



Universität Trier

Fachbereich I – Psychologie

Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde

Lernen mit Multimedia

Die Gestaltung interaktiver Animationen

vorgelegt von Günter Daniel Rey

Begutachtung
Prof. Dr. Karl Friedrich Wender
PD Dr. Werner Wippich

Inhaltsverzeichnis

I. Theoretischer Teil	1
1. Einleitung	1
1.1. Definitionen.....	2
1.2. Pauschalvergleiche	7
2. Theorien zu Multimedia und Animationen	9
2.1. Cognitive Load Theorie.....	9
2.1.1. Arbeits- und Langzeitgedächtnis.....	10
2.1.2. Konstruktion und Automatisierung von Schemata	11
2.1.3. Cognitive Load	12
2.1.4. Messmethoden des Cognitive Load	15
2.1.5. Design- & Gestaltungsempfehlungen	18
2.1.6. Fazit.....	30
2.2. Kognitive Theorie multimedialen Lernens.....	31
2.2.1. Grundannahmen	32
2.2.2. Gedächtnisspeicher.....	34
2.2.3. Kognitive Prozesse	36
2.2.4. Repräsentationsformen.....	37
2.2.5. Design- & Gestaltungsempfehlungen	38
2.2.6. Fazit.....	51
2.3. Weitere Theorien zu Multimedia und Animationen.....	52
2.3.1. Kognitive Flexibilitätstheorie.....	52
2.3.2. Design-Funktionen-Aufgaben Rahmenmodell.....	55
2.3.3. Rahmenmodell für das Lernen mit Multimedia	64
2.3.4. Integratives Modell multimedialer Effekte beim Lernen	67
3. Zusammenfassung	72
II. Empirischer Teil	74
1. Leserichtungseffekt für Kausalzusammenhänge.....	74
1.1. Einleitung	74
1.2. Experiment 1 (Leserichtungseffekt & Signalisierungen).....	79
1.2.1. Einleitung	79
1.2.2. Methode.....	80
1.2.3. Ergebnisse & Diskussion	91

1.3.	Experiment 2 (Leserichtungseffekt, moderierender Einfluss des Geschlechts & horizontale vs. vertikale Präsentation)	99
1.3.1.	Einleitung	99
1.3.2.	Methode.....	102
1.3.3.	Ergebnisse & Diskussion	107
1.4.	Experiment 3 (Leserichtungseffekt in einer Online-Untersuchung)	116
1.4.1.	Einleitung	116
1.4.2.	Methode.....	117
1.4.3.	Ergebnisse & Diskussion	122
1.5.	Experiment 4 (Moderierende Einflussfaktoren auf den Leserichtungseffekt) .	129
1.5.1.	Einleitung	129
1.5.2.	Methode.....	134
1.5.3.	Ergebnisse & Diskussion	139
1.6.	Diskussion	159
2.	Reset-Button & seductive details	161
2.1.	Experiment 5 (Reset-Button & seductive details).....	162
2.1.1.	Einleitung	162
2.1.2.	Methode.....	163
2.1.3.	Ergebnisse & Diskussion	174
2.2.	Untersuchung 6 (Nutzungshäufigkeit eines Reset-Buttons)	178
2.2.1.	Einleitung	178
2.2.2.	Methode.....	179
2.2.3.	Ergebnisse & Diskussion	182
2.3.	Experiment 7 (Instruktionshinweise zur Steigerung der Lernleistungen).....	184
2.3.1.	Einleitung	184
2.3.2.	Methode.....	186
2.3.3.	Ergebnisse & Diskussion	191
2.4.	Diskussion	196
III.	Diskussion	199

Abstract

Die vorliegende Arbeit zur Gestaltung interaktiver Animationen definiert im theoretischen Teil zunächst zentrale Begriffe der Multimediaforschung und weist anschließend den pauschalen Vergleich verschiedener Codierungsformen wie Texte, Bilder und Animationen aufgrund versuchsplanerischer Mängel zurück. Anstelle dieser Gegenüberstellungen konzentrieren sich Theorien zu Multimedia vornehmlich darauf, wie multimediale Lernumgebungen möglichst lernförderlich zu gestalten sind. Hierbei werden die beiden derzeit dominierenden Theorien, die Cognitive Load Theorie und die kognitive Theorie multimedialen Lernens, eingehend erörtert ebenso wie vier weitere Modelle, die bisher eine nachrangige Bedeutung innerhalb der Multimediaforschung einnehmen. Im empirischen Teil der Arbeit werden zwei Untersuchungsserien mit insgesamt sieben durchgeführten Studien vorgestellt, welche ausgewählte Empfehlungen zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen prüfen. Die erste Experimentalserie befasst sich mit der Frage, ob die Anordnung von Ursache und Wirkung die Lernleistungen für Kausalzusammenhänge in interaktiven Animationen beeinflusst. Es zeigt sich, dass eine links platzierte Ursache und rechts positionierte Wirkung im Vergleich zu anderen Positionierungsmöglichkeiten bei Frauen, nicht jedoch bei Männern, den Lernerfolg erhöht. Signalisierungen, die auf die Anordnung des Kausalzusammenhanges hinweisen fördern dabei die Verständnisleistung der Lernenden. Neben dem Geschlecht moderieren auch Computererfahrung und räumliches Vorstellungsvermögen den Einfluss der Anordnung der Ursache-Wirkungs-Beziehung auf die Lernleistung. Je höher die Computererfahrung, desto besser fallen die Verständnisleistungen bei Einhaltung der Leserichtung von links nach rechts im Vergleich zu anderen Positionierungsmöglichkeiten aus. Probanden mittlerer bis hoher räumlicher Kompetenzen werden in ihrem Lernerfolg besonders von der Anordnung des Kausalzusammenhanges beeinflusst. Die zweite Untersuchungsserie beschäftigt sich mit ausgewählten interaktiven Elementen in Visualisierungen und deren Einfluss auf die Lernleistung von Benutzern. Hier fällt auf, dass viele Lernende sowohl nützliche als auch für den Lernerfolg irrelevante interaktive Elemente überhaupt nicht oder nur sehr selten benutzen. Im Vorfeld der Animation dargebotene Instruktionshinweise, die darum bitten, spezifische interaktive Elemente systematisch zu verwenden, steigern sowohl die Nutzungshäufigkeit dieser Elemente als auch die Verständnisleistungen der Benutzer. Neben der Diskussion um Einschränkungen und praktische Implikationen der gefundenen Ergebnisse wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsthemen geliefert.

I. Theoretischer Teil

„I believe that the motion picture is destined to revolutionize our educational system and that in a few years it will supplant largely, if not entirely, the use of textbooks.” – Thomas Alva Edison, 1922 (zitiert nach: Cuban, 1986)

1. Einleitung

Die Prognose von Thomas Alva Edison aus dem Jahr 1922, dass in unserem Bildungssystem bewegte Bilder in wenigen Jahren den Gebrauch von Lehrbüchern größtenteils oder gänzlich ersetzen werden, hat sich bis heute nicht bewahrheitet. Dennoch ist die Wissensvermittlung gerade in den vergangenen Jahren deutlich vielfältiger geworden. Multimediale Lernumgebungen und interaktive Animationen im Besonderen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Verantwortlich dafür wird u.a. die zunehmende Verbreitung und Verbesserung der Computertechnik gemacht (vgl. Weidenmann, 2001). Auch in der Forschung untersucht man multimediale Lernumgebungen mit darin enthaltenen interaktiven Animationen verstärkt im Vergleich zu anderen Präsentationsformaten wie Texten und Bildern (vgl. Hansen & Narayanan, 2000).

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit multimedialen Lernumgebungen und stellt sich hierbei insbesondere die Frage, wie interaktive Animationen zu gestalten sind, um eine möglichst lernförderliche Wirkung zu entfalten.

Im theoretischen Teil der Arbeit werden zentrale Begriffe der Multimediaforschung definiert (s. Abschnitt 1.1) und anschließend der pauschale Vergleich verschiedener Codierungsformen wie Texte, Bilder und Animationen aufgrund versuchsplanerischer Mängel zurückgewiesen (s. Abschnitt 1.2). Anstelle dieser Gegenüberstellungen konzentrieren sich Theorien zu Multimedia vornehmlich darauf, wie multimediale Lernumgebungen möglichst lernförderlich zu gestalten sind. Hierbei werden die beiden derzeit dominierenden Theorien, die Cognitive Load Theorie (s. Abschnitt 2.1) und die kognitive Theorie multimedialen Lernens (s. Abschnitt 2.2) eingehend erörtert sowie vier weitere Modelle (s. Abschnitt 2.3), die bisher eine nachrangige Bedeutung innerhalb der Multimediaforschung einnehmen.

Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit (s. Abschnitt II) werden zwei Untersuchungsserien vorgestellt. Die insgesamt sieben durchgeführten Studien prüfen dabei ausgewählte Empfehlungen zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen.

Eine Gesamtdiskussion (s. Abschnitt III), in der die Einschränkungen und praktischen Implikationen der gefundenen Ergebnisse diskutiert werden und ein Ausblick zu zukünftigen Forschungsfragen geliefert wird, komplettiert die Arbeit.

1.1. Definitionen

Zunächst sollen die zentralen Begriffe der vorliegenden Arbeit definiert und von verwandten Konstrukten abgegrenzt werden.

Multimedia

Zum Begriff Multimedia existiert keine allgemein anerkannte Definition. Zeitweise wurde er sogar als Modewort verwendet wie die Wahl zum Wort des Jahres 1995 bezeugt. Mittlerweile ist der Begriff in den alltäglichen Sprachgebrauch eingegangen. In der Forschung wurde der Terminus in vielerlei Hinsicht kritisiert. Die Bezeichnung sei u.a. unsystematisch, undifferenziert und inkonsistent (Weidenmann, 2002). Besonders hervorgehoben wurde, dass die drei Kategorien technisches Medium, Codierung/Modus und Modalität im Konstrukt Multimedia konfundiert seien. Statt eine einheitliche Definition zu entwickeln, wurde deshalb vorgeschlagen, den Begriff in diese drei Teilaspekte zu gliedern (Moreno & Mayer, 1999c). Neben der Multimedialität, Multicodalität und Multimodalität findet z.T. auch der Aspekt der Interaktivität Berücksichtigung (Issing, 1998). Dieser soll an späterer Stelle erörtert werden.

Als Multimedial wird die Integration verschiedener Objekte, technischer Geräte oder Konfigurationen bezeichnet, mit denen sich Botschaften speichern und kommunizieren lassen (Weidenmann, 1997). Beispiele hierfür stellen Buch, Tafel, Fernsehen, Overhead-Projektor oder Beamer dar.

Von Multicodalität wird gesprochen, wenn zur Präsentation der zu vermittelnden Informationen unterschiedliche Symbolsysteme bzw. Codierungen Verwendung finden (Weidenmann, 2002). Codierung ist in diesem Zusammenhang als „Kennzeichnung, Verkürzung oder Umwandlung häufig wiederkehrender Informationen“ definiert (Colin, 1992, S. 8; zitiert nach: Weidenmann, 2002, S. 45). Als Beispiel für verschiedene Codierungsformen können Texte, Bilder und Animationen angeführt werden. Die „interne“ Codierung der Informationen durch den Lernenden¹ ist hiervon zu unterscheiden.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird immer die männliche Form verwendet.

Der Begriff Multimodalität weist darauf hin, dass die Rezipienten eines medialen Angebotes dieses mit mehreren Sinnesmodalitäten wahrnehmen und verarbeiten (Issing, 1998). Typischerweise werden in multimodalen Lernumgebungen lediglich Augen und Ohren zur Aufnahme der präsentierten Informationen eingesetzt. Auch hier ist mit der Bezeichnung Multimodalität nicht die interne Codierung der aufgenommenen Mitteilung gemeint.

Animation und dynamische Visualisierung

Die Begriffe Animation und dynamische Repräsentation bzw. Visualisierung werden in der Literatur häufig synonym verwendet (Ainsworth & van Labeke, 2004). Eine Animation kann man als Bilderfolge definieren, bei der jedes Einzelbild als Veränderung des jeweils vorangegangenen erscheint (z.B. Bétrancourt, 2005; Bétrancourt & Tversky, 2000). Andere Definitionen bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt, da sich diese vornehmlich auf Animationen konzentrieren, die Bewegungen visualisieren (Baek & Layne, 1988; Roncarrelli, 1989) oder sich auf interaktive Visualisierungen beschränken (Gonzalez, 1996).

Im Gegensatz zur Animation ist eine dynamische Repräsentation als Oberbegriff zu verstehen (Ainsworth & van Labeke, 2004), der neben Animationen beispielsweise auch Sprache und Simulationen umfasst (z.B. Bearne, Jones & Sapsford-Francis, 1994; Guttormsen Schär, Zuberbühler & Krueger, 2000). Dessen Informationen verflüchtigen sich im Unterschied zu denen statischer Repräsentationen wie Texte und Bilder (Stenning, 1998).

Dynamische Visualisierungen stellen ebenfalls einen Oberbegriff dar, der jedoch auf visuell erfahrbare, dynamische Repräsentationen begrenzt ist (z.B. Park & Hopkins, 1993). Er kann zudem von statischen Visualisierungen wie Bildern abgegrenzt werden. Aufgrund der Ähnlichkeit der Begriffe und der weitgehenden Gleichsetzung von dynamischer Visualisierung und Animation in der Literatur werden diese beiden Begriffe im Folgenden ebenfalls synonym verwendet.

Interaktivität

Interaktivität wird in der Literatur zur Multimediaforschung unterschiedlich definiert (Hede, 2002). Als interaktiv werden Animationen und multimediale Lernumgebungen in der vorliegenden Arbeit dann bezeichnet, wenn sie einen Eingriff des Lernenden in die dynamische Visualisierung bzw. Lernumgebung erlauben (Narayanan & Hegarty, 2002; Schnotz, Böckheler, Grzondziel, Gärtner & Wächter, 1998). Die Interaktivität ist dabei auf einem Kontinuum angesiedelt. In der Literatur zur Visualisierung von Algorithmen, einem Teilbereich der Softwarevisualisierung in der Informatik, wurde in diesem Zusammenhang

eine Taxonomie der Interaktivität postuliert, die im Englischen auch als engagement taxonomy bezeichnet wird. Diese enthält nach Grissom, McNally und Naps (2003) sechs Hierarchiestufen.

Von der ersten Stufe der Interaktivität spricht man, wenn für den Benutzer der zu lernende Algorithmus in keiner Weise visualisiert wird. Ein Algorithmus kann als eine genau definierte Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems oder einer bestimmten Problemart definiert werden.

Die zweite Stufe beschreibt das passive Betrachten und Steuern der Geschwindigkeit der Animation mittels Kontrolltasten. Film- und Videosequenzen weisen beispielsweise diesen geringen Grad an Interaktivität auf, da sie zumeist nicht viel mehr als das Starten, Anhalten, Vor- und Zurückspulen beinhalten. Mayer und Chandler (2001) sprechen auch von einfachen Benutzerinteraktionen, wenn der Lernende das Tempo der multimedialen Präsentation selbst bestimmen kann (z.B. mit Hilfe einer „Weiter-Taste“).

Auf der dritten Hierarchiestufe werden dem Benutzer Fragen zu den gezeigten Inhalten gestellt, die dieser beantworten soll. Solche Fragen beziehen sich beispielsweise auf Vorhersagen über den weiteren Verlauf der Animation. Ob im Anschluss an die Beantwortung dem Benutzer ein Feedback präsentiert wird, wird bei der Darstellung der Taxonomie nicht weiter erörtert (z.B. Grissom et al., 2003).

Die vierte Stufe ist durch das Modifizieren der Inhalte oder Eingangsdaten zum Experimentieren oder Erzielen eines bestimmten Ergebnisses gekennzeichnet (Rößling, 2004). Zahlreiche Computerspiele stellen ein Beispiel dieser Hierarchiestufe dar. Andere Autoren wie Bétrancourt (2005) sprechen bei Animationen, die in der oben dargestellten Art und Weise interaktiv sind, nicht mehr von Animationen, sondern von Simulationen, während interaktive Animationen Bétrancourt zufolge nur die zweite Stufe der Interaktivität aufweisen dürfen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich im empirischen Teil (s. Teil II) auf diese vierte Stufe der Interaktivität, wobei in den interaktiven Animationen (Simulationen nach Bétrancourt, 2005), die in den eigenen Untersuchungen dargeboten werden, auch niedrigere Hierarchiestufen enthalten sind.

Auf der fünften Hierarchiestufe erstellt der Lernende eigene Visualisierungen. In der Regel wird diese Stufe der Interaktivität im universitären Kontext nur selten erreicht, da interaktive Animationen vornehmlich von Designern von Lernprogrammen oder Dozenten konstruiert werden.

Die letzte Hierarchiestufe bezieht sich auf die Präsentation der zuvor entwickelten Animationen, wobei die Darbietung an die jeweiligen Adressaten auch ein Feedback und eine anschließende Diskussion umfasst (Grissom et al., 2003). Ob die präsentierte Animation zuvor eigenständig konstruiert wird, ist für die letzte Hierarchiestufe nicht von Bedeutung (Rößling, 2004).

Die skizzierte Taxonomie kann vornehmlich wegen ihrer zahlreich enthaltenen Konfundierungen kritisiert werden. So unterscheidet sich die erste Stufe von den verbleibenden hinsichtlich ihrer Codierungsform, die dritte Stufe enthält im Vergleich zu den anderen Stufen Anregungen an den Benutzer, Vorhersagen über die weitere Entwicklung der Animation zu treffen und lediglich die letzte Stufe sieht explizit ein bewertendes Feedback für den Lernenden vor.

Behalten und Verstehen

Bei der Untersuchung multimedialer Lernumgebungen werden als abhängige Variablen oftmals Behaltens- und/oder Verstehensleistungen der Lernenden erfasst. Häufig erfolgt dabei keine klare, definitorische Trennung zwischen diesen beiden Variablen (z.B. Mayer, Heiser & Lonn, 2001), obwohl es sich um unterschiedliche Konstrukte handelt (Dahlqvist, 2000).

Um diesen Missständen in der vorliegenden Arbeit vorzubeugen, werden in Anlehnung an Bloom (z.B. Bloom & Krathwohl, 1956; Bloom, Madaus & Hastings, 1981) und Mayer (2005b) Behalten und Verstehen voneinander abgegrenzt.

Unter der Behaltensleistung soll die Leistung verstanden werden, Informationen zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzurufen bzw. wieder zu erkennen. Erfasst werden kann diese Fähigkeit u.a. durch die Prüfung, ob die Lernenden Faktenwissen wiederholen, auflisten, benennen, wieder erkennen und reproduzieren können.

Im Gegensatz dazu bezieht sich die Verständnisleistung darauf, die Bedeutung der gespeicherten Informationen zu erfassen und diese in neuen Kontexten einsetzen zu können. In einem Transfertest kann beispielsweise geprüft werden, ob die Versuchsteilnehmer in der Lage sind, Vorhersagen über zukünftige und/oder unbekannte Ereignisse zu treffen, ihr Wissen in neuen Kontexten anzuwenden und Schlussfolgerungen aus den präsentierten Informationen zu ziehen (vgl. Cooper, G. & Sweller, 1987).

Zu beachten ist, dass trotz klarer Abgrenzung der beiden Konstrukte diese miteinander zusammenhängen. Verständnis kann nur dann in Erscheinung treten, wenn Informationen

zuvor gespeichert worden sind, d.h. Behalten wird für die Verständnisleistung vorausgesetzt. Diese Konfundierung erschwert die Messung der beiden Variablen.

Die angenommenen intrapsychischen Prozesse, die für das Behalten und Verstehen von Lernmaterialien notwendig sind, unterscheiden sich in den einzelnen multimedialen Modellen und werden daher an den entsprechenden Stellen erörtert (s. Abschnitt 2).

Design- und Gestaltungsempfehlungen

Design- und Gestaltungsempfehlungen zu multimedialen Lernumgebungen werden in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Sie stellen Empfehlungen dar, die beschreiben, wie diese Lernumgebungen zu gestalten sind, um den Behaltens- und/oder Verständnisprozess beim Lernen der zu vermittelnden Inhalte bestmöglich zu unterstützen (z.B. Mayer, Moreno, Boire & Vagge, 1999).

Hiervon ist der Begriff der Gebrauchstauglichkeit („Usability“) – oftmals auch als Benutzerfreundlichkeit bezeichnet – zu unterscheiden. Er kann definiert werden als „das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und mit Zufriedenheit zu erreichen“ (DIN EN ISO 9241-11). Gebrauchstauglichkeit ist somit deutlich allgemeiner gefasst und fokussiert auf die Benutzung eines Produktes, während bei den Design- und Gestaltungsempfehlungen nicht primär die Benutzung – hier der Lernumgebung – sondern der Lernprozess hinsichtlich der zu vermittelnden Inhalte im Vordergrund steht.

Aus den einzelnen Theorien zum multimedialen Lernen (s. Abschnitt 2) lassen sich eine Reihe von Design- und Gestaltungsempfehlungen ableiten. Die im zweiten Abschnitt skizzierten Empfehlungen werden auch als Regeln, Richtlinien, Effekte oder Prinzipien der Gestaltung bezeichnet, ohne eine klare, definatorische Abgrenzung zwischen diesen Konstrukten bereitzustellen (z.B. Mayer, 2005b). Während einige Autoren diese Begriffe z.T. explizit synonym verwenden (z.B. Baecker, Grudin, Buxton & Greenberg, 1995), weisen andere darauf hin, dass Gestaltungsprinzipien allgemeiner und weit reichender als Gestaltungsregeln oder -richtlinien seien (Preece et al., 1994; Shneiderman, 1997). Johnson und Nemetz (1998) hingegen grenzen Gestaltungsprinzipien von den anderen Konstrukten durch die stärkere theoretische Verankerung und die größere Anzahl an stützenden empirischen Belegen ab.

Die in der vorliegenden Arbeit aufgeführten Design- und Gestaltungsempfehlungen zu multimedialen Lernumgebungen werden nach Ermessen des jeweiligen Autors als Regel,

Richtlinie, Effekt oder Prinzip benannt und nicht in Abhängigkeit der oben aufgeführten Differenzierungsmöglichkeiten (Allgemeinheitsgrad, theoretische Verankerung, empirische Belege). Da sich die Konstrukte mutmaßlich auch mit Hilfe dieser Unterscheidungsmöglichkeiten auf einem Kontinuum befinden (vgl. Shneiderman, 1997) und nur schwer voneinander abgrenzen lassen, werden die Begriffe Gestaltungsempfehlung, -regel, -richtlinie, -effekt und -prinzip nachfolgend synonym benutzt und die jeweilige Terminologie des Forschers wird beibehalten.

1.2. Pauschalvergleiche

Bevor man untersucht, *wie* multimediale Lernumgebungen (beispielsweise Umgebungen, die Animationen beinhalten) gestaltet sein sollten, könnte man zunächst überprüfen, *ob* diese im Vergleich zu herkömmlichen Umgebungen überhaupt lernförderlich sind und deren Einsatz lohnt.

Von den unzähligen bereits entwickelten dynamischen Visualisierungen wurde bisher nur ein kleiner Prozentsatz empirisch auf deren förderliche Lernwirkung überprüft (vgl. Grillmeyer, 2000). Ein Großteil der Forschung zu Animationen bestand darin, verschiedene Codierungsformen wie Texte, Bilder und Animationen experimentell gegenüberzustellen (Tversky, Morrison & Bétrancourt, 2002). Derartige Pauschalvergleiche unterliegen jedoch diversen Schwierigkeiten (vgl. auch die Debatte zu Medienvergleichen, s. Clark, R. E., 1983; Kozma, 1994).

Von zentraler Bedeutung ist hier die fehlende Vergleichbarkeit zwischen Animation, Bild und Text (Guan, 2002). Statische und dynamische Visualisierungen ebenso wie Texte lassen sich sehr unterschiedlich gestalten, was wiederum die Lernwirksamkeit beeinflusst. Kontrastiert man nun die Lernleistungen von Versuchsteilnehmern, denen eine Animation dargeboten wird, mit jenen, die mit Hilfe eines Bildes lernen, so stellt sich die Frage, ob sich Leistungsunterschiede zwischen den beiden Gruppen ergeben, weil Animationen im Vergleich zu statischen Visualisierungen das Lernen erleichtern bzw. erschweren oder weil in der Untersuchung Bild und dynamische Visualisierung unterschiedlich gut gestaltet wurde. Auch für schriftlich dargebotene Lernmaterialien ist zu unterscheiden, ob die Textgruppe nur deshalb schlechter ist, weil der Text unverständlich verfasst wurde oder weil er im Unterschied zum Bildmaterial generell zu schlechteren Lernleistungen führt. Einen prototypischen Text, auf den man den Vergleich beziehen könnte, gibt es ebenso wenig wie

prototypische Bilder oder Animationen. Damit sind Codierungsform und Gestaltung konfundiert.

Neben der Gestaltung des Lernmaterials ist die Form der Codierung außerdem mit zwei weiteren, für den Lernerfolg bedeutsamen Variablen vermengt, zum einen der Möglichkeit zur Interaktivität (s. Abschnitt 1.1) zum anderen dem Aufforderungscharakter an die Probanden, eine Vorhersage über die weitere Entwicklung vorzunehmen. Obwohl bekannt ist, dass sowohl die Interaktivität (z.B. Mayer & Chandler, 2001; Mayer, Dow & Mayer, 2003; Moreno, Mayer, Spires & Lester, 2001; Tversky et al., 2002) als auch das Treffen einer Vorhersage über den zukünftigen Verlauf (z.B. Byrne, Catrambone & Stasko, 1999; Hegarty, Kriz & Cate, 2003; Hegarty, Narayanan & Freitas, 2002) die Lernleistung verbessern können, finden sich eine Vielzahl experimenteller Vergleiche zwischen Animationen und Bildern, in denen diese Variablen nicht kontrolliert bzw. nicht konstant gehalten werden (z.B. Hegarty, Quilici, Narayanan, Holmquist & Moreno, 1999; Schnotz et al., 1998).

Ein weiterer Kritikpunkt an den durchgeführten Pauschalvergleichen zwischen Texten, Bildern und Animationen bezieht sich auf die Inhaltsabhängigkeit der Ergebnisse (Tversky et al., 2002). Bestimmte Lerninhalte profitieren möglicherweise vom Einsatz einer Animation, während für andere Inhalte der Lernprozess gar behindert werden könnte.

Ferner stellen bei einem experimentellen Vergleich verschiedener Codierungsformen auch die Vertrautheit mit und die Einstellung zu der Darstellung potentielle Störfaktoren dar (vgl. Krapp & Weidenmann, 2001). Beispielsweise könnten Animationen durch einen kurzzeitigen Neuheitseffekt begünstigt werden. Andererseits sind hier eine verminderte Anstrengungsbereitschaft und in Folge reduzierte Lernleistungen der Rezipienten aufgrund des spielerischen Charakters interaktiver Animationen denkbar (vgl. Salomon, 1984).

Das Ergebnis eines Pauschalvergleiches ist darüber hinaus von der „Passung“ zwischen der Informationsdarbietung und der späteren Informationsabfrage z.B. in Form eines Lerntests abhängig (vgl. a. Abschnitt 2.3.3). Durch die Präsentation von Textfragen im Anschluss an ein Lernprogramm könnten vornehmlich Texte, die während der Informationsdarbietung zum Einsatz kommen, bevorzugt werden. Die Lernleistung bei zuvor präsentierten Bildern und Animationen fällt möglicherweise dann besser aus, wenn auch der anschließend durchgeführte Lerntest Bilder und Animationen enthält.

Trotz der genannten mannigfaltigen Probleme, die sich bei einem Pauschalvergleich zwischen Animationen und anderen Präsentationsformen ergeben, wurden zahlreiche

Experimente dieser Art durchgeführt (erstmalig im Jahr 1924 durch Freeman). Dabei war die Erwartungshaltung der Forscher bezüglich der positiven Effekte von dynamischen Visualisierungen anfänglich sehr hoch (s. Tversky et al., 2002). Die Befundlage fiel jedoch höchst uneinheitlich aus (s. Überblicksartikel zu Pauschalvergleichen im Kontext der Multimediaforschung: Clark, R. E., 1983, 1985; Dillon & Gabbard, 1998; Hundhausen, Douglas & Stasko, 2002; Liao, 1999; Najjar, 1995, 1996; Park & Hopkins, 1993; Rieber, 1990a; Tversky et al., 2002). In einigen Untersuchungen waren die durchgeführten Vergleiche erfolgreich (interessanterweise waren fast alle durchgeführten Pauschalvergleiche zu dynamischen Visualisierungen bis 1970 arriviert), während man in anderen signifikante Unterschiede entgegen der ursprünglich postulierten Hypothesen fand. Die große Mehrzahl der Studien wies inkonsistente Ergebnisse auf.

2. Theorien zu Multimedia und Animationen

Neben den unzähligen Pauschalvergleichen in der Multimediaforschung sind auch Anstrengungen unternommen worden, Theorien zum multimedialen Lernen zu konzipieren. Diese dienen u.a. dazu, Empfehlungen für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen einschließlich dynamischer Visualisierungen aufstellen zu können. Studien im Kontext dieser Modelle fragen im Gegensatz zu Untersuchungen, welche sich pauschalen Vergleichen widmen, nicht primär, *ob* Multimedia die Lernleistung begünstigt, sondern vor allem *wie* multimediale Lernumgebungen möglichst lernförderlich gestaltet werden könnten.

Im Folgenden werden zuerst die Cognitive Load Theorie (s. Abschnitt 2.1) und die kognitive Theorie multimedialen Lernens (s. Abschnitt 2.2) eingehend erörtert, beides Theorien, die gegenwärtig die Multimediaforschung dominieren. Im Anschluss werden vier weitere Modelle vorgestellt (s. Abschnitt 2.3), wobei sich diese zum Teil erheblich von den beiden derzeit vorherrschenden Theorien unterscheiden.

2.1. Cognitive Load Theorie

Die Cognitive Load Theorie (CLT) von John Sweller und seinen Mitarbeitern (Sweller, 1988, 2005a) stellt einen weit verbreiteten Erklärungsansatz zum multimedialen Lernen dar, der bei instruktionalen Designern in den letzten Jahren große Akzeptanz gefunden hat (Guan, 2002).

Während in einigen Vorläuferarbeiten zur CLT (z.B. Mawer & Sweller, 1982; Sweller, 1983; Sweller & Levine, 1982) die einzelnen empirischen Befunde noch nicht in ein

umfassendes, theoretisches Modell eingebettet werden konnten, wird die Cognitive Load Theorie seit ca. 1988 immer weiter spezifiziert und erweitert. Sie gilt inzwischen als empirisch gut abgesichert. Mittlerweile informieren zahlreiche Überblicksarbeiten über die CLT (Sweller, 1993, 1994, 2002, 2004, 2005; Sweller & Chandler, 1994; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998; van Merriënboer & Sweller, 2005).

Die folgenden Abschnitte geben Auskunft über die zentralen kognitiven Strukturen, die in der CLT postuliert werden (s. Abschnitt 2.1.1) und dem übergeordneten Ziel beim (multimedialen) Lernen, nämlich der Konstruktion und Automatisierung von Schemata (s. 2.1.2). Außerdem wird der Begriff „Cognitive Load“ ausdifferenziert (s. 2.1.3) und dessen Messmöglichkeiten thematisiert (s. 2.1.4). Die aus der CLT abgeleiteten Design- und Gestaltungsprinzipien werden theoretisch erörtert und die aktuelle empirische Befundlage zu den einzelnen Empfehlungen aufgeführt (s. 2.1.5). Den Abschluss des Teilkapitels bildet ein bewertendes Fazit der Cognitive Load Theorie (s. 2.1.6).

2.1.1. Arbeits- und Langzeitgedächtnis

Als zentrale kognitive Strukturen nimmt die CLT ein Arbeits- und ein Langzeitgedächtnis an und beschreibt das Wechselspiel zwischen diesen beiden (Sweller, 2005a).

Das Speichervermögen des Langzeitgedächtnisses wird dabei – wie in zahlreichen Gedächtnismodellen (Solso, 2004) auch – als sehr groß erachtet. Für das Langzeitgedächtnis postuliert die CLT, dass sämtliche dort gespeicherte Informationen erlernt worden sind. Lernen wird als Veränderung im Langzeitgedächtnis definiert. Hinsichtlich des Langzeitgedächtnisses ist das übergeordnete Ziel bei der Gestaltung von Instruktionsmaterialien entsprechende Veränderungsprozesse im Langzeitgedächtnis zu fördern. Die genauen Ziele werden unter Abschnitt 2.1.2 thematisiert.

Im Gegensatz zum Langzeitgedächtnis sind die im Arbeitsgedächtnis befindlichen Informationen Menschen bewusst (Sweller, 2002). Informationen können aus zwei Speichersystemen ins Arbeitsgedächtnis gelangen. Entweder aus dem Langzeitgedächtnis, sofern es sich um zuvor gelerntes Material handelt, oder bei neuen Informationen aus dem sensorischen Speicher. Im letzteren Fall unterliegt das Arbeitsgedächtnis zwei zentralen Beschränkungen. Erstens kann das Arbeitsgedächtnis nur eine begrenzte Menge an Informationen gleichzeitig speichern. Während Miller (1956) noch davon ausging, dass sieben plus/minus zwei Informationselemente im Kurzzeitgedächtnis bereitgehalten werden können, wird innerhalb der CLT mittlerweile angenommen, dass maximal zwei bis vier Elemente zeitgleich kombiniert, kontrastiert oder manipuliert werden können (Sweller,

2005a). Zweitens ist das Arbeitsgedächtnis zeitlich begrenzt. Man nimmt aufgrund empirischer Untersuchungen (z.B. Peterson, L. & Peterson, 1959) an, dass innerhalb von 20 Sekunden sämtliche Inhalte des Arbeitsspeichers verloren gehen, wenn die Informationen nicht wiederholt werden.

Bezüglich des Arbeitsgedächtnisses sei für die Gestaltung von Lernmaterialien von zentraler Bedeutung beide Einschränkungen des Arbeitsspeichers zu überwinden (zur genaueren Vorgehensweise s. die Abschnitte 2.1.2, 2.1.3 u. 2.1.5). Verständnis wird demnach in der Cognitive Load Theorie definiert als Fähigkeit, die zu verstehenden Informationselemente simultan im Arbeitsgedächtnis verarbeiten zu können (Sweller, 2005a).

Zur weiteren Unterteilung des Arbeitsgedächtnisses unterstützt die CLT eine modifizierte, ältere Variante des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (1992). In dieser Fassung ist der episodische Speicher (Baddeley, 2000) noch nicht Bestandteil des Modells, während die zentrale Exekutive aufgrund theoretischer Erwägungen und der unzureichenden empirischen Befundlage von Sweller (2004) zurückgewiesen wird. Demnach werden nur die zwei Subsysteme visuelle Notiztafel und phonologische Schleife von Baddeleys Modell (1992) übernommen.

Als Ersatz für die von Baddeley postulierte zentrale Exekutive fungieren neben Instruktionsmaterialien (vgl. Abschnitt 2.1.5) vornehmlich Schemata, die im Folgenden erörtert werden.

2.1.2. Konstruktion und Automatisierung von Schemata

In der Cognitive Load Theorie ist die Ausbildung und Speicherung von automatisierten Schemata beim Lernen von essentieller Bedeutung (Sweller, 1993). Ein Schema stellt ein kognitives Konstrukt dar, welches Informationen zur Speicherung in das Langzeitgedächtnis organisiert. Schemata dienen dazu, Mechanismen für die Organisation von Wissen und deren Speicherung bereitzustellen. Sie fungieren als zentrale Exekutive im Arbeitsgedächtnis (Sweller, 2005a). Zudem reduzieren sie auch den Cognitive Load (s. a. Abschnitt 2.1.3), da ein Schema als einzelne Entität im Arbeitsgedächtnis betrachtet wird, selbst aber eine umfangreiche – prinzipiell sogar unbegrenzte – Menge an Informationen beinhalten kann.

Das in der Psychologie auf Piaget (1928) und Bartlett (1932) zurückgehende Konzept, als Idee schon von Immanuel Kant (1787/1986) konzipiert, wurde bereits von zahlreichen Forschern unter veränderter Terminologie wieder aufgegriffen (Sweller, 1994). So werden

beispielsweise die Begriffe chunk (Miller, G., 1956), frames (Minsky, 1975) und script (Schank & Abelson, 1977) in ähnlicher Form wie der Begriff des Schemas verwendet.

Neben der Ausbildung von Schemata ist deren Automatisierung ein zentraler Prozess beim Lernen. Dabei wird angenommen, dass sämtliche Informationsverarbeitungsprozesse bewusst oder automatisiert erfolgen können, wobei diese beiden Formen Endpunkte auf einem Kontinuum darstellen. Während bewusste Verarbeitungsprozesse das Arbeitsgedächtnis (s. Abschnitt 2.1.1) belasten, umgehen automatisierte dieses weitgehend und tragen dazu bei, dass kognitive Kapazitäten für andere Funktionen bereitgestellt werden können. Ermöglicht wird die Automatisierung durch intensive Übung. Zum Beispiel gelingt es geübten Lesern einen Text ohne bewusste Informationsverarbeitungsprozesse der einzelnen Buchstaben zu lesen, während Novizen, die gerade Lesen lernen diese noch bewusst verarbeiten müssen (Sweller et al., 1998).

Der Grad der Ausbildung von Schemata und deren Automatisierung erklärt laut CLT auch die Leistungsunterschiede, die man in zahlreichen Untersuchungen zwischen Experten und Novizen gefunden hat (z.B. Chase & Simon, 1973; Chi, Feltovich & Glaser, 1981; De Groot, 1965). Bei Experten können die durch massive Übungsprozesse (vgl. auch Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993) ausgebildeten Schemata schon weitestgehend automatisiert verwendet werden. Somit stehen kognitive Ressourcen für andere Informationsverarbeitungsprozesse im Arbeitsgedächtnis zur Verfügung (siehe oben). Im Gegensatz dazu sind die Schemata von Novizen aufgrund fehlender Veränderungsprozesse im Langzeitgedächtnis (s. Abschnitt 2.1.1) noch nicht ausgebildet oder laufen noch größtenteils bewusst ab. Dies führt zu einer höheren kognitiven Belastung und damit zu einer geringeren Performanz (van Merriënboer & Sweller, 2005).

2.1.3. Cognitive Load

Man unterscheidet in der Cognitive Load Theorie mittlerweile drei verschiedene Arten kognitiver Belastung voneinander: den intrinsischen Cognitive Load (CL), den extrinsischen CL sowie den germane Load. Diese drei Bereiche kognitiver Belastung addieren sich zum gesamten CL (Sweller et al., 1998).

Intrinsischer CL

Intrinsischer CL – im Deutschen häufig als intrinsische Belastung bezeichnet – bezieht sich auf das Lernmaterial selbst und ist durch die Interaktivität der einzelnen Lernelemente zueinander gekennzeichnet (Brünken, Plass & Leutner, 2004). Elemente sind alle Komponenten, die bereits gelernt wurden oder noch zu erlernen sind. Zumeist handelt es

sich dabei um Schemata (s. Abschnitt 2.1.2). Bei hoher Elementinteraktivität müssen die einzelnen Elemente simultan im Arbeitsgedächtnis bearbeitet werden, während bei einer niedrigen die Verarbeitung der Elemente konsekutiv erfolgen kann. Diese aufeinander folgenden Prozesse führen im Vergleich zur parallelen Verarbeitung bei hoher Elementinteraktivität zu einem einfacheren Verständnis des Lernmaterials. Dies ist jedoch nicht mit vereinfachtem Lernen gleichzusetzen, da auch konsekutiv zu verarbeitende Lernmaterialien aufgrund ihrer großen Informationsmenge Schwierigkeiten beim Lernen bereiten können (Sweller, 2005a).

So stellt das Vokabellernen nach Sweller (1994) einen geringen intrinsischen CL dar, da die einzelnen Wortpaare getrennt voneinander gelernt werden können. Die Schwierigkeit liegt hier allein in der Anzahl der zu erlernenden Vokabeln. Im Gegensatz dazu kann die Interaktivität der einzelnen Lernelemente beim Erlernen syntaktischer und semantischer Elemente einer Fremdsprache genau wie das Umformen mathematischer Gleichungen als groß bezeichnet werden. Der auf einem Kontinuum angesiedelte intrinsische CL ist demnach hoch. Des Weiteren ist dieser abhängig vom Vorwissen und den ausgebildeten Schemata (s. Abschnitt 2.1.2) des Lernenden. Je höher das bereichsspezifische Vorwissen ist, desto geringer fällt der intrinsische CL aus.

Extrinsischer CL

Während sich der intrinsische CL auf das Lernmaterial selbst und das Vorwissen der Lernenden bezieht, ist der extrinsische CL – auch lernirrelevante kognitive Belastung genannt – von der Art der Darbietung abhängig (Sweller & Chandler, 1994). Je nach Darbietungsart kann ein Lernstoff leicht oder schwer verständlich sein. Nach der Cognitive Load Theorie ist es ein zentrales Ziel Lernmaterialien so zu gestalten, dass sich der extrinsische CL reduziert. Wie die lernirrelevante kognitive Belastung möglichst gering gehalten werden kann, wird in den Design- und Gestaltungsempfehlungen (s. 2.1.5) näher spezifiziert.

Sweller (1994) postuliert, dass man der Präsentationsform nur dann Beachtung schenken sollte, wenn der intrinsische CL hoch ausfällt. Bei niedrigem intrinsischen CL wird die Darbietungsart als eher unbedeutend betrachtet.

Das Flussdiagramm (s. Abb. 1) liefert einen Überblick, unter welchen Bedingungen Gestaltungsprinzipien (s. Abschnitt 2.1.5) der CLT Beachtung geschenkt werden sollte (der Unterpunkt „variable Aufgaben“ wird im Kontext des Variabilitätseffektes unter Abschnitt 2.1.5 näher erörtert).

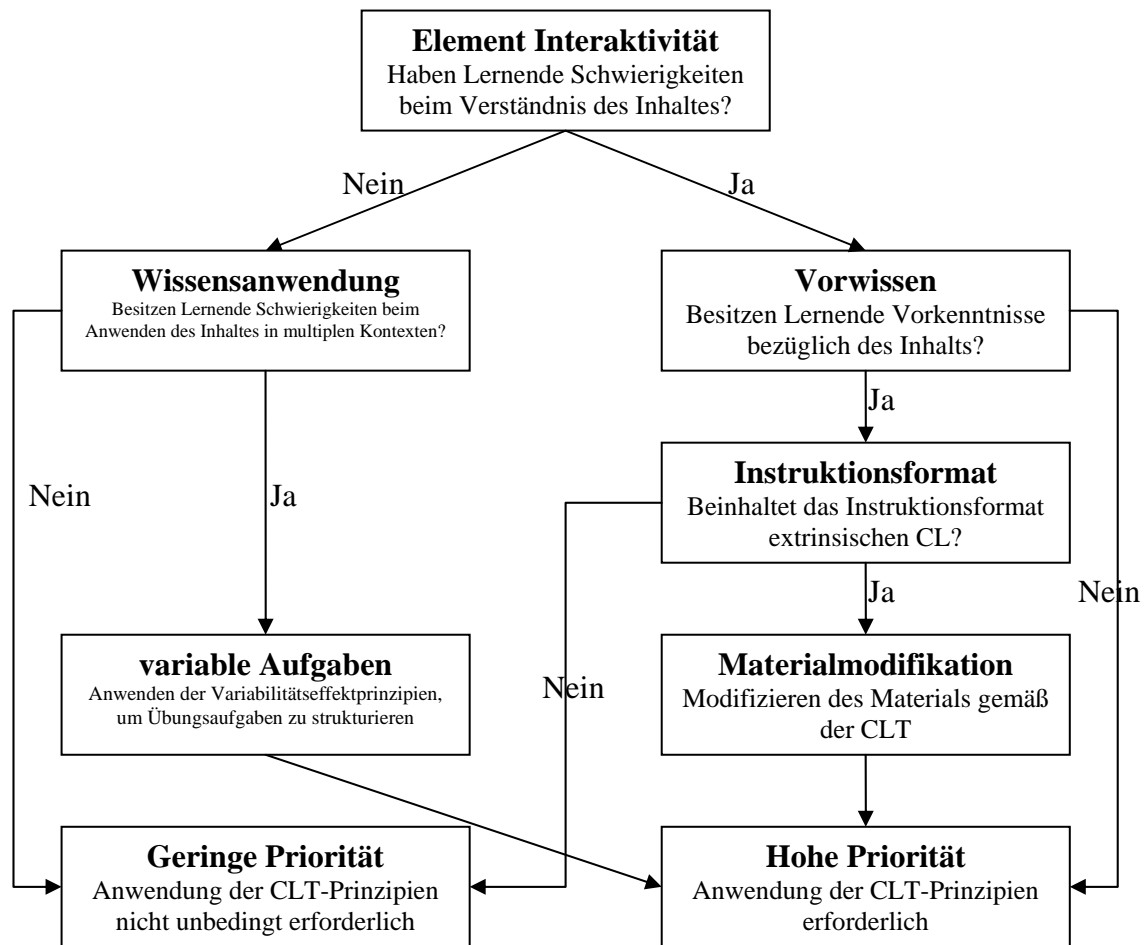


Abb. 1: Flussdiagramm zur Frage, wann die Anwendung von CLT-Prinzipien erforderlich ist (angelehnt an Tuovinen, 2000).

Germane CL

Als dritte Quelle der kognitiven Belastung bezeichnet man den sog. germane CL, auch benannt als lernbezogene oder lernrelevante kognitive Belastung (Renkl, 2004). Wie der extrinsische CL ist auch die lernbezogene kognitive Belastung von der Darbietungsart abhängig. Germane CL wird für die Konstruktion und Automatisierung von Schemata (s. Abschnitt 2.1.2) ins Langzeitgedächtnis (s. Abschnitt 2.1.1) benötigt. Grundsätzlich gilt, dass je größer die lernrelevante kognitive Belastung ist, desto besser fällt die Lern- bzw. Verständnisleistung aus. Neben dem Ziel, den extrinsischen CL so weit wie möglich zu reduzieren (siehe oben), wird durch Gestaltungsmaßnahmen versucht die lernbezogene kognitive Belastung zu erhöhen. Konkrete Maßnahmen zur Steigerung des germane CL sind den Design- und Gestaltungsempfehlungen (s. Abschnitt 2.1.5) zu entnehmen.

Ein Problem im Kontext des extrinsischen und germane CL ist die fehlende Separierbarkeit der beiden Konzepte. Bisher existieren keine empirischen Hinweise oder

Techniken, die eine Differenzierung dieser beiden Arten kognitiver Belastung erlauben (Kirschner, 2002).

Valcke (2002) hat vorgeschlagen, den sog. Meta-Cognitive Load als vierte Quelle der kognitiven Belastung in die CLT aufzunehmen. Diese Belastung entsteht durch Monitorstrategien, die zur Überwachung von kognitiven Prozessen eingesetzt werden. Beispielsweise stellen Kontrolle der Auswahl und Organisation von sensorischen Informationen in das Arbeitsgedächtnis oder Speicherung und Abruf von Schemata aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis Monitorstrategien dar. Nach Valcke (2002) ließe sich der germane CL in die Teilaspekte der Konstruktion und Speicherung von Schemata (siehe oben) und den aufgeführten Monitoraktivitäten ausdifferenzieren. Die metakognitive Kontrolle von Lernprozessen wird dabei maßgeblich durch das Ausmaß an Ambiguitätstoleranz des Lernenden beeinflusst (Stark, Mandl, Gruber & Renkl, 2002).

Der Erweiterungsvorschlag von Valcke (2002) ist bisher nicht in größerem Umfang in der CLT-Literatur aufgegriffen worden, obwohl empirische Befunde existieren, die die Annahme eines Meta-Cognitive Load nahe legen (Stark et al., 2002) oder zumindest sehr gut mit diesem Konstrukt erklärt werden können (van Bruggen, Kirschner & Jochems, 2002; van Gerven, Paas, van Merriënboer & Schmidt, 2002). Zudem ließen sich durch diese Ergänzung Konzepte zur Metakognition (z.B. Flavell & Wellman, 1977; Kuhn, 2000; Nelson & Narens, 1990) in die CLT integrieren.

Wie beim extrinsischen und germane CL auch dürfte sich die Abgrenzung des Meta-CL zu anderen kognitiven Belastungsarten auf der Messebene jedoch als schwierig erweisen.

2.1.4. Messmethoden des Cognitive Load

Neben der oben aufgeführten Aufteilung des CL in den intrinsischen, extrinsischen und germane CL (s. Abschnitt 2.1.3) kann auch eine Zweiteilung der kognitiven Belastung in eine aufgabenbasierte und eine lernerbasierte Dimension vorgenommen werden (Sweller et al., 1998).

Die aufgabenbasierte Belastung – auch als mental load bezeichnet – kommt durch die Anforderungen der Aufgabe zustande. Sie umfasst somit sowohl den intrinsischen als auch den extrinsischen CL.

Die lernerbasierte Anstrengung (mental effort) ist als Anteil an kognitiven Ressourcen definiert, der tatsächlich vom Lernenden für die Aufgabenanforderungen bereitgestellt wird und sich in der Lernleistung niederschlägt (Sweller et al., 1998).

Grundsätzlich können die drei Hauptkategorien aufgaben- bzw. leistungs-basierte, subjektive sowie physiologische Indikatoren zur Messung der kognitiven Belastung, speziell der lernerbasierten Anstrengung, voneinander unterschieden werden (Wierwille & Eggemeier, 1993). Andere in der Literatur vorgeschlagene Unterteilungen wie z.B. die Differenzierung in einen visuellen, motorischen und mentalen Workload (Roskam et al., 2002) oder die Unterscheidung zwischen direkter und indirekter Messung des Cognitive Load (z.B. Brünken et al., 2004) bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt.

Aufgaben- bzw. leistungs-basierte Indikatoren

Aufgaben- bzw. leistungs-basierte Indikatoren sind sehr häufig eingesetzte Messmethoden in der Cognitive Load Literatur (Brünken et al., 2004). Sie lassen sich nochmals in Primär- und Sekundäraufgaben unterteilen. Messungen der Primäraufgabe (primary task measurement) basieren auf Leistungen des Lernenden in der Hauptaufgabe, während bei Sekundäraufgaben (secondary task) die Leistung einer zweiten Aufgabe erhoben wird, welche zeitgleich zur Primäraufgabe bearbeitet werden muss (Brünken et al., 2004; vgl. a. die dual-task-Methode). Beide Techniken verwenden objektive Aufgabencharakteristika (z.B. Komplexität der Aufgabe) und Leistungsindikatoren (z.B. Fehler und Lernzeiten), um die kognitive Belastung zu ermitteln.

Subjektive Indikatoren

Bei den subjektiven Indikatoren geben die Lernenden selbst eine Einschätzung darüber ab, wie groß die mentale Belastung einer Aufgabe ist (Paas, van Merriënboer & Adam, 1994). Damit basiert diese Messmethode auf der Annahme, dass Personen fähig sind, eine adäquate Introspektion ihrer eigenen kognitiven Prozesse sowie ihrer kognitiven Belastung vorzunehmen. Empirische Belege, die diese Annahme stützen, finden sich in der Literatur (z.B. Gopher & Braune, 1984). Bei den Messverfahren sollte immer hinzugefügt werden, ob der Proband die Workload-Spitzen oder die durchschnittliche mentale Belastung zu bewerten hat (Verwey & Veltman, 1996). Typischerweise verwenden diese subjektiven Messverfahren Ratingskalen zur Einschätzung der kognitiven Belastung. Die Art der Skalierung (z.B. uni- vs. multidimensionale Kategorien; Existenz verbaler Bezeichnungen) scheint dabei nicht entscheidend zu sein (z.B. Birg, 1978; Hendy, Hamilton & Landry, 1993).

Als subjektive Ratingskalen sind u.a. folgende Verfahren zu nennen:

- Modified Cooper Harper Scale (MCH) von Cooper und Harper (1969)
- Modifizierte Ratingskala (basierend auf der Ratingskala von Bratfisch, Borg & Dornic, 1972) von Paas, van Merriënboer und Adam (1994)

- National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TLX) von Hart und Staveland (1988)
- Rating of the difficulty of the materials von Kalyuga, Chandler und Sweller (1999)
- Rating Scale Mental Effort (RSME) von Zijlstra und van Doorn (1985)
- Subjective Workload Assessment Technique (SWAT) von Reid und Nygren (1988)
- Subjektive Ratingskala von Bratfisch, Borg und Dornic (1972)

Physiologische Indikatoren

Physiologische Messverfahren beruhen auf der Annahme, dass Veränderungen in der kognitiven Belastung sich in physiologischen Kennwerten widerspiegeln (Sweller et al., 1998). Dabei werden Veränderungen folgender Parameter gemessen (Roskam et al., 2002; Sweller et al., 1998):

- Atmung
- Augenaktivität (z.B. Dilatation der Augen, Wimpernschläge usw.)
- Blutdruck
- Gehirnaktivität (z.B. EEG, ERP)
- Hautleitfähigkeit
- Herzrate und deren Variabilität
- Hormonhaushalt (z.B. Adrenalin, Noradrenalin, Cortisol)

Bewertung der verschiedenen Messverfahren

Die verschiedenen Verfahren zur Messung des Cognitive Load werden in der Literatur zumeist hinsichtlich ihrer Sensitivität und Diagnostizität miteinander verglichen (O'Donnell & Eggemeier, 1986; Verwey & Veltman, 1996). Sensitivität bezeichnet in diesem Zusammenhang, ob und wie gut das Messverfahren unterschiedliche Ausprägungen kognitiver Belastung voneinander unterscheiden kann. Diagnostizität bezieht sich hingegen in diesem Kontext auf das Ausmaß, ob und wie gut das Messverfahren verschiedene Arten des Workload differenzieren kann (Verwey & Veltman, 1996).

Grundsätzlich zeigt sich, dass aufgaben- und leistungsbasierte Indikatoren sowie subjektive Ratingskalen hinsichtlich der Sensitivität und Diagnostizität physiologischen Indikatoren überlegen sind (Casali & Wierwille, 1984; Hicks & Wierwille, 1979; Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003; Roskam et al., 2002; Sweller et al., 1998; Verwey & Veltman, 1996).

Physiologische Messverfahren sind wenn überhaupt nur für Messungen der kognitiven Belastung über längere Zeitintervalle geeignet, während sie Workload-Spitzen in besonders belastenden Situationen nicht präzise abbilden können (Roskam et al., 2002). Zudem ist der Aufwand bei physiologischen Messungen zum Teil deutlich größer als bei aufgaben- bzw. leistungs-basierten Indikatoren und Ratingskalen. Daher sollte auf physiologische Indikatoren bei der Erfassung des CL ganz verzichtet werden (Sweller et al., 1998).

Aber auch bei den anderen Verfahren ergeben sich Probleme bei der Messung der kognitiven Belastung. So ist die erfasste Leistung der Lernenden schon allein deshalb nicht mit dem CL gleichzusetzen, da eine höhere aufgabenbasierte Belastung (mental load) durch eine Erhöhung der lernerbasierten Anstrengung (mental effort) kompensiert werden kann (s. hierzu: kompensatorische Anstrengung; z.B. Gaillard, 1992; Hockey, 1979, 1993). Bei den subjektiven Verfahren zeigen sich mitunter Schwächen bezüglich des Kriteriums der Diagnostizität. NASA-TLX und RSME (siehe oben) schneiden bei den Ratingskalen besonders gut im Vergleich zu den anderen subjektiven Indikatoren ab (Hill et al., 1992; Verwey & Veltman, 1996).

Zusammenfassend bietet sich bei der Messung des Cognitive Load eine Kombination aus aufgaben- und leistungs-basierten Indikatoren sowie subjektiven Ratingskalen an, wobei hier insbesondere der NASA-TLX oder der RSME Anwendung finden sollte.

2.1.5. Design- & Gestaltungsempfehlungen

Im Folgenden werden 12 verschiedene Design- und Gestaltungsempfehlungen zu multimedialen Lernumgebungen aufgeführt, die sich aus der Cognitive Load Theorie ableiten lassen und in zahlreichen Untersuchungen empirisch überprüft wurden. Die Tabelle 1 bietet einen Überblick über die einzelnen Empfehlungen.

Tabelle 1: Überblick über die Gestaltungsempfehlungen der Cognitive Load Theorie.

Gestaltungsempfehlung	Beschreibung der Empfehlung
Effekt der Zielfreiheit	Einsatz zielfreier oder zielunspezifischer Problemlöseaufgaben anstelle von Aufgaben mit einem vorgegebenen, spezifischen Ziel
Effekt ausgearbeiteter Lösungsbeispiele	Präsentation ausgearbeiteter Lösungsbeispiele anstelle von konventionellen Problemlöseaufgaben
Effekt der Problemvervollständigung	Verwendung von Problemen, bei denen der Lernende die teilweise vorgegebene Lösung selbst vervollständigen muss
Effekt der geteilten Aufmerksamkeit	Physikalische Integration multipler Informationsquellen
Modalitätseffekt	Gemeinsame Verwendung visueller und auditiver Informationen
Redundanzeffekt	Vermeidung von Redundanzen in multiplen Informationsquellen
Variabilitätseffekt	Erhöhung der Variabilität in unterschiedlichen Lernübungen
Effekt der Isolation interagierender Elemente	Isolation von Lernelementen hoher Aufgabenkomplexität
Elementinteraktivitätseffekt	Moderierender Einfluss der Elementinteraktivität auf die aufgeführten Gestaltungsempfehlungen
Imaginationseffekt	Imagination bereits gelernter Arbeitsschritte bei Experten
Expertise-Umkehr-Effekt	Moderierender Einfluss des Vorwissens des Lernenden auf die aufgeführten Gestaltungsempfehlungen
Effekt der abschwächenden Unterstützung	Abschwächung der Unterstützung von Lernenden bei ansteigender Expertise

Effekt der Zielfreiheit

Der Effekt der Zielfreiheit (Goal-free effect) – im Englischen auch als no-goal effect oder reduced goal-specificity effect bezeichnet (Sweller et al., 1998) – besagt, dass zielfreie oder zielunspezifische Problemlöseaufgaben zu besseren Lernleistungen führen als Aufgaben mit einem vorgegebenen, spezifischen Ziel (Sweller, 2004).

Begründet wird der Effekt mit der lernerirrelevanten, kognitiven Überlastung, die sich aufgrund der Berücksichtigung des aktuellen Problemzustandes, des Zielzustandes und der Differenz zwischen diesen beiden Zuständen ergeben kann. Im Gegensatz dazu reduzieren zielfreie oder zielunspezifische Problemlöseaufgaben den extrinsischen CL (s. Abschnitt 2.1.3), da hier vom Lernenden nur noch der Ausgangszustand berücksichtigt werden muss. Folglich stehen mehr kognitive Ressourcen für Erwerb und Automatisierung von Schemata (s. Abschnitt 2.1.2) zur Verfügung (Sweller et al., 1998). Der Effekt der Zielfreiheit gilt in der Literatur als gut dokumentiert (Ayres, 1993; Ayres & Sweller, 1990; Bobis, Sweller & Cooper, 1994; Burns & Vollmeyer, 2002; Geddes & Stevenson, 1997; Miller, C., Lehman & Koedinger, 1999; Owen & Sweller, 1985; Paas, Camp & Rikers, 2001; Sweller, 1988; Sweller & Levine, 1982; Sweller, Mawer & Ward, 1983; Tarmizi & Sweller, 1988; Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996).

Trotz der vielfachen empirischen Bestätigung des Effekts der Zielfreiheit widerspricht dieser den Befunden aus der Zielsetzungstheorie von Locke und Latham (1990) diametral (vgl. a. Kleinbeck, 1996; Nerdinger, 1995). Diese postuliert, dass das Setzen von Zielen zu besseren Leistungen führe und zwar umso stärker, je höher und spezifischer die Ziele seien. Voraussetzung hierfür sei, dass die Ziele vom Lernenden auch akzeptiert würden (z.B. Semmer & Udris, 2004). Der offensichtliche Widerspruch zu den Vorhersagen der Cognitive Load Theorie liegt vermutlich darin begründet, dass sich die beiden Theorien auf unterschiedliche Prozesse beziehen. Während die Zielsetzungstheorie motivationale Faktoren behandelt, werden in der Cognitive Load Theorie kognitive Prozesse innerhalb des Arbeitsgedächtnisses erörtert.

Effekt ausgearbeiteter Lösungsbeispiele

Der Effekt ausgearbeiteter Lösungsbeispiele (worked example effect) behauptet, dass das Lernen mit solchen Beispielen zu besseren Leistungen führt als das Lernen mit konventionellen Problemlöseaufgaben (Renkl, 2005).

Ausgearbeitete Lösungsbeispiele bestehen aus einer Formulierung der Problemstellung, Lösungsschritten sowie der finalen Antwort. Durch die Fokussierung auf Problemstellung und Lösungsschritte bei der Bearbeitung der Aufgabe soll es dem Lernenden ermöglicht werden verstärkt generalisierte Lösungen oder Schemata auszubilden. Die lernerirrelevante, kognitive Belastung (s. Abschnitt 2.1.3) fällt bei ausgearbeiteten Lösungsbeispielen gering aus (Sweller et al., 1998).

Genau umgekehrt verhält es sich bei konventionellen Problemlöseaufgaben. Hier führt die durchgeführte Mittel-Ziel Analyse zu einer hohen extrinsischen kognitiven Belastung. Der Grund dafür liegt darin, dass der Lernende sich den aktuellen Problemzustand, den Zielzustand, die Ist-Soll Diskrepanz als Gegenüberstellung von Ausgangsproblem und Ziel, Operatoren, die diese Diskrepanz reduzieren, sowie Subziele permanent vergegenwärtigen muss. Die dadurch entstehende kognitive Belastung reduziert in der Folge den Spielraum für den germane load (s. Abschnitt 2.1.3) und verhindert somit ein tieferes Verständnis des Lernstoffes (Renkl, 2005; Renkl, Gruber, Weber, Lerche & Schweizer, 2003).

Abb. 2 stellt ein Beispiel eines ausgearbeiteten Lösungsbeispiels dar. Im Gegensatz dazu würde man dem Lernenden bei einer konventionellen Problemlöseaufgabe lediglich die Problemstellung vorgeben.

Problemstellung:

Sie haben zwei Experimente durchgeführt, die beide signifikante Effekte ($p = 0.04$ und $p = 0.03$) erbracht haben. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass genau eine der beiden Untersuchungen fälschlicherweise die Nullhypothese ablehnt?

Lösungsschritte:

1. Wahrscheinlichkeit berechnen, dass Experiment 1 fälschlicherweise die Nullhypothese ablehnt ($p = 0.04$) und Experiment 2 nicht ($p = 0.97$):

$$0.04 \cdot 0.97 = 0.0388$$

2. Wahrscheinlichkeit berechnen, dass Experiment 2 fälschlicherweise die Nullhypothese ablehnt ($p = 0.03$) und Experiment 1 nicht ($p = 0.96$):

$$0.03 \cdot 0.96 = 0.0288$$

3. Wahrscheinlichkeiten addieren: $0.0388 + 0.0288 = 0.0676$

Antwort:

Die Wahrscheinlichkeit beträgt $p = 0.0676$.

Abb. 2: Beispiel eines ausgearbeiteten Lösungsbeispiels zum Thema Wahrscheinlichkeiten.

Das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen – gelegentlich im Englischen auch als example based learning bezeichnet – hat sich im Vergleich zum Lernen mit konventionellen Problemlöseaufgaben in zahlreichen Untersuchungen als lernwirksamer herausgestellt (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000; Carroll, W., 1994; Cooper, G. & Sweller, 1987;

Mayer, Sims & Tajika, 1995; Miller, C. et al., 1999; Paas, 1992; Paas & van Merriënboer, 1994; Pillay, 1994; Quilici & Mayer, 1996; Sweller & Cooper, 1985; Trafton & Reiser, 1993; Zhu & Simon, 1987). Zudem werden ausgearbeitete Lösungsbeispiele auch von den Lernenden selbst präferiert (LeFevre & Dixon, 1986; Recker & Pirolli, 1995) und als primäres und natürliches Lernmaterial angesehen (Lieberman, 1986; Pirolli, 1991; Segal & Ahmad, 1993).

Trotz der mannigfaltigen stützenden Belege für die Lernförderlichkeit von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen wird darauf hingewiesen, dass diese die Lernleistung nur dann positiv beeinflussen, wenn folgende Gestaltungsempfehlungen beachtet werden, die den Effekt moderieren (Renkl, 2005):

- Unterstützung von selbständig erarbeiteten Erklärungen zu den Lösungsbeispielen durch Trainingsmaßnahmen oder durch Bedienerhinweise
- Bereitstellung eines gut gestalteten Hilfesystems zu den ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, um eigenständige Erklärungsaktivitäten zu fördern
- Entsprechende Gestaltung der Lösungsbeispiele, um selbständig erarbeitete Erklärungen zu erleichtern. Dies kann durch folgende Maßnahme erreicht werden:
 - Prinzip der Zuordnungserleichterung (Easy-mapping guideline): Erleichterung der Zuordnung zwischen verschiedenen Repräsentationen durch Ausnutzung des Effektes der geteilten Aufmerksamkeit oder des Modalitätseffektes (siehe unten)
 - Prinzip der Betonung von Strukturmerkmalen (Structure-emphasizing guideline): Betonung von gemeinsamen Strukturmerkmalen zwischen verschiedenen Lösungsbeispielen und Abgrenzung zu irrelevanten Oberflächenmerkmalen von Problemlöseaufgaben sowie explizite Instruktion, auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei den ausgearbeiteten Lösungsbeispielen zu achten (vgl. Variabilitätseffekt, siehe unten)
 - Prinzip des Aufbaus von zentralen „Wissensbausteinen“ (Meaningful building-blocks guideline): Einbezug modularer Lösungsprozeduren und Akzentuierung von einzelnen Subzielen, um dem Lernenden die Identifikation von bedeutsamen Elementen innerhalb eines Lösungsansatzes zu erleichtern und ihm zu helfen, diese „Blöcke“ bei der Lösung neuer Probleme neu zusammenzustellen und einzusetzen

(Catrambone, 1994; Gerjets, Scheiter & Catrambone, 2003, 2004; Gerjets, Scheiter & Kleinbeck, 2004)

Effekt der Problemvervollständigung

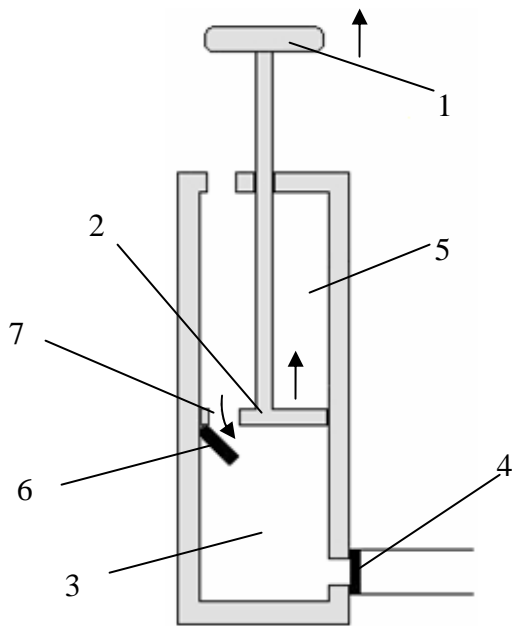
Ein Hauptproblem bei ausgearbeiteten Lösungsbeispielen (siehe oben) besteht darin, dass diese durch den Lernenden oftmals nicht sorgfältig studiert, sondern nur kurzfristig überflogen werden (Sweller et al., 1998). Als Alternative zu diesen Lösungsbeispielen schlagen deshalb van Merriënboer & Krammer (1987, 1990) vor, so genannte Vervollständigungsprobleme zu verwenden. Hierbei handelt es sich um Probleme, die einen Ist- und einen Soll-Zustand beinhalten, wobei von den Lernenden die teilweise vorgegebene Lösung zu vervollständigen ist. Somit schlagen sie eine Brücke zwischen den ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, die vollständige Lösungen beinhalten (siehe oben) und konventionellen Problemlöseaufgaben, die mit keinerlei Lösungsangaben ausgestattet sind.

Empirisch zeigt sich, dass Vervollständigungsprobleme die Stärken von Lösungsbeispielen und konventionellen Aufgaben vereinigen und somit eine höhere Lernförderlichkeit aufweisen können (Paas, 1992; Paas & van Merriënboer, 1994; van Merriënboer, 1990; van Merriënboer & De Croock, 1992; van Merriënboer & Krammer, 1987, 1990; van Merriënboer, Schuurman, De Croock & Paas, 2002).

Bei der Vervollständigungsstrategie werden zunächst ausgearbeitete Lösungsbeispiele vorgegeben. Nach und nach arbeitet der Lernende an immer mehr Vervollständigungsproblemen, bis schließlich konventionelle Problemlöseaufgaben präsentiert werden können, ohne dass diese zu einer kognitiven Überlastung des Lernenden führen (van Merriënboer & Kester, 2005). Die Vervollständigungsstrategie ist mit dem Effekt der abschwächenden Unterstützung gleichzusetzen (siehe unten) und wird an späterer Stelle noch detailliert besprochen.

Effekt der geteilten Aufmerksamkeit

Der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit (auch im Deutschen zumeist als Split-Attention Effekt bezeichnet) besagt, dass die Trennung von aufeinander bezogenen Informationsquellen (z.B. Text und Bild) eine mentale Integration erforderlich macht und somit zur Erhöhung des extrinsischen Cognitive Load führt (Sweller & Chandler, 1994). Dadurch reduziert sich die lernrelevante, kognitive Belastung und führt in der Folge zu einer Minderung der Lernleistung. Um diesen negativen Effekt zu verhindern, sollten multiple Informationsquellen physikalisch integriert werden, z.B. durch Beschriftungen in unmittelbarer Nähe zu relevanten Bildelementen (s. Abb. 3 u. Abb. 4).



- 1 Der Griff wird nach oben gezogen.
- 2 Der Kolben bewegt sich nach oben.
- 3 In diesem Bereich der Luftpumpe herrscht Unterdruck.
- 4 Das Auslassventil ist zu.
- 5 In diesem Bereich der Luftpumpe herrscht Überdruck.
- 6 Das Einlassventil ist offen.
- 7 Luft gelangt vom oberen in den unteren Bereich der Luftpumpe.

Abb. 3: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Luftpumpe. Visualisierung mit dem Effekt geteilter Aufmerksamkeit (angelehnt an Renkl, 2004).

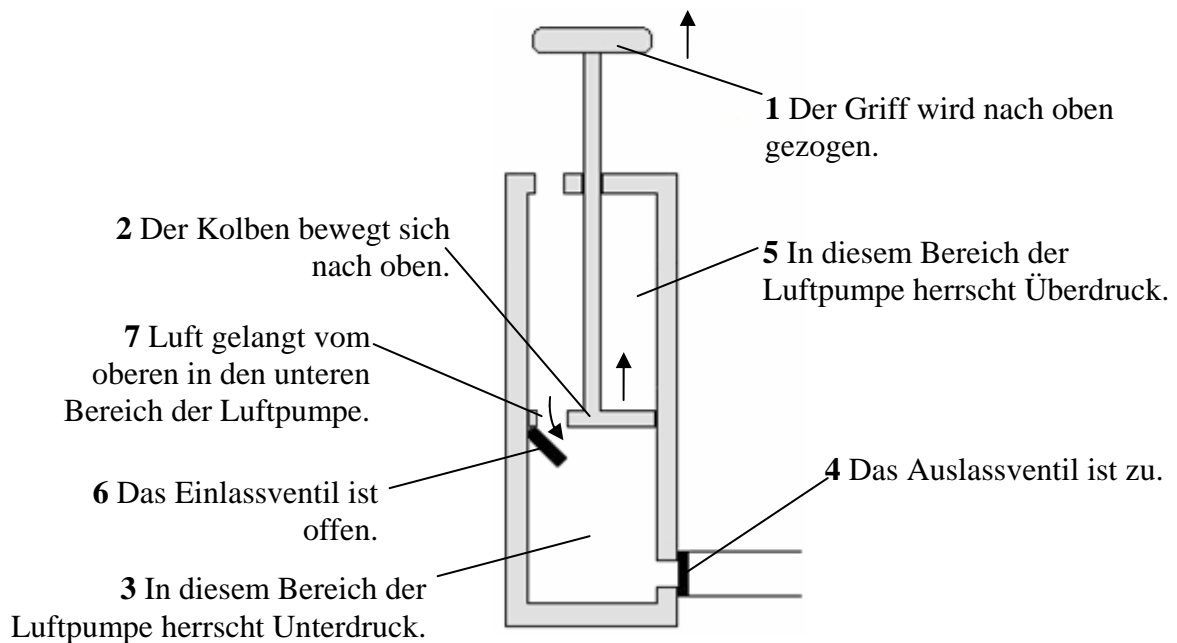


Abb. 4: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Luftpumpe. Visualisierung ohne den Effekt geteilter Aufmerksamkeit (angelehnt an Renkl, 2004).

Der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit wurde ursprünglich nur für ausgearbeitete Lösungsbeispiele postuliert (Sweller, 2004), er kann jedoch für zahlreiche Instruktionsmaterialien empirisch nachgewiesen werden (Bobis, Sweller & Cooper, 1993; Brünken & Leutner, 2001; Cerpa, Chandler & Sweller, 1996; Chandler & Sweller, 1991, 1992, 1996; Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Moreno, 1998b; Mayer, Steinhoff,

Bower & Mars, 1995; Moreno & Mayer, 1999a, 2002; Mwangi & Sweller, 1998; Purnell, Solman & Sweller, 1991; Sweller & Chandler, 1994; Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990; Tarmizi & Sweller, 1988; Ward & Sweller, 1990).

Lediglich in einer Untersuchung von Craig, Gholson und Driscoll (2002) zu computergenerierten, animierten Charakteren, die das Lernen in multimedialen Lernumgebungen erleichtern sollen, lässt sich der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit nicht nachweisen.

Modalitätseffekt

Als Modalitätseffekt bezeichnet man die lernförderliche Wirkung, die durch die gemeinsame Nutzung des visuellen und akustischen Teils des Arbeitsgedächtnisses (s. Abschnitt 2.1.1) entsteht (Sweller et al., 1998). Beispielsweise verbessert sich das Lernen mit einem Diagramm dann, wenn dieses zusammen mit einem Audiokommentar anstelle einer schriftlichen Legende präsentiert wird. Interessanterweise wurde dieser Effekt bereits im Jahr 1955 postuliert und – ähnlich wie in der CLT – mit der verminderten kognitiven Belastung für den Lernenden begründet (Laner, 1955).

Der Modalitätseffekt tritt nur unter Split-Attention-Bedingungen auf. Das bedeutet, dass bei physikalischer Integration multipler Informationsquellen (siehe oben) die Darbietung in verschiedenen Modalitäten keinen Lernvorteil mit sich bringt (Low & Sweller, 2005).

Auch der Modalitätseffekt wird durch eine Vielzahl empirischer Befunde bestätigt (Brünken & Leutner, 2001; Brünken et al., 2004; Brünken, Steinbacher, Plass & Leutner, 2002; Craig et al., 2002; Jeung, Chandler & Sweller, 1997; Kalyuga et al., 1999, 2000; Leahy, Chandler & Sweller, 2003; Mayer, Dow et al., 2003; Mayer & Moreno, 1998b; Moreno & Mayer, 1999a, 2002; Moreno, Mayer & Lester, 2000; Moreno et al., 2001; Mousavi, Low & Sweller, 1995; O'Neil et al., 2000; Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 1997) sowie durch zahlreiche weitere stützende Belege aus Untersuchungen vor 1989, die im Überblicksartikel von Penney (1989) zusammenfassend dargestellt werden.

Trotz dieser zahlreichen Belege wird auch Kritik am Modalitätseffekt geäußert (Guan, 2002). Mit Hilfe der revidierten Fassung des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (2000) argumentiert Guan (2002), dass der Modalitätseffekt sich nur bei Lernmaterial mittlerer Aufgabenkomplexität einstellt. Diese – mit Hilfe der zentralen Exekutive und dem episodischen Speicher (Baddeley, 2000) theoretisch begründete – Behauptung kann experimentell mit Hilfe von Blickbewegungen zumindest der Tendenz nach nachgewiesen werden. Des Weiteren bieten sowohl Rummer (2007) als auch Fürstenberg (2007)

Alternativerklärungen zu der üblicherweise angenommenen Überlastung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses als Ursache für den Modalitätseffekt an.

Redundanzeffekt

Der Redundanzeffekt beschreibt eine lernbeeinträchtigende Bedingung, die durch Redundanzen in multiplen Informationsquellen zustande kommt (Sweller, 2005b). Diese – jeweils für sich genommen bereits verständlichen – mehrfach vorhandenen Informationen führen beim Lernenden zu Interferenzen, erhöhen damit den extrinsischen Cognitive Load und behindern in der Folge den Wissenserwerb. Ob und welche Teile von Instruktionmaterialien Redundanzen aufweisen, ist kontextabhängig (vgl. a. den Expertise reversal effect, siehe unten).

Um dem Effekt zu begegnen, sollten redundante Informationselemente physikalisch voneinander getrennt werden (vgl. i. G. dazu den Effekt der geteilten Aufmerksamkeit). Noch günstiger fällt die Lernleistung aus, wenn auf überflüssige Informationen ganz verzichtet wird.

Der relativ contraintuitive Effekt wurde bereits 1937 von Miller entdeckt, jedoch von ihm noch nicht als Redundanzeffekt bezeichnet. Miller verglich die Behaltensleistung junger Kinder beim Lesen eines Wortes mit den Leistungen beim Lesen zusammen mit der Präsentation des dazugehörigen Bildes (Miller, W., 1937). Die redundanten Bildinformationen verschlechterten dabei die Behaltensleistungen der Kinder (vgl. i. G. dazu den Bildüberlegenheitseffekt: Carney & Levin, 2002; Levie & Lentz, 1982; Levin, Anglin & Carney, 1987). Mittlerweile existiert eine Vielzahl an empirischen Belegen zum Redundanzeffekt (Bobis et al., 1993; Carroll, J. M., 1990; Carroll, J. M., Smith-Kerker, Ford & Mazur-Rimetz, 1987; Cerpa et al., 1996; Chandler & Sweller, 1991, 1996; Craig et al., 2002; Kalyuga et al., 1999, 2000; Lazonder & van der Meij, 1993; Lesh, Landau & Hamilton, 1983; Mayer, Bove, Bryman, Mars & Tapangco, 1996; Mayer et al., 2001; McNamara, Kintsch, Songer & Kintsch, 1996; Reder & Anderson, 1980, 1982; Saunders & Solman, 1984; Schooler & Engstler-Schooler, 1990; Solman, Singh & Kehoe, 1992; Sweller & Chandler, 1994; Yeung, Jin & Sweller, 1998). Neben dieser eindrucklichen Anzahl an stützenden Befunden finden sich vereinzelt auch Ergebnisse, die den Redundanzeffekt nicht bestätigen können oder ihn unmittelbar in Frage stellen (Dowling, Tickle, Stark, Rowe & Godat, 2005; Moreno & Mayer, 2002a, 2002b).

Variabilitätseffekt

Der Variabilitätseffekt besagt, dass eine erhöhte Variabilität in unterschiedlichen Lernübungen zu besseren Transferleistungen führt (Sweller et al., 1998). Begründet wird dieser Effekt mit der Überlegung, dass eine vergrößerte Variabilität die Wahrscheinlichkeit erhöht, ähnliche Merkmale in unterschiedlichen Problemsituationen zu entdecken und diese von irrelevanten Charakteristika zu unterscheiden. Hierdurch soll der Erwerb von Schemata durch den Lernenden gefördert werden (s. Abschnitt 2.1.2). Paas und van Merriënboer (1994) können jedoch zeigen, dass die damit verbundene Erhöhung der lernrelevanten kognitiven Belastung (s. Abschnitt 2.1.3) nur dann von Vorteil ist, wenn der extrinsische Cognitive Load gering ausfällt. Ist dies nicht der Fall, so können die Lernenden leicht kognitiv überlastet werden.

Idealerweise variieren die Lernaufgaben in allen Dimensionen, die auch außerhalb des Lernkontextes einer Veränderung unterliegen. So können beispielsweise in der Lernphase unterschiedliche Rahmenbedingungen dargeboten werden oder die Art und Weise der Aufgabendarbietung erfährt eine Modifikation. Empirische Befunde deuten darauf hin, dass nicht jede Teilübung vollständig variiert werden muss, sondern es bereits dann zu einem optimalen Wissenstransfer kommen kann, wenn die Variabilität über das gesamte Trainingsprogramm hinweg hinreichend groß ausfällt (Gerjets, Scheiter & Catrambone, 2004). Auch der Variabilitätseffekt gilt in der Literatur als gut dokumentiert (Cormier & Hagman, 1987; De Croock, van Merriënboer & Paas, 1998; Jelsma & Bijlstra, 1988; Jelsma & van Merriënboer, 1989; Jelsma, van Merriënboer & Bijlstra, 1990; McKeough, Marini & Lupart, 1995; Paas & van Merriënboer, 1994; Quilici & Mayer, 1996; Singley & Anderson, 1989; van Merriënboer et al., 2002).

Effekt der Isolation interagierender Elemente

Der Effekt der Isolation interagierender Elemente bezeichnet den lernförderlichen Effekt, der durch Isolation von Lernelementen hoher Aufgabenkomplexität zustande kommt (Sweller, 2004). Erklärt wird der Effekt dadurch, dass komplexe Lernmaterialien mit hoher Elementinteraktivität (s. Abschnitt 2.1.3) das Arbeitsgedächtnis des Lernenden überfordern können. Um dies zu verhindern sollten derartige Materialien zunächst in isolierter Form dargeboten werden, um eine serielle anstelle einer simultanen und damit überfordernden Verarbeitung zu ermöglichen (vgl. dazu das Segmentierungsprinzip im Abschnitt 2.2.5). Zudem wird hierdurch der Aufbau von basalen Schemata gefördert (vgl. Abschnitt 2.1.2). Die einzelnen Teilelemente werden dann in einem zweiten Schritt sukzessive integriert.

Somit wird dem Lernenden das komplexe Zusammenspiel dieser Elemente aufgezeigt (Kalyuga, 2005).

Bisherige empirische Untersuchungen bestätigen den postulierten Effekt (Mayer & Chandler, 2001; Pollock, Chandler & Sweller, 2002). Dieser Effekt scheint nur bei Novizen aufzutreten, während Experten mit komplexen Lernkonzepten auch ohne Isolation der einzelnen Elemente zu Recht kommen. Vermutlich besitzen Experten schon über die für das Verständnis notwendigen Schemata, die ihnen den Umgang bei der Verarbeitung der Aufgaben erleichtern.

Elementinteraktivitätseffekt

Beim Elementinteraktivitätseffekt wird näher spezifiziert, unter welchen Bedingungen drei Gestaltungsempfehlungen der CLT, nämlich der Split-Attention-, der Modalitäts- und der Redundanzeffekt, wirksam sind (Sweller, 2002). Bei niedriger Aufgabenkomplexität bringen die drei Effekte kaum Lernvorteile mit sich, während bei einer hohen intrinsischen, kognitiven Belastung, also bei Aufgaben mit hoher Elementinteraktivität (s. Abschnitt 2.1.3), sich deren Wirkung besonders deutlich entfaltet.

Empirisch wird der moderierende Einfluss der Elementinteraktivität bezüglich des Effektes der geteilten Aufmerksamkeit und des Redundanzeffektes durch die Befunde von Sweller und Chandler (1994) sowie Chandler und Sweller (1996) belegt. Auch der Modalitätseffekt tritt nur bei hoher Elementinteraktivität in Erscheinung (Marcus, Cooper & Sweller, 1996; Tindall-Ford et al., 1997).

Dieser Interaktionseffekt zwischen den drei erwähnten Gestaltungsprinzipien und der Aufgabenkomplexität ist mutmaßlich auch bei weiteren Designempfehlungen der CLT gültig, wobei die empirische Absicherung zum Teil noch aussteht (Sweller, 2004), zum Teil wie für den noch folgenden Imaginationseffekt und den Expertise-Umkehr-Effekt aber auch schon erbracht werden konnte (z.B. Leahy & Sweller, 2005).

Imaginationseffekt

Der Imaginationseffekt bezeichnet die lernförderliche Wirkung, die sich durch Imagination bereits gelernter Arbeitsschritte ergibt (Sweller, 2002). Der Lernende durchläuft das erworbene Verfahren dabei mental bzw. visualisiert die zuvor einstudierte Vorgehensweise im Arbeitsgedächtnis.

Im Unterschied zum Effekt der Isolation interagierender Elemente, der lediglich bei Novizen in Erscheinung tritt (siehe oben), zeigt sich der Imaginationseffekt nur bei Experten, die bereits über Schemata zum jeweiligen Lerngegenstand verfügen. Durch die mentale

Verbildlichung kommt es bei Experten zur Automatisierung (s. Abschnitt 2.1.2) der vorhandenen Schemata. Bei Novizen stellt sich durch Imagination der Instruktionsmaterialien eher ein gegenteiliger Effekt ein (vgl. Expertise-Umkehr-Effekt, siehe unten).

Auch der Imaginationseffekt erfährt experimentelle Stützung (Cooper, G., Tindall-Ford, Chandler & Sweller, 2001; Ginns, Chandler & Sweller, 2003; Leahy & Sweller, 2005).

Expertise-Umkehr-Effekt

Während der element interactivity effect das Instruktionsmaterial (niedrige vs. hohe Elementinteraktivität, s. Abschnitt 2.1.3) als Moderatorvariable bezüglich der Gestaltungsempfehlungen einbezieht, wird beim Expertise-Umkehr-Effekt der moderierende Einfluss von Eigenschaften des Lernenden beachtet (Sweller, 2004). Genauer gesagt wird das Vorwissen von Lernenden im Hinblick auf die aufgeführten Gestaltungsempfehlungen berücksichtigt (vgl. auch Forschungsbefunde zur sog. "aptitude-treatment interaction": Cronbach & Snow, 1977; Lohmann, 1986; Mayer, Stiehl & Greeno, 1975; Snow & Lohmann, 1984). Spricht man in diesem Zusammenhang vom Expertise-Umkehr-Effekt, so ist damit gemeint, dass sich die relative Effektivität verschiedener Instruktionsformate in Abhängigkeit des Vorwissens umkehrt (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Dabei kehrt sich der Effekt – neuerdings als Vorwissensprinzip bezeichnet – nicht gänzlich um, sondern nimmt zumeist nur eine schwächere Form an (Kalyuga, 2005).

Beim Variabilitäts- und Imaginationseffekt finden sich positive Auswirkungen auf die Lernleistung, sofern es sich um Lernende mit hohem Vorwissen handelt (vgl. die oben aufgeführten Effekte). Bei Novizen kann die erhöhte Variabilität in unterschiedlichen Lernübungen (Variabilitätseffekt) und Imagination bereits gelernter Arbeitsschritte (Imaginationseffekt) hingegen zu einer kognitiven Überlastung führen und somit die Leistung beeinträchtigen. Ähnlich verhält es sich beim Redundanzeffekt. Informationen können für Experten bereits redundant sein und sich damit lernhinderlich auswirken, während Lernende mit niedrigem Vorwissen auf diese Informationen noch angewiesen sind.

Die meisten anderen oben aufgeführten Effekte wirken sich vornehmlich positiv bei Novizen aus, während sie auf Experten einen geringen, keinen oder bisweilen sogar negativen Effekt aufweisen (Low & Sweller, 2005). Dies liegt vornehmlich daran, dass mit steigender Expertise viele Informationen (z.B. zusätzliche Lösungsbeispiele) für den Lernenden immer mehr Redundanzen (Redundanzeffekt, siehe oben) aufweisen und somit die Lernleistung reduzieren (Sweller, 2005b).

Der Expertise-Umkehr-Effekt wird durch eine Vielzahl empirischer Befunde gestützt (Cooper, G. et al., 2001; Kalyuga, Chandler & Sweller, 1998; Kalyuga et al., 2000; Kalyuga, Chandler & Sweller, 2001; Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001; Leahy & Sweller, 2005; Lee, H., Plass & Homer, 2006; Mayer & Gallini, 1990; Mayer, Steinhoff et al., 1995; McNamara et al., 1996; Pollock et al., 2002; Tuovinen & Sweller, 1999; Yeung et al., 1998).

Effekt der abschwächenden Unterstützung

Beim Effekt der abschwächenden Unterstützung wird der Zusammenhang zwischen ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, dem Effekt der Problemvervollständigung und dem Expertise-Umkehr-Effekt (siehe oben) näher spezifiziert (Sweller, 2004). Es wird angenommen, dass sich mit steigender Expertise der positive Effekt von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen abschwächt und diese daher durch unvollständige Lösungsbeispiele ersetzt werden können. Unvollständige Lösungsbeispiele fördern zugleich den Effekt der Problemvervollständigung. Steigt das Vorwissen der Lernenden weiter an, so können die unvollständigen Beispiele auch durch die Präsentation vollständiger Probleme ersetzt werden, um den Effekt der Problemvervollständigung in vollem Umfang auszuschöpfen.

Der Effekt, der zahlreiche Ähnlichkeiten mit dem Expertise-Umkehr-Effekt besitzt und mit der Vervollständigungsstrategie gleichzusetzen ist, wird ebenfalls in verschiedenen Untersuchungen bestätigt (Kalyuga, Chandler & Sweller, 2001; Kalyuga, Chandler, Tuovinen et al., 2001; Renkl, 1997; Renkl, Atkinson, Maier & Staley, 2002; Renkl & Atkinson, 2003; Renkl, Atkinson & Grosse, 2004; Renkl, Atkinson & Maier, 2000; Tuovinen & Sweller, 1999).

2.1.6. Fazit

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Cognitive Load Theorie mit ihren Gestaltungsempfehlungen in vielerlei Hinsicht einen „Less is more“-Ansatz vertritt (vgl. a. Dwyer, 1972). Dieser „Weniger ist mehr“-Gedanke bezieht sich auf die Gestaltung von Lernmaterialien, bei der alle unnötