes. *Cognitive Psychology, 15*, 238-300.
- Mayer, R. E. (1993). Comprehension of graphics in texts. An overview. In W. Schnotz (Hrsg.), *Learning and Instruction, Vol. 3* (S. 239-246). Great Britain: Pergamon Press.
- Mayer, R. E. (1994). Visual aids to knowledge construction. Building mental representations from pictures and words. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 125-138). Amsterdam: Elsevier.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist, 32*, 1-19.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.

- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (S. 31-48). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2008). Applying the science of learning: Evidence-based principles for the design of multimedia instruction. *American Psychologist*, *63*, 760-769.
- 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. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, *82*, 715-726.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, *12*, 107-119.
- Mayer, R. E. & Sims, V. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? *Journal of Educational Psychology*, *86*, 389-401.
- Metzger, W. (1975). Von gesehener Bewegung. In W. Metzger (Hrsg.), *Gesetze des Sehens* (S. 567-615). Frankfurt am Main: Verlag Waldemar Kramer.
- 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.
- Miller, G. A. & Johnson-Laird, P. N. (1976). *Language and perception*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- McCloud, S. (1993). *Understanding comics. The invisible art*. New York, NY: Kitchen Sink Press for Harper Collins.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, *91*, 358-368.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-383.
- Neisser, U. (1976). *Kognitive Psychologie*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Nelson, D. L. (1979). Remembering pictures and words: Appearance, significance, and name. In L. Cermak and F. I. M. Craik (Hrsg.) *Levels of processing and human memory* (S. 45-76). New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Nelson, D. L., Reed, V. S. & Walling, J. R. (1976). Pictorial superiority effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 523-528.
- Newton, D. & Rindner, R. J. (1979). Variation in behavior perception and ability attribution. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 1847-1858.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental-effort and performance measures. *Human Factors*, 35, 737-743.
- Paas, F., Merriënboer, J.J.G, van & Adam, J.J. (1994). Measurement of cognitive-load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 419-430.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., van Merriënboer, J. J. G. & Darabi, A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Etr&D-Educational Technology Research and Development*, 53, 25-33.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive theory. *Educational Psychologist*, 38, 63-71.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A. (1975). Coding distinctions and repetition effects in memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 9. New York: Academic Press.
- Paivio, A. (1978). A dual coding approach to perception and cognition. In H. L. Pick & E. Saltzman (Hrsg.), *Modes of perceiving and processing information* (S. 39-52). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Paivio, A. & Csapo, K. (1969). Concrete image and verbal memory codes. *Journal of Experimental Psychology*, 80, 279-285.
- Paivio, A. & Csapo, K. (1973). Picture superiority in free recall: Imagery or dual coding? *Cognitive Psychology*, 5, 176-206.
- Palmer, S. E. (1975). The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Memory & Cognition*, 3, 519-526.

- Palmer, S. E. (1978a). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Hrsg.), *Cognition and categorization* (S. 259-303). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Palmer, S. E. (1978b). Visuelle Wahrnehmung und Wissen: Notizen zu einem Modell der sensorisch-kognitiven Interaktion. In D. A. Norman & D. E. Rumelhart (Hrsg.), *Strukturen des Wissens: Wege der Kognitionsforschung*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3, 227-238.
- Pettersson, R. (1994). Visual Literacy und Infologie. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 215-235). Bern: Hans Huber.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. (2003). Cognitive load in reading a foreign language text with multimedia aids and the influence of verbal and spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 19, 221-243.
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological bulletin*, 80, 1-24.
- Reed, S. K. (1985). Effect of computer graphics on improving estimates to algebra word problems. *Journal of Educational Psychology*, 77, 285-298.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica* 2, 57-66.
- Rieber, L. P. (1990a). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 38, 77-86.
- Rieber, L. P. (1991). Animation, incidental learning, and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83, 318-328.
- Rummer, R., Schweppe, J., Scheiter, K. & Gerjets, P. (2008). Lernen mit Multimedia. Die kognitiven Grundlagen des Modalitätseffekts. *Psychologische Rundschau*, 59, 98-107.
- Rummer, R., Schweppe, J., Fürstenberg, A., Scheiter, K. & Zindler, A. (2011). The perceptual basis of the modality effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 17, 159-173.
- Rummer, R., Schweppe, J., Fürstenberg, A., Seufert, T. & Brünken, R. (2010). Working memory interference during processing texts and pictures: Implications for the explanation of the modality effect. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 164-176.

- Salomon, G. (1979). Interaction of media, cognition, and learning: Summary and reactions. In G. Salomon (Hrsg.), *Interaction of media, cognition, and learning* (S. 214-245). San Francisco: Jossey-Bass.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647-658.
- Schneider, E. & Boucheix, J.-M. (2006). On line elaboration of a mental model during the understanding of an animation. In D. Barker-Plummer, R. Cox & N. Swoboda (Hrsg.), *Diagrammatic representation and inference* (S. 40-54). Berlin: Springer.
- Schnotz, W. (1988). Textverstehen als Aufbau mentaler Modelle. In H. Mandl & H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (S. 299-330). München: Psychologie Verlags Union.
- Schnotz, W. (1994a). *Aufbau von Wissensstrukturen. Untersuchungen zur Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit Texten*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (1994b). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 95-148). Bern: Hans Huber.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 292-318.
- Schnotz, W. (2002a). Enabling, facilitating, and inhibiting effects in learning from animated pictures. In R. Plötzner (Hrsg.), *Online-Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Schnotz, W. (2002b). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14, 101-120.
- Schnotz, W. (2002c). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (S. 64-81). Weinheim: Beltz.
- 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. (2006a). *Pädagogische Psychologie Workbook*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (2006b). Visuelles Lernen. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 853-859). Weinheim: Beltz.

- 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., Böckheler, J. & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 245-265.
- Schnotz, W., Böckheler, J., Grzondziel, H., Gärtner, I. & Wächter, M. (1998). Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 135-145.
- Schnotz, W., Fries, S. & Horz, H. (2009). Some Motivational Aspects of Cognitive Load Theory. In M. Wosnitza, S. A. Karabenick, A. Efklides & P. Nenninger (Hrsg.), *Contemporary Motivation Research: From Global to Local Perspectives* (S. 86-113). Göttingen: Hogrefe.
- Schnotz, W. & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19, 469-508.
- Schnotz, W. & Kulhavy, R. W. (1994). *Comprehension of graphics*. Amsterdam: North-Holland.
- Schnotz, W., & Lowe, R. K. (2008). Learning from animated and static graphics: A unified view. In R. K. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation* (S. 304–356). New York: Cambridge University Press.
- Schnotz, W., Picard, E. & Hron, A. (1993). *How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics?* Tübingen: Universität, Deutsches Institut für Fernstudien, Arbeitsbereich Lernforschung.
- Schnotz, W. & Rasch, T. (2005). Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: why reduction of cognitive load can have negative results on learning. *Educational Technology Research and Development*, 53, 47-58.
- Schnotz, W. & Rasch, T. (2008). Functions of animation in comprehension and learning. In R. K. Lowe & W. Schnotz (Hrsg.), *Learning with animation* (S. 92-113). New York: Cambridge University Press.

- Schüler, A., Scheiter, K., Rummer, R. & Gerjets, P. (2012). Explaining the modality effect in multimedia learning: Is it due to a lack of temporal contiguity with written text and pictures? *Learning and Instruction*, 22, 92-102.
- Schwan, S. (2002). Do it yourself? Interactive visualizations as cognitive tools. In R. Plötzner (Hrsg.), *Online-Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Schwan, S., & Garsoffky, B. (2004). The cognitive representation of filmic event summaries. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 37-55.
- Schwan, S. & Riempp, R. (2004). The cognitive benefits of interactive videos: learning to tie nautical knots. *Learning and Instruction*, 14, 293-305.
- Shank, R. & Abelson, R. (1977). *Scripts, Plans, Goals and Understanding*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Toward a unitary model for selective attention, memory scanning, and visual search. In S. Dornic (Hrsg.), *Attention and performance, Vol. VI* (S. 413-439). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sims, V. K. & Hegarty, M. (1997). Mental animation in the visuospatial sketchpad: evidence from dual-task studies. *Memory and Cognition*, 25, 321-332.
- Steiner, G. (2006). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (5. Aufl., S. 137-202). Weinheim: Beltz.
- 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.G.W.C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tversky, B. (1973). Encoding processes in recognition and recall. *Cognitive Psychology*, 5, 275-287.
- Tversky, B. (1990). Where partonomies and taxonomies meet. In S. L. Tsohatzidis (Hrsg.), *Meanings and prototypes: Studies in linguistic categorization* (S. 334-344). London: Routledge.
- Tversky, B. & Hemenway, K. (1984). Objects, parts, and categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 169-193.

- Tversky, B., Morrison, J. B. & Bétrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *Journal of Human-Computer Studies*, 57, 247-262.
- Tversky, B., Zacks, J. M., & Martin, B. (2008). The structure of experience. In T. F. Shipley & J. M. Zacks (Hrsg.), *Understanding events: From perception to action* (S. 436-464). Oxford: Oxford University.
- Ullrich, M. (2011). *Einflüsse der Verarbeitungsreihenfolge auf den Wissenserwerb mit Texten und Bildern*. Dissertation an der Universität Koblenz-Landau. Dissertationsschrift online im Internet: URL: <http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2011/631/> (Stand 05.05.2011).
- Van Dijk, T. A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Van Gog, T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Paas, F. (2009). Attention guidance during example study via the model's eye movements. *Computers in Human Behavior*, 25, 785-791.
- Van Gog, T. & Paas, F. (2008). Instructional efficiency: Revisiting the original construct in educational research. *Educational Psychologist*, 43, 16-26.
- Wagner, I. (2013). *Lernen mit Animationen: Effekte dynamischer und statischer Visualisierungen auf die Bildung perzeptueller und kognitiver Repräsentationen beim Erwerb von Wissen über dynamische Sachverhalte*. Dissertation an der Universität Koblenz-Landau. Dissertationsschrift online im Internet: URL: <http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/858/> (Stand 30.01.2013).
- Weidenmann, B. (1988a). Der flüchtige Blick beim stehenden Bild: Zur oberflächlichen Verarbeitung von pädagogischen Bildern. *Unterrichtswissenschaft*, 16, 43-57.
- Weidenmann, B. (1988b). *Psychische Prozesse beim Verstehen von Bildern*. Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1993). Informierende Bilder. In A. Krapp (Hrsg.), *Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie (Gelbe Reihe Nr. 29)*. Neubiberg: Universität der Bundeswehr München.
- Weidenmann, B. (1994a). Codes of instructional pictures. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 29-42). Amsterdam: North-Holland.
- Weidenmann, B. (1994b). Informierende Bilder. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 9-58). Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1994c). *Wissenserwerb mit Bildern: Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. Bern: Hans Huber.

- Weidenmann, B. (1997). „Multimedia“: Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25, 197-206.
- Weidenmann, B. (2002). Abbilder in Multimedia-Anwendungen. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (S. 84-96), Weinheim: PVU.
- Weidenmann, B. (2004). Bilder zur Wissenskommunikation. In H. Mandl & G. Reinmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 300-309). Göttingen: Hogrefe.
- Weidenmann, B. (2006). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 423-476). Weinheim: PVU.
- Wertheimer, M. (1938). *A source book of Gestalt Psychology*. London: K. Paul, Trench, Trubner & Co., Ltd.
- Willows, D. M. & Houghton, H. A. (1987). *The psychology of illustration. Vol. 1, Basic research*. New York: Springer.
- Winn, W. D. (1994). Contributions of perceptual and cognitive processes to the comprehension of graphics. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Hrsg.), *Comprehension of graphics* (S. 3-27). Amsterdam: North-Holland.
- Witkin, H. A., Oltman, P. K., Raskin, E. & Karp, S. A. (1971). *A manual for the embedded figures tests*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Witrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345-376.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press.
- Zacks, J. M. & Tversky, B. (2001). Event structure in perception and conception. *Psychological Bulletin*, 127, 3-21.

Internetquelle:

- Spiegel Online, Fotostrecke: Warum Menschen so häufig Gesichter in Dingen sehen, 01.06.2013 (<http://www.spiegel.de/fotostrecke/warum-menschen-so-haeufig-gesichter-in-dingen-sehen-fotostrecke-97428-6.html>)

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1. GUISEPPE ARCIMBOLDO: VERTEMNUS, ITALIEN, CA. 1527-1593, ÖL AUF LEINWAND (AUS PALMER, 1978B).....	14
ABBILDUNG 2.2. DER SCHATTEN EINES VERWITTERTEN TAFELBERGS AUF DEM MARS, FOTO DER US-SONDE "VIKING 1", 25. JULI 1976 (SPIEGEL ONLINE, 2013).....	14
ABBILDUNG 3.1. DAS MEHR-SPEICHERMODELL NACH ATKINSON UND SHIFFRIN (1968).....	19
ABBILDUNG 3.2. REVIDIERTE FASSUNG DES ARBEITSGEDÄCHTNISSES VON BADDELEY (NACH BADDELEY, 2001).....	22
ABBILDUNG 4.1. DIE DUALE KODIERUNGSTHEORIE VON PAIVIO (1971).....	26
ABBILDUNG 4.2. COGNITIVE THEORY OF MULTIMEDIA LEARNING (NACH MAYER, 2001).....	29
ABBILDUNG 4.3. INTEGRATIVES MODELL DES TEXT- UND BILDVERSTEHENS (NACH SCHNOTZ & BANNERT, 2003).....	32
ABBILDUNG 4.4. INTEGRATIVES MODELL DES TEXT- UND BILDVERSTÄNDNISSES, ÜBERARBEITUNG (NACH SCHNOTZ, 2005).	34
ABBILDUNG 5.1. DARSTELLENDEN BILDER UNTERSCHIEDLICHEN ABSTRAKTIONSGRADES (AUS MCCLOUD, 1993, S. 30).	37
ABBILDUNG 6.1. 2+1DIMENSIONALE STRUKTUR VON ANIMATIONEN (AUS SCHNOTZ & LOWE, 2008; S. 319).	46
ABBILDUNG 6.2. RUBINSCHER BECHER ALS BEISPIEL FÜR PERZEPTUELLE MEHRDEUTIGKEIT.	48
ABBILDUNG 6.3. SPEKTRUM DER SENSITIVITÄT FÜR DYNAMISCHE KONTRASTE.	49
ABBILDUNG 6.4. EINGEFRORENE BEWEGUNG IN EINEM STATISCHEN BILD. FOTOGRAFIE AUS DEM MUSEUM OF MODERN ART, NEW YORK.	51
ABBILDUNG 8.1. SCREENSHOTS DES LERNMATERIALS, FRONT- ODER SEITENANSICHT SIND VERGRÖßERT.	77
ABBILDUNG 8.2. STANDBILD MIT DER BEREITGESTELLTEN TERMINOLOGIE DES VIERTAKTMOTORS.	78
ABBILDUNG 8.3. AUSSCHNITT AUS DEM ATTRIBUTMODELL ALS BASIS FÜR DIE KONSTRUKTION DES WISSENSTESTS.	79
ABBILDUNG 8.4. DARSTELLUNG DER EREIGNISSE DES VIERTAKTMOTORS AUF VERSCHIEDENEN HIERARCHISCHEN EBENEN.	80
ABBILDUNG 8.5. BEISPIELAUFGABE AUS DEM WISSENSTEST.	80
ABBILDUNG 8.6. BEISPIELAUFGABE AUS DEM WISSENSTEST.	81
ABBILDUNG 9.1. SCREENSHOT VERSIONEN A UND B MIT JEWEILS EINER VERDECKTEN ANSICHT.....	100
ABBILDUNG 9.2. BEISPIELITEM FÜR DIE SKALA FIGURALE VERARBEITUNGSKAPAZITÄT DES BIS (JÄGER ET AL., 1997).....	102
ABBILDUNG 9.3. BEISPIELITEM FÜR DIE SKALA FIGURALE BEARBEITUNGSGESCHWINDIGKEIT DES BIS (JÄGER ET AL., 1997).	103
ABBILDUNG 10.1. SCREENSHOT DER ANIMATION IN STUDIE 2.....	127
ABBILDUNG 10.2. ANZAHL DER FIXATIONEN (LINKS) UND DURCHSCHNITTLICHE FIXATIONSZEIT IN MILLISEKUNDEN (RECHTS) BEI LANGSAMER UND SCHNELLER GESCHWINDIGKEIT, STUDIE 2.	134
ABBILDUNG 10.3. LERNMATERIAL MIT DEFINIERTEN AOIS, STUDIE 2.....	135

<i>ABBILDUNG 11.1.</i> SCREENSHOTS DER ANIMATION IN STUDIE 3 MIT JEWEILS FRONT- ODER SEITENANSICHT VERDECKT DARGESTELLT.	153
<i>ABBILDUNG 11.2:</i> PROZENT RICHTIGER ANTWORTEN AUF DER SKALA MIKROWISSEN FÜR BEIDE GRUPPEN ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	160
<i>ABBILDUNG 11.3:</i> PROZENT RICHTIGER ANTWORTEN AUF DER SKALA MAKROWISSEN FÜR BEIDE GRUPPEN ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	161
<i>ABBILDUNG 11.4:</i> GESCHÄTZTE RANDMITTEL FÜR DIE MENTALE ANSTRENGUNG BEIM LERNEN MIT DER ANIMATION ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	170
<i>ABBILDUNG 11.5:</i> GESCHÄTZTE RANDMITTEL FÜR DIE KOGNITIVE BELASTUNG BEIM LERNEN MIT DER ANIMATION ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	171
<i>ABBILDUNG 11.6:</i> GESCHÄTZTE RANDMITTEL FÜR DIE MENTALE ANSTRENGUNG BEI DER TESTBEARBEITUNG ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	172
<i>ABBILDUNG 11.7:</i> GESCHÄTZTE RANDMITTEL FÜR DIE KOGNITIVE BELASTUNG BEI DER TESTBEARBEITUNG ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN, STUDIE 3.....	173
<i>ABBILDUNG 11.8.</i> NUTZUNG DER PERSPEKTIVEN NACH GESCHWINDIGKEIT (LINKS) UND TESTZEITPUNKT (RECHTS), STUDIE 3.....	174

Tabellenverzeichnis

TABELLE 8.1 TRENNSCHÄRFEN UND ITEMSCHWIERIGKEITEN FÜR DEN VORTEST, PILOTSTUDIE.	88
TABELLE 8.2 TRENNSCHÄRFEN UND ITEMSCHWIERIGKEITEN FÜR DEN WISSENSTEST, PILOTSTUDIE.	89
TABELLE 8.3: PROZENTUALER ANTEIL DER GEWÄHLTEN GESCHWINDIGKEITEN AN DER LERNZEIT, PILOTSTUDIE.	91
TABELLE 8.4: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG FÜR DIE FRAGE NACH DER EINSCHÄTZUNG DER LERNZEIT, PILOTSTUDIE.	92
TABELLE 8.5: KORRELATIONEN DES WISSENSTESTS MIT LERNERMERKMALEN, PILOTSTUDIE.	93
TABELLE 9.1: NUTZUNG DER GESCHWINDIGKEITEN IN SEKUNDEN, MITTELWERTE (M) IN % UND STANDARDABWEICHUNGEN (SD), STUDIE 1.	108
TABELLE 9.2: NUTZUNG DER PERSPEKTIVEN IN SEKUNDEN NACH VERSIONEN, MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX), STUDIE 1.	108
TABELLE 9.3: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER WISSENSTESTSKALEN, STUDIE 1.	110
TABELLE 9.4: KORRELATIONEN VON MIKRO– UND MAKROWISSEN MIT LERNERMERKMALEN, STUDIE 1.	111
TABELLE 9.5: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX), DER VORWISSENSTESTSKALEN, STUDIE 1.	113
TABELLE 9.6: DESKRIPTIVE STATISTIK FÜR DIE BIS-SKALEN NACH GRUPPE, STUDIE 1.	114
TABELLE 9.7: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER BIS-SKALEN, STUDIE 1.	115
TABELLE 9.8: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER MOTIVATIONSSKALEN, STUDIE 1.	116
TABELLE 9.9: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) FÜR DIE VARIABLEN DER MENTALEN ANSTRENGUNG (ME), STUDIE 1.	117
TABELLE 9.10: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) FÜR DIE VARIABLEN DER KOGNITIVE BELASTUNG (CL), STUDIE 1.	118
TABELLE 10.5: MITTELWERTE (M) UND STANDARDABWEICHUNGEN (SD) FÜR DIE FIXATIONSZEITEN IN 5 AOIS NACH GESCHWINDIGKEIT, STUDIE 2.	136
TABELLE 10.6: MITTELWERTE (M) UND STANDARDABWEICHUNGEN (SD) FÜR DIE FIXATIONSZEITEN IN 5 AOIS NACH GRUPPE UND GESCHWINDIGKEIT IN SEKUNDEN, STUDIE 2.	137
TABELLE 10.4: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER WISSENSTESTSKALEN NACH GRUPPEN, STUDIE 2.	139

TABELLE 10.1: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER LERNERMERKMALE NACH GRUPPEN, STUDIE 2.....	140
TABELLE 10.2: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER MOTIVATIONSVARIABLEN NACH GRUPPEN, STUDIE 2.....	142
TABELLE 10.3: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER VARIABLEN DER KOGNITIVEN BELASTUNG (CL) UND MENTALEN ANSTRENGUNG (ME) NACH GRUPPEN, STUDIE 2.....	143
TABELLE 11.1: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER LERNERMERKMALE UND KONTROLLVARIABLEN NACH GRUPPEN, STUDIE 3.....	162
TABELLE 11.2: MITTELWERTE (M) UND STANDARDABWEICHUNGEN (SD) FÜR DIE SKALEN MIKROWISSEN UND MAKROWISSEN FÜR BEIDE GRUPPEN ZU BEIDEN TESTZEITPUNKTEN (TZP), STUDIE 3.....	162
TABELLE 11.3: T-TESTS AUF MITTELWERTSUNTERSCHIEDE FÜR DIE SKALEN MIKROWISSEN UND MAKROWISSEN FÜR BEIDE TESTVERSIONEN UND BEIDE GRUPPEN, STUDIE 3.....	163
TABELLE 11.4: MITTELWERTE (M), STANDARDABWEICHUNGEN (SD), MINIMUM (MIN) UND MAXIMUM (MAX) DER MOTIVATIONSVARIABLEN NACH GRUPPEN, STUDIE 3.....	165
TABELLE 11.5: MITTELWERTE (M) UND STANDARDABWEICHUNGEN (SD) DER VARIABLEN DER KOGNITIVEN BELASTUNG (CL) UND MENTALEN ANSTRENGUNG (ME) NACH GRUPPEN UND TESTZEITPUNKT, STUDIE 3.....	166
TABELLE 11.6: KORRELATIONEN (PEARSONS R) DER VARIABLEN DER MENTALEN ANSTRENGUNG (ME) MIT DEN VARIABLEN DER MOTIVATION (FAM), GRUPPE LS, STUDIE 3.....	168
TABELLE 11.7: KORRELATIONEN (PEARSONS R) DER VARIABLEN DER MENTALEN ANSTRENGUNG (ME) MIT DEN VARIABLEN DER MOTIVATION (FAM), GRUPPE SL, STUDIE 3.....	169
TABELLE 11.8: T-TESTS AUF MITTELWERTSUNTERSCHIEDE FÜR DIE VERHALTENSVARIABLEN IN BEIDEN GRUPPEN, STUDIE 3.....	175

Anhang

A Pilotstudie

A1: Wissenstest Pilotstudie

A2: Vorwissenstest Pilotstudie

A3: Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (Langfassung)

A4: Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (adaptierte Kurzfassung)

B Studie 1

B1: Wissenstest Studie 1

B2: Vorwissenstest Studie 1

B3: Deskriptive Ergebnisse der Nutzung der Geschwindigkeiten nach Gruppe, Studie 1

B4: Korrelationen zwischen Vorwissen und Lernerfolg, Studie 1

B5: Korrelationen zwischen Motivationsskalen und Lernerfolg, Studie 1

B6: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 1

C Studie 2

C1: Korrelationen zwischen Lernermerkmalen und Lernerfolg, Studie 2

C2: Korrelationen zwischen Motivationsskalen und Lernerfolg, Studie 2

C3: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 2

C4: Korrelationen zwischen den Motivationsskalen und der mentalen Anstrengung,
Studie 2

D Studie 3

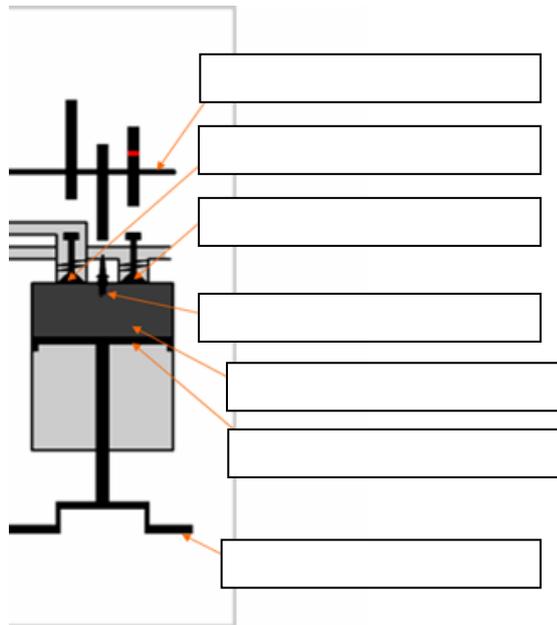
D1: Parallele Wissenstests Studie 3

D2: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 3

A1: Wissenstest Pilotstudie

Wissenstest

Es folgen einige Fragen zur Animation, die Sie gerade am Computer bearbeitet haben.

1. Benennen Sie die Teile des Vier-Takt-Motors!

Bitte kreuzen Sie für jede Aussage an, ob sie wahr [w] oder falsch [f] ist!

2. Das Gasgemisch wird eingesaugt, wenn

- | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|------------------|
| das Auslassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist |
| das Einlassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist |
| der Kolben sich | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach unten bewegt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach oben bewegt |

3. Das Auslassventil ist geöffnet, wenn

- | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|------------------|---|-----------|---|------------------|
| das Einlassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist | | | | |
| der Kolben sich | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach unten bewegt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach oben bewegt | | | | |
| das Gasgemisch | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | eingesaugt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | verdichtet | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | verbrannt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | ausgestoßen wird |

4. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn

- | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|------------------|
| das Auslassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist |
| das Einlassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist |
| der Kolben sich | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach unten bewegt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach oben bewegt |

5. Das Einlassventil ist geschlossen, wenn

- | | | | | | | | | |
|-------------------|---|-------------------|---|------------------|---|-----------|---|------------------|
| das Auslassventil | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geschlossen ist | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | geöffnet ist | | | | |
| der Kolben sich | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach unten bewegt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | nach oben bewegt | | | | |
| das Gasgemisch | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | eingesaugt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | verdichtet | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | verbrannt | <input type="checkbox"/> [w] <input type="checkbox"/> [f] | ausgestoßen wird |

6. Der Kolben bewegt sich nach oben, wenn
 das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 das Auslassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 das Gasgemisch [w] [f] eingesaugt [w] [f] verdichtet [w] [f] verbrannt [w] [f] ausgestoßen wird

Bitte kreuzen Sie die richtige Antwortalternative an (nur eine Antwort ist richtig)!

7. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, dann wird das Gasgemisch...
- eingesaugt
 - verdichtet
 - verbrannt
 - ausgestoßen

8. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Auslassventil
- immer zu
 - immer offen
 - hängt vom Takt ab

9. Wenn das Auslassventil geöffnet ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, wird das Gasgemisch...
- eingesaugt
 - verdichtet
 - verbrannt
 - ausgestoßen

10. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

[w] [f]

EV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												
AV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
Taktfolge →																			

11. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach oben bewegt und das Gasgemisch verdichtet wird, ist das Auslassventil...
- offen
 - geschlossen

12. Wenn das Einlassventil offen ist, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 - nach oben oder unten gehen
 - nur nach unten gehen

13. Wenn das Auslassventil offen ist, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 - nach oben oder unten gehen
 - nur nach unten gehen

14. Gibt es einen Zustand, in dem beide Ventile offen sind?
- ja
 - nein

15. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch verbrannt wird, ist das Auslassventil...
- offen
 geschlossen
16. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch eingesaugt wird, ist das Einlassventil...
- offen
 geschlossen
17. Das Auslassventil ist geöffnet im ...
1. Takt
 2. Takt
 3. Takt
 4. Takt
18. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach oben bewegt und das Gasgemisch verdichtet wird, ist das Einlassventil...
- offen
 geschlossen
19. Wenn das Einlassventil zu ist, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
20. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geöffnet ist und das Gasgemisch eingesaugt wird, bewegt sich der Kolben...
- nach unten
 nach oben
21. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Einlassventil
- immer zu
 immer offen
 hängt vom Takt ab
22. Das Einlassventil ist geöffnet im ...
1. Takt
 2. Takt
 3. Takt
 4. Takt
23. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und das Gasgemisch verdichtet wird, bewegt sich der Kolben...
- nach unten
 nach oben
24. Wenn beide Ventile zu sind, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
25. Wenn der Kolben nach unten geht, ist das Einlassventil
- immer zu
 immer offen
 hängt vom Takt ab

26. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

[w] [f]

EV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
AV	auf	zu	zu	zu	auf	zu	zu												
Taktfolge →																			

27. Wenn der Kolben nach unten geht, ist das Auslassventil

- immer zu
- immer offen
- hängt vom Takt ab

28. Wenn das Auslassventil zu ist, kann der Kolben

- nur nach oben gehen
- nach oben oder unten gehen
- nur nach unten gehen

29. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

[w] [f]

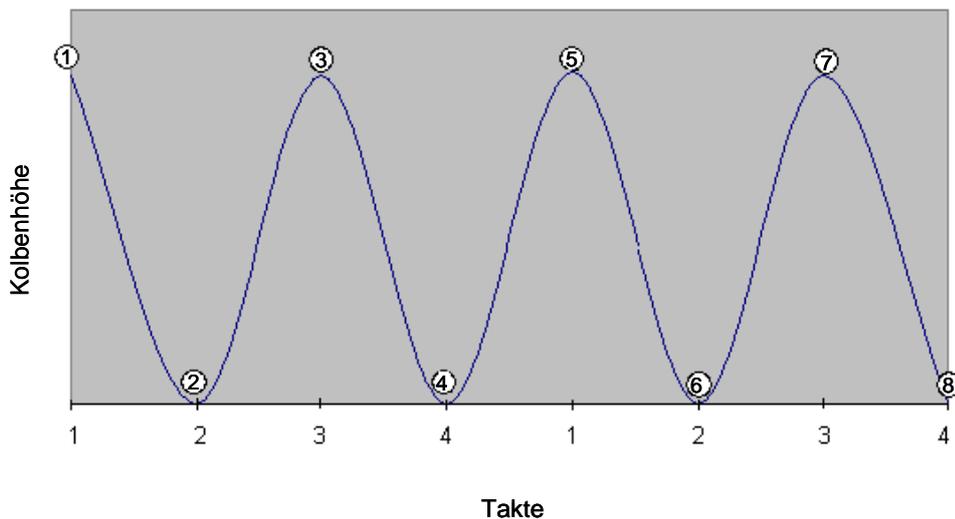
EV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
AV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												
Taktfolge →																			

30. Wie ist das Verhältnis der Zähnezahlen zwischen Kurbel- und Nockenwelle?

- 1:2
- 1:1
- 1:4
- 2:1

31. Erklären Sie kurz stichpunktartig die Wirkungsweise des Vier-Takt-Motors!

32. Das Diagramm gibt die Kolbenbewegung wieder. Bitte kreuzen Sie die richtigen Antwortalternativen an!



An welchen Stellen wird das Einlassventil geöffnet?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen wird das Einlassventil geschlossen?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen wird das Auslassventil geöffnet?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen wird das Auslassventil geschlossen?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen findet die Zündung statt?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

A2: Vorwissenstest Pilotstudie

Fragen zum Viertaktmotor

Es folgen einige Fragen zum Vier-Takt-Motor. Von den vorgegebenen Antwortalternativen ist immer genau eine Antwort richtig. Markieren Sie die Ihrer Meinung nach richtige Antwortalternative mit einem Kreuz in dem entsprechenden Kästchen. Bitte raten Sie nicht! Wenn Sie die Antwort nicht wissen, lassen Sie die Frage unbeantwortet.

1. Welche Aussagen treffen auf den Verdichtungstakt beim Viertakt-Motor zu? (Mehrere Antworten möglich!)

- Der Zylinder ist gefüllt.
- Beide Ventile sind geschlossen.
- Die Kurbel stößt den Kolben abwärts.
- Das Gasgemisch wird verdichtet.

2. Welcher Motor hat den höchsten Wirkungsgrad?

- Zweitakt-Ottomotor
- Dampfmaschine
- Dieselmotor
- Viertakt-Ottomotor

3. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, dann wird das Gasgemisch...

- eingesaugt
- verdichtet
- verbrannt
- ausgestoßen

4. Wenn der Kolben nach oben geht ist das Einlassventil

- immer zu
- immer offen
- hängt vom Takt ab

5. Gibt es einen Zustand, in dem beide Ventile offen sind?

- ja
- nein

6. Wie oft öffnet sich das Einlassventil innerhalb von 4 Takten?

- 1x
- 2x
- 3x
- 4x

7. Wenn das Einlassventil offen ist, kann der Kolben

- nur nach oben gehen
- nach oben oder unten gehen
- nur nach unten gehen

8. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch verbrannt wird, ist das Auslassventil...

- offen
- geschlossen

9. Wenn das Auslassventil geöffnet ist, das Einlassventil geschlossen ist und das Gasgemisch ausgestoßen wird, bewegt sich der Kolben...

nach unten

nach oben

A3: Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (Langfassung, adaptiert)

Fragen zur aktuellen Motivation

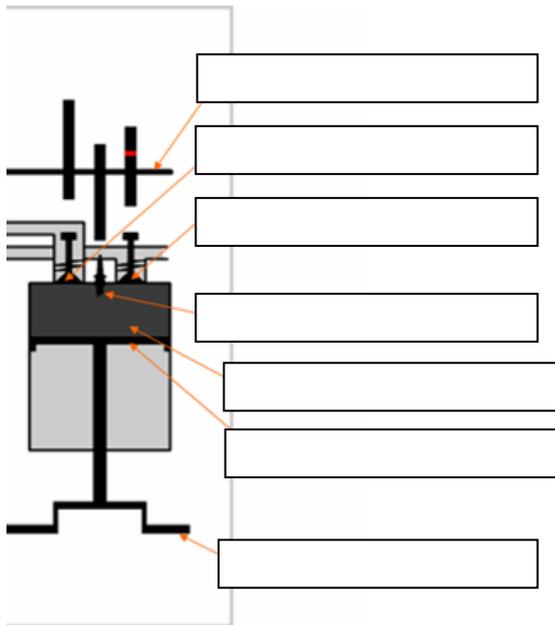
Nun wollen wir wissen, wie Ihre **momentane Einstellung** zu der beschriebenen Aufgabe ist. Dazu finden Sie auf dieser Seite Aussagen. Kreuzen Sie bitte jene Zahl an, die auf Sie am besten passt.

		trifft nicht zu					trifft zu	
1	Ich mag solche Aufgaben.	1	2	3	4	5	6	7
2	Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.	1	2	3	4	5	6	7
3	Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen	1	2	3	4	5	6	7
4	Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.	1	2	3	4	5	6	7
5	Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.	1	2	3	4	5	6	7
6	Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.	1	2	3	4	5	6	7
7	Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.	1	2	3	4	5	6	7
8	Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	1	2	3	4	5	6	7
9	Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte.	1	2	3	4	5	6	7
10	Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.	1	2	3	4	5	6	7
11	Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	1	2	3	4	5	6	7
12	Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.	1	2	3	4	5	6	7
13	Ich glaube, dass kann jeder schaffen.	1	2	3	4	5	6	7
14	Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.	1	2	3	4	5	6	7
15	Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.	1	2	3	4	5	6	7
16	Wenn ich an die Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt.	1	2	3	4	5	6	7
17	Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	1	2	3	4	5	6	7
18	Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.	1	2	3	4	5	6	7

B1: Wissenstest Studie 1

Wissenstest

Es folgen einige Fragen zur Animation, die Sie gerade am Computer bearbeitet haben.

1. Benennen Sie die Teile des Vier-Takt-Motors!

Bitte kreuzen Sie für jede Aussage an, ob sie wahr [w] oder falsch [f] ist!

2. Das Auslassventil ist geöffnet, wenn

- das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 der Kolben sich [w] [f] nach unten bewegt [w] [f] nach oben bewegt
 das Gasgemisch [w] [f] eingesaugt [w] [f] verdichtet [w] [f] verbrannt [w] [f] ausgestoßen wird

3. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn

- das Auslassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 der Kolben sich [w] [f] nach unten bewegt [w] [f] nach oben bewegt

4. Der Kolben bewegt sich nach oben, wenn

- das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 das Auslassventil [w] [f] geschlossen ist [w] [f] geöffnet ist
 das Gasgemisch [w] [f] eingesaugt [w] [f] verdichtet [w] [f] verbrannt [w] [f] ausgestoßen wird

Bitte kreuzen Sie die richtige Antwortalternative an (nur eine Antwort ist richtig)!

5. Wie viele Abwärtsbewegungen des Kolbens
finden während einer Umdrehung der
Nockenwelle in einem Zylinder statt? 1
 2
 4
 8

6. Wie viele Zündungen finden im 4-Zylinder-Motor insgesamt statt während einer Kurbelwellenumdrehung? 1
 2
 4
 8
7. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während zwei Nockenwellenumdrehungen? 2 mal
 4 mal
 8 mal
 16 mal
8. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Auslassventil immer zu
 immer offen
 hängt vom Takt ab
9. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während vier Kurbelwellenumdrehungen? 2 mal
 4 mal
 8 mal
 16 mal

10. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

[w] [f]

EV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												
AV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
Taktfolge →																			

11. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach oben bewegt und das Gasgemisch verdichtet wird, ist das Auslassventil... offen
 geschlossen
12. Wie viele Zündungen finden im 4-Zylinder-Motor insgesamt statt während zwei Nockenwellenumdrehungen? 2
 4
 8
 16
13. Wenn das Auslassventil offen ist, kann der Kolben nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
14. Gibt es einen Zustand, in dem beide Ventile offen sind? ja
 nein

15. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch verbrannt wird, ist das Auslassventil...
- offen
 geschlossen
16. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch eingesaugt wird, ist das Einlassventil...
- offen
 geschlossen
17. Das Auslassventil ist geöffnet im ...
1. Takt
 2. Takt
 3. Takt
 4. Takt
18. Wie oft öffnen sich die Einlassventile im 4-Zylinder-Motor während einer Kurbelwellenumdrehung?
- 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal
19. Wenn das Einlassventil zu ist, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
20. Wie oft findet in einem Zylinder eine Zündung statt während zwei Kurbelwellenumdrehung?
- 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal
21. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Einlassventil
- immer zu
 immer offen
 hängt vom Takt ab
22. Wie viele Kurbelwellenumdrehungen finden zwischen der Öffnung des Einlassventils und der Öffnung des Auslassventils statt?
- 0,5
 1
 1,5
 2
23. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und das Gasgemisch verdichtet wird, bewegt sich der Kolben...
- nach unten
 nach oben
24. Wenn beide Ventile zu sind, kann der Kolben
- nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
25. Wie oft dreht sich die Nockenwelle, wenn die Kurbelwelle sich 8 mal dreht?
- 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal

26. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während zwei Nockenwellenumdrehungen?
- 2 mal
 - 4 mal
 - 8 mal
 - 16 mal

27. Wenn das Auslassventil geöffnet ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, wird das Gasgemisch...
- eingesaugt
 - verdichtet
 - verbrannt
 - ausgestoßen

28. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

[w] [f]

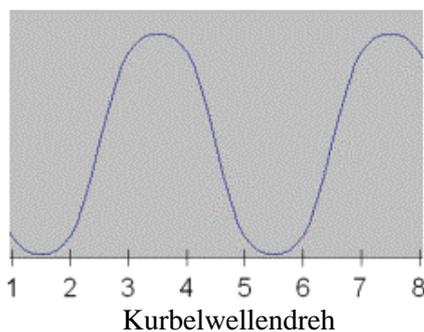
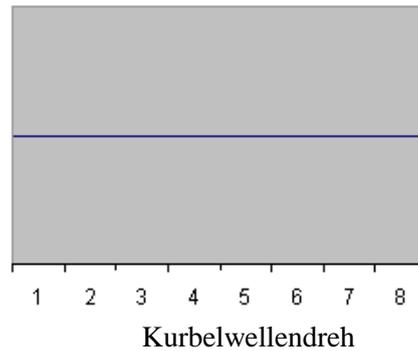
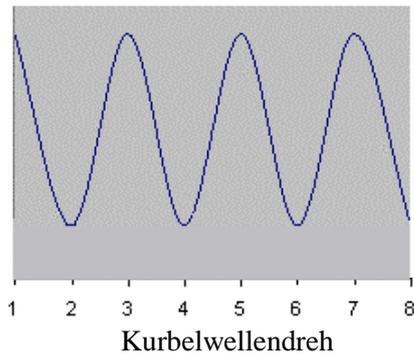
EV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
AV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												

Taktfolge →

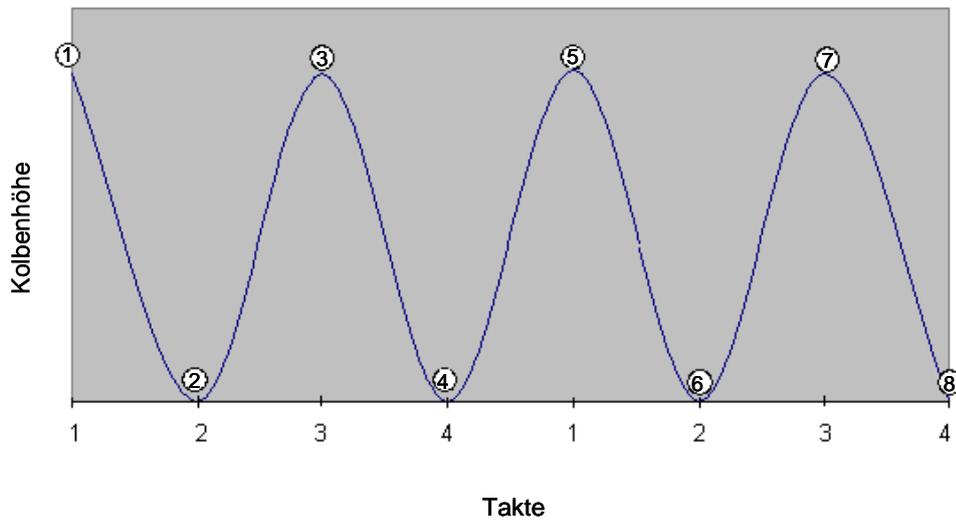
29. Wie ist das Verhältnis der Zähnezahlen zwischen Kurbel- und Nockenwelle?

- 1:2
- 1:1
- 1:4
- 2:1

30. Welches Bild zeigt das Muster des Gesamtvolumens der Zylinder im Vier-Zylinder-Motor?



31. Das Diagramm gibt die Kolbenbewegung wieder. Bitte kreuzen Sie die richtigen Antwortalternativen an!



An welchen Stellen wird das Einlassventil geöffnet?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

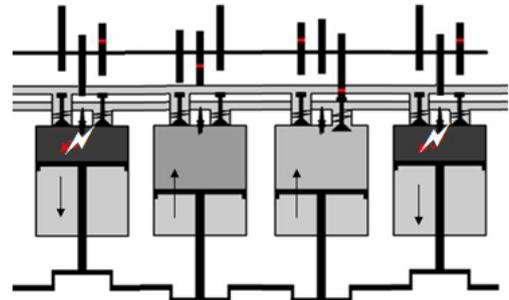
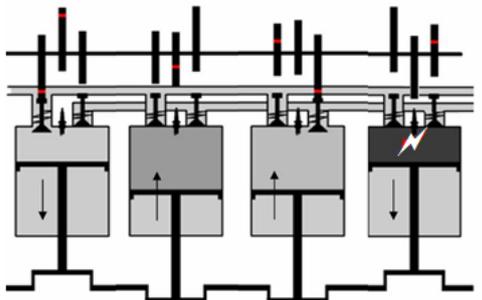
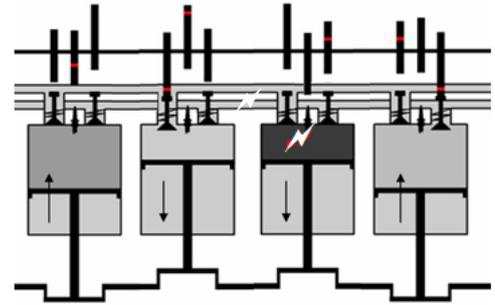
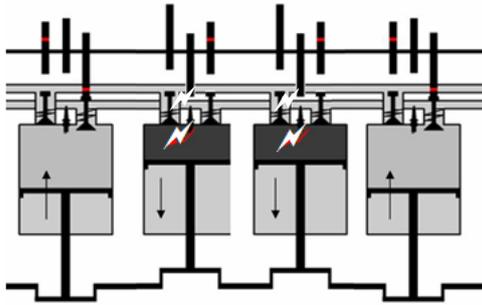
An welchen Stellen wird das Auslassventil geschlossen?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen findet die Zündung statt?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

32. Welches Bild zeigt die richtige Reihenfolge der Taktung im Vier-Zylinder-Motor?



B2: Vorwissenstest Studie 1

Fragen zum Viertaktmotor

Es folgen einige Fragen zum Vier-Takt-Motor. Von den vorgegebenen Antwortalternativen ist immer genau eine Antwort richtig. Markieren Sie die Ihrer Meinung nach richtige Antwortalternative mit einem Kreuz in dem entsprechenden Kästchen. Bitte raten Sie nicht! Wenn Sie die Antwort nicht wissen, lassen Sie die Frage unbeantwortet.

Welche Aussagen treffen auf den Vier-Takt-Motor zu?

- | | |
|---|--|
| 1. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn der Kolben nach oben geht. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 2. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, dann wird das Gasgemisch verdichtet. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 3. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Einlassventil immer geöffnet. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 4. Es gibt einen Zustand, in dem beide Ventile geöffnet sind. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 5. Das Einlassventil öffnet sich einmal innerhalb von 4 Takten. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 6. Wenn das Einlassventil offen ist, kann der Kolben nach oben oder nach unten gehen. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 7. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch verbrannt wird, ist das Auslassventil geschlossen. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 8. Wenn das Auslassventil geöffnet ist, das Einlassventil geschlossen ist und das Gasgemisch ausgestoßen wird, bewegt sich der Kolben nach oben. | <input type="checkbox"/> richtig
<input type="checkbox"/> falsch
<input type="checkbox"/> weiß ich nicht |
| <hr/> | |
| 9. Erklären Sie kurz stichpunktartig die Wirkungsweise des Vier-Takt-Motors! | |

B3: Deskriptive Ergebnisse der Nutzung der Geschwindigkeiten nach Gruppe, Studie 1

Tabelle B3: *Nutzung der Geschwindigkeiten nach Gruppe in Sekunden, Mittelwerte (M) in % und Standardabweichungen (SD), Studie 1.*

Geschwindigkeit	Gruppe	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
1	A	132.23	82.46	14.00	240.00
	B	121.17	81.77	12.00	240.00
2	A	43.62	44.40	0	192.00
	B	45.44	59.94	0	207.00
3	A	36.58	50.21	0	137.00
	B	33.41	49.99	0	219.00
4	A	14.62	27.32	0	114.00
	B	10.62	25.03	0	83.00
5	A	3.85	11.92	0	61.00
	B	4.31	14.47	0	75.00
6	A	9.08	11.87	0	49.00
	B	25.07	50.67	0	184.00

B4: Korrelationen zwischen Vorwissen und Lernerfolg, Studie 1

Tabelle B4: Korrelationen des Vorwissens mit dem Lernerfolg nach Gruppe, Studie 1.

Geschwindigkeit	Gruppe	Vorwissen	MTP	Mikro- wissen	Makro- wissen
Vorwissen	A	1			
	B	1			
MTP	A	.282	1		
	B	.090	1		
Mikrowissen	A	.521**	.370	1	
	B	.106	.461*	1	
Makrowissen	A	.149	.128	.203	1
	B	.341	.251	.254	1
		.070	.189	.184	

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

B5: Korrelationen zwischen Motivationskalen und Lernerfolg, Studie 1

Tabelle B5: Korrelationen der Motivationskalen mit dem Lernerfolg, Studie 1.

	FAM Interesse	FAM Heraus- forderung	FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	FAM Mißerfolgs- befürchtung	FAM Posttest
FAM Interesse	1				
FAM Heraus- forderung	.484** .000	1			
FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	.504** .000	.039 .781	1		
FAM Mißerfolgs- befürchtung	.039 .782	-.346* .010	-.304* .028	1	
FAM Posttest	.532** .000	.464** .000	.282* .043	.048 .728	1
Posttest (Summe)	.253 .065	.127 .359	.311* .025	-.196 .155	.229 .092
Mikrowissen	.301* .027	.205 .136	.354** .010	-.221 .109	.261 .113
Makrowissen	.044 .749	-.064 .647	.077 .586	-.055 .695	.118 .391

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

B6: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 1

Tabelle B6: Korrelationen der Cognitive Load-Skalen mit dem Lernerfolg, Studie 1.

	ME Animation	CL Animation	ME Test	CL Test
ME Animation	1			
CL Animation	-.152 .268	1		
ME Test	.551** .000	-.128 .350	1	
CL Test	-.084 .542	.344* .010	-.147 .283	1
Posttest (Summe)	.028 .838	-.358* .007	.261 .054	.333* .013
Mikrowissen	.079 .567	-.445** .001	.259 .057	-.438** .001
Makrowissen	-.183 .182	-.035 .799	.131 .341	.004 .979

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

C1: Korrelationen zwischen Lernermerkmalen und Lernerfolg, Studie 2

Tabelle C1: Korrelationen der Lernermerkmale mit dem Lernerfolg, Studie 2.

	Vorwissen	Verarbeitungs- kapazität	Bearbeitungs- geschwindigkeit	Mikro- wissen	Makro- wissen
Vorwissen	1	.			
Verarbeitungs- kapazität	.111 .650	1			
Bearbeitungs- geschwindigkeit	-.208 .393	.390 .099	1		
Mikrowissen	.376 .113	.507* .027	-.067 .784	1	
Makrowissen	.249 .304	.072 .770	-.181 .458	.069** .001	1

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

C2: Korrelationen zwischen Motivationsskalen und Lernerfolg, Studie 2

Tabelle C2: Korrelationen der Motivationsskalen mit dem Lernerfolg, Studie 2.

	FAM Interesse	FAM Heraus- forderung	FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	FAM Mißerfolgs- befürchtung	FAM Posttest
FAM Interesse	1				
FAM Heraus- forderung	.475* .040	1			
FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	.259 .316	.221 .395	1		
FAM Mißerfolgs- befürchtung	-.224 .357	-.157 .520	-.547* .023	1	
FAM Posttest	-.113 .647	-.309 .198	-.280 .277	.302 .209	1
Mikrowissen	-.097 .693	-.294 .222	.080 .761	-.419 .074	.160 .512
Makrowissen	-.183 .452	-.241 .319	.191 .463	-.359 .131	.156 .523

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

C3: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 2

Tabelle C3: Korrelationen der Cognitive-Load-Skalen mit dem Lernerfolg, Studie 2.

	ME Animation	CL Animation	ME Test	CL Test
ME Animation	1			
CL Animation	.460* .048	1		
ME Test	.631** .004	-.059 .811	1	
CL Test	.297 .217	.440 .059	-.072 .770	1
Mikrowissen	-.144 .555	-.189 .438	.204 .402	-.475* .040
Makrowissen	-.070 .777	-.079 .748	.255 .293	-.231 .342

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

C4: Korrelationen zwischen den Motivationsskalen und der mentalen Anstrengung, Studie 2

Tabelle C4: Korrelationen der Motivationsskalen mit der mentalen Anstrengung, Studie 2.

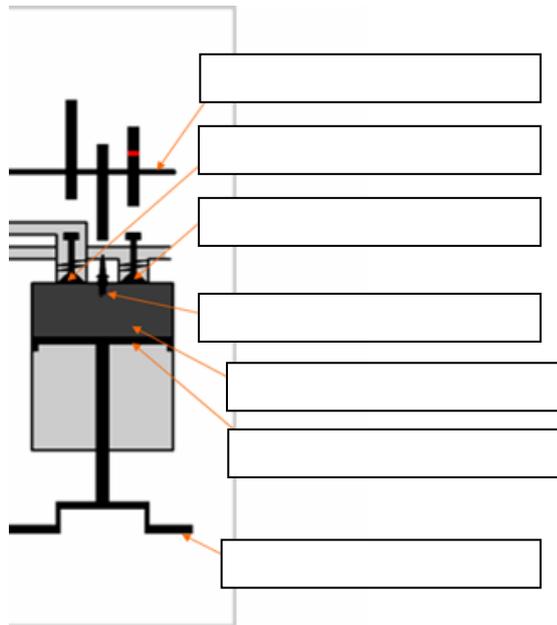
	FAM Interesse	FAM Heraus- forderung	FAM Erfolgswahr- scheinlichkeit	FAM Misserfolgs- befürchtung	FAM Post
ME	.309	.119	.151	-.278	.047
Animation	.198	.629	.562	.250	.848
ME Test	.410 .081	.144 .555	.077 .768	-.288 .232	.488* .034

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

D1: parallele Wissenstests Studie 3

Wissenstest A

Es folgen einige Fragen zur Animation, die Sie gerade am Computer bearbeitet haben.

Benennen Sie die Teile des Vier-Takt-Motors!

Bitte kreuzen Sie für jede Aussage an, ob sie wahr [w] oder falsch [f] ist, bzw. wählen Sie die richtige Antwortalternative durch ankreuzen aus!

1. Wie viele Verbrennungen können im 4-Zylinder-Motor maximal zur gleichen Zeit stattfinden?
 - max. 1
 - max. 2
 - max. 3
 - max. 4

 2. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn das Auslassventil
 - [w] [f] geschlossen ist
 - [w] [f] geöffnet ist

 3. Das Auslassventil ist geöffnet, wenn der Kolben sich
 - [w] [f] nach unten bewegt
 - [w] [f] nach oben bewegt

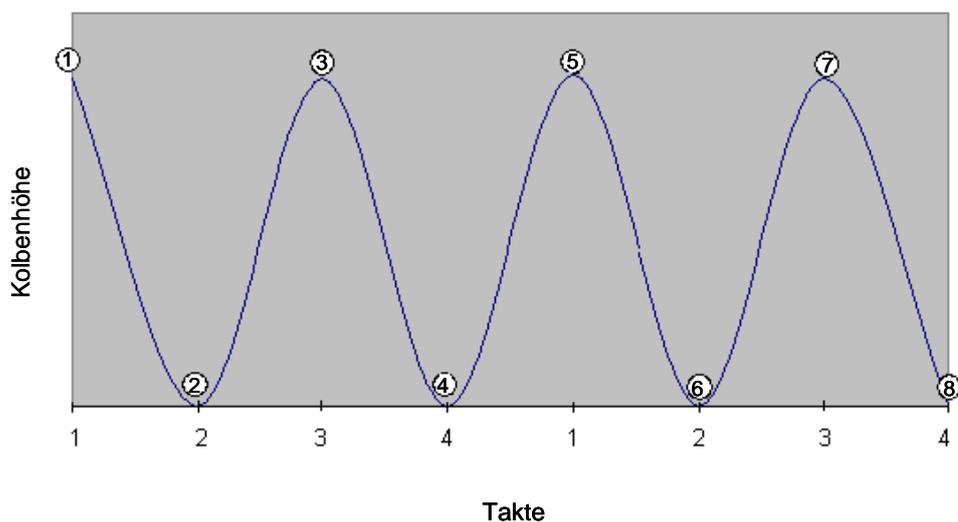
 4. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während vier Kurbelwellenumdrehungen?
 - 2 mal
 - 4 mal
 - 8 mal
 - 16 mal
- wahr
 falsch

5. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist!

EV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												
AV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
Taktfolge →																			

6. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch eingesaugt wird, ist das Einlassventil... offen
 geschlossen
7. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während zwei Nockenwellenumdrehungen? 2 mal
 4 mal
 8 mal
 16 mal
8. Wenn das Auslassventil geschlossen ist, das Einlassventil geschlossen ist und das Gasgemisch verdichtet wird, bewegt sich der Kolben... nach unten
 nach oben
9. Gibt es einen Zustand, in dem beide Ventile offen sind? ja
 nein
10. Wie viele Zündungen finden im 4-Zylinder-Motor insgesamt statt während zwei Nockenwellenumdrehung? 2
 4
 8
 16
11. Der Kolben bewegt sich nach oben, wenn das Auslassventil [w] [f] geschlossen ist
 [w] [f] geöffnet ist
12. Wenn das Einlassventil zu ist, kann der Kolben nur nach oben gehen
 nach oben oder unten gehen
 nur nach unten gehen
13. Wenn sich der Kolben im ersten Zylinder nach oben bewegt, bewegt sich gleichzeitig immer auch der Kolben im zweiten Zylinder nach oben
 dritten Zylinder nach oben
 vierten Zylinder nach oben
 hängt vom Takt ab
14. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Auslassventil immer zu
 immer offen
 hängt vom Takt ab

15. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn der Kolben sich
Kolben sich
- [w] [f] nach unten bewegt
[w] [f] nach oben bewegt
16. Geben Sie bitte die Reihenfolge an, in der das Gasgemisch in den Zylindern verbrannt wird, angefangen beim ersten Zylinder:
1. Verbrennung im 1. Zylinder
danach Verbrennung im _____
danach Verbrennung im _____
danach Verbrennung im _____
17. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach oben bewegt und das Gasgemisch verdichtet wird, ist das Auslassventil...
- offen
 geschlossen
18. Wie oft findet in einem Zylinder eine Zündung statt während zwei Kurbelwellenumdrehung?
- 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal
19. Wie ist das Verhältnis der Zähnezahlen zwischen Kurbel- und Nockenwelle?
- 1:2
 1:1
 1:4
 2:1
20. Das Diagramm gibt die Kolbenbewegung wieder. Bitte kreuzen Sie die richtigen Antwortalternativen an!



An welchen Stellen wird das
Einlassventil geöffnet?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen wird das
Auslassventil geschlossen?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

An welchen Stellen findet die
Zündung statt?

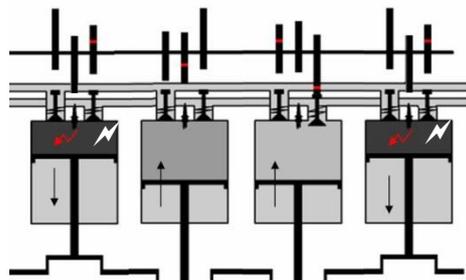
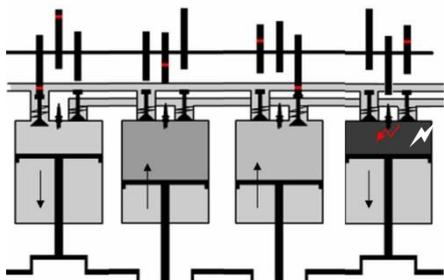
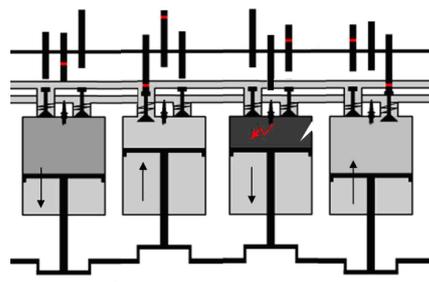
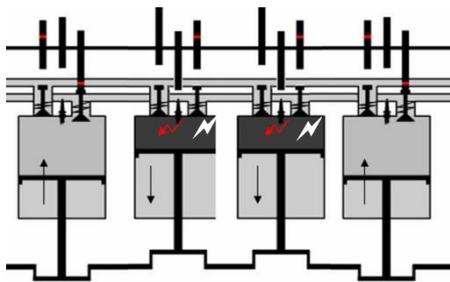
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

Wissenstest B

Es folgen einige Fragen zur Animation, die Sie gerade am Computer bearbeitet haben.

Bitte kreuzen Sie für jede Aussage an, ob sie wahr [w] oder falsch [f] ist, bzw. wählen Sie die richtige Antwortalternative durch ankreuzen aus!

1. Welches Bild zeigt die richtige Reihenfolge der Taktung im Vier-Zylinder-Motor? (Bitte das zutreffende Bild markieren)



2. Das Auslassventil ist geöffnet, wenn das Gasgemisch

- [w] [f] eingesaugt wird
- [w] [f] verdichtet wird
- [w] [f] verbrannt wird
- [w] [f] ausgestoßen wird

3. Wenn das Auslassventil offen ist, kann der Kolben

- nur nach oben gehen
- nach oben oder unten gehen
- nur nach unten gehen

4. Wie viele Kurbelwellenumdrehungen finden zwischen der Öffnung des Einlassventils und der Öffnung des Auslassventils statt?

- 0,5
- 1
- 1,5
- 2

5. Wenn der Kolben nach oben geht, ist das Einlassventil

- immer zu
- immer offen
- hängt vom Takt ab

6. Wenn beide Ventile zu sind, kann der Kolben

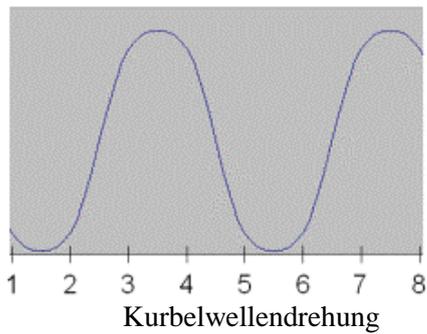
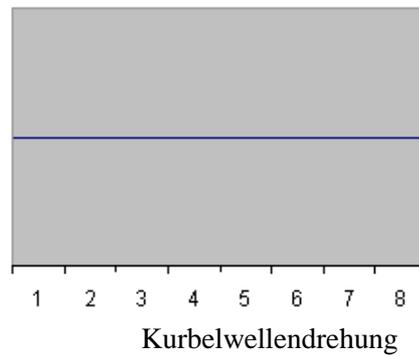
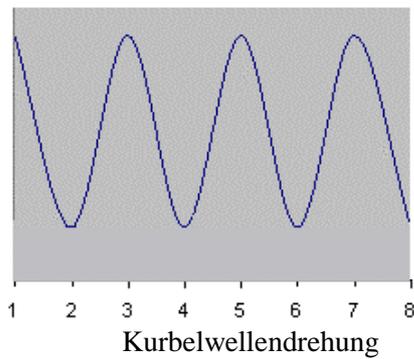
- nur nach oben gehen
- nach oben oder unten gehen
- nur nach unten gehen

7. Wie oft öffnen sich die Auslassventile im 4-Zylinder-Motor insgesamt während zwei Nockenwellenumdrehungen? 2 mal
 4 mal
 8 mal
 16 mal
8. Das Gasgemisch wird verbrannt, wenn das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist
 [w] [f] geöffnet ist
9. Das Auslassventil ist geöffnet, wenn das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist
 [w] [f] geöffnet ist
10. Bitte kreuzen Sie an, ob das „Muster“ der Öffnung von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) wahr oder falsch ist! wahr
 falsch

EV	zu	zu	auf	zu	zu	zu	auf												
AV	zu	auf	zu	zu	zu	auf	zu												
Taktfolge →																			

11. Wie oft dreht sich die Nockenwelle, wenn die Kurbelwelle sich 8 mal dreht? 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal
12. Der Kolben bewegt sich nach oben, wenn das Einlassventil [w] [f] geschlossen ist
 [w] [f] geöffnet ist
13. Das Auslassventil ist geöffnet im ... 1. Takt
 2. Takt
 3. Takt
 4. Takt
14. Wie viele Abwärtsbewegungen des Kolbens finden während einer Umdrehung der Nockenwelle in einem Zylinder statt? 1
 2
 4
 8
15. Der Kolben bewegt sich nach oben, wenn das Gasgemisch [w] [f] eingesaugt wird
 [w] [f] verdichtet wird
 [w] [f] verbrannt wird
 [w] [f] ausgestoßen wird
16. Wie viele Zündungen finden im 4-Zylinder-Motor insgesamt statt während einer Kurbelwellenumdrehung? 1
 2
 4
 8
17. Wenn das Einlassventil geschlossen ist, sich der Kolben nach unten bewegt und das Gasgemisch verbrannt wird, ist das Auslassventil... offen
 geschlossen

18. Wie oft öffnen sich die Einlassventile im 4-Zylinder-Motor während einer Kurbelwellenumdrehung?
- 1 mal
 2 mal
 4 mal
 8 mal
19. Wenn das Auslassventil geöffnet ist, das Einlassventil geschlossen ist und sich der Kolben nach oben bewegt, wird das Gasgemisch...
- eingesaugt
 verdichtet
 verbrannt
 ausgestoßen
20. Welches Bild zeigt das Muster des Gesamtvolumens der Zylinder im Vier-Zylinder-Motor? (Bitte das zutreffende Bild markieren)



D2: Korrelationen zwischen den Cognitive Load-Skalen und dem Lernerfolg, Studie 3

Tabelle D2: Korrelationen der Cognitive Load-Skalen mit dem Lernerfolg nach Gruppe, Studie 3.

		Mikrowissen		Makrowissen		
		TZP 1	TZP 2	TZP 1	TZP 2	
TZP 1	ME Animation	Gruppe LS	.250	.308	.107	-.154
		Gruppe SL	.199	.110	.589	.433
	CL Animation	Gruppe LS	.232	.054	-.187	.180
		Gruppe SL	.218	.776	.324	.340
	ME Test	Gruppe LS	-.213	-.245	-.094	-.050
		Gruppe SL	.277	.208	.634	.800
	CL Test	Gruppe LS	-.294	.052	-.135	-.204
		Gruppe SL	.115	.785	.477	.280
	ME Test	Gruppe LS	.247	.281	-.245	-.164
		Gruppe SL	.205	.147	.209	.404
	CL Test	Gruppe LS	.302	.131	-.145	.130
		Gruppe SL	.105	.490	.443	.494
TZP 2	ME Animation	Gruppe LS	-.077	-.009	.169	.061
		Gruppe SL	.697	.966	.390	.759
	CL Animation	Gruppe LS	-.491**	-.200	.005	-.159
		Gruppe SL	.006	.289	.978	.400
	ME Test	Gruppe LS	-.024	.099	.037	-.082
		Gruppe SL	.905	.616	.852	.679
	CL Test	Gruppe LS	.018	-.021	-.294	.094
		Gruppe SL	.927	.912	.115	.620
	ME Test	Gruppe LS	-.027	-.044	-.064	-.044
		Gruppe SL	.892	.825	.745	.823
	CL Test	Gruppe LS	.441*	-.187	.009	-.258
		Gruppe SL	.015	.322	.962	.169
ME Test	Gruppe LS	-.067	.173	.017	-.087	
	Gruppe SL	.736	.379	.932	.660	
CL Test	Gruppe LS	.080	-.099	-.059	.192	
	Gruppe SL	.673	.602	.758	.309	
ME Test	Gruppe LS	-.281	-.268	-.102	-.173	
	Gruppe SL	.147	.169	.605	.380	
CL Test	Gruppe LS	-.569**	-.460*	-.030	-.188	
	Gruppe SL	.001	.010	.877	.319	

** Signifikanzniveau <.01 (zweiseitig), *Signifikanzniveau <.05 (zweiseitig)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die beigelegte Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel genutzt habe. Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen habe ich als solche gekennzeichnet.

Die Dissertation wurde von mir bislang weder als Gesamtschrift noch in Teilen für eine staatliche Prüfungsleistung oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht.

Ich versichere außerdem, dass diese oder eine andere Arbeit bisher bei keiner anderen Hochschule als Dissertation eingereicht wurde.

Frankfurt, den 27.01.2014

Katja Hartig

Danksagung

Eine Reihe von Personen hat, auf unterschiedliche Weise, zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ihnen möchte ich an dieser Stelle danken.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Schnotz. Er hat mir die Möglichkeit gegeben, an diesem Thema zu arbeiten. Er hat stand mir mit seinem immensen Wissen und seiner Erfahrung während der gesamten Promotionszeit mit Rat und Tat zur Seite. Seine Ideen und unsere Diskussionen ermutigten und motivierten mich während des langen Entstehungszeitraums der Arbeit immer wieder.

Ich danke Herrn Prof. Horz für seine Unterstützung und Geduld und für die Bereitschaft, sich als Gutachter für diese Arbeit zu betätigen.

Ich danke meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen der Graduiertenschule „Unterrichtsprozesse“ und der Arbeitseinheit „Allgemeine und Pädagogische Psychologie“ der Universität Koblenz-Landau für deren fachliche und nicht zuletzt auch motivationale Unterstützung während der Promotionszeit: Charlotte Brenk, Anne Berger, Iris Hoppenbrock, Iris Kleinbub, Annette Hosenfeld, Franziska Thonke, Alwine Lenzner, Mark Ullrich, Holger Horz und Thorsten Rasch. Ich danke Radu Georghii für die Programmierung des Lernmaterials und Inga Wagner für die Hilfe bei der Datenerhebung sowie Maria Angela Geißert, die als Diplomandin maßgeblich an der Datenerhebung von Studie 3 beteiligt war.

Ich danke den Studierenden der Universität Koblenz-Landau, die sich als Versuchspersonen für meine Studien zur Verfügung gestellt haben.

Ich danke meinen Kolleginnen und Kollegen an der Goethe-Universität Frankfurt, besonders Sabine Fabriz, für ihre Unterstützung während der letzten Phase der Dissertation.

Ich danke meiner Familie: Ina Sacher, Stefan und Tobias Meyer und besonders meinen Eltern Anetta und Volkert Meyer, die mir meine Ausbildung und diesen Weg ermöglicht haben und deren Vertrauen und Unterstützung ich mir immer gewiss sein konnte. Zuletzt und ganz besonders danke ich meinem Mann Johannes Hartig für seine Unterstützung, Zuversicht und Geduld. Ich danke ihm und unseren Kindern Luzie, Minna und August für ihre bedingungslose Liebe.

Lebenslauf

Zur Person

Katja Hartig, geb. Meyer

Geboren am 26.07.1977, Lutherstadt Wittenberg

Verheiratet, 3 Kinder (Luzie Hartig *08.02.2009, Minna Hartig *27.09.2010, August Hartig *06.08.2014)

Schulbildung

1984 - 1991	13. Polytechnische Oberschule „Walery Bykowski“, Zeitz
1991 - 1993	Gymnasium Zeitz-Ost, Zeitz
1993 - 1996	Geschwister-Scholl-Gymnasium, Zeitz; Abitur

Hochschulbildung

10.1997 - 10.2003	Studium der Erziehungswissenschaft an der Pädagogischen Hochschule/ Universität (seit 2000) Erfurt
-------------------	--

Berufserfahrung

Seit 06.2014	Elternzeit
Seit 08.2011	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Goethe-Universität Frankfurt/Main (Prof. Dr. Holger Horz)
02.2009 - 07.2011	Elternzeit
10.2008 - 05.2010	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Ulm (Prof. Dr. Tina Seufert)
04.2006 - 09.2008	Stipendiatin der Graduiertenschule "Unterrichtsprozesse" der Universität Koblenz-Landau (Prof. Dr. Wolfgang Schnotz)
12.2003 - 03.2006	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Duisburg-Essen (Prof. Dr. Detlev Leutner)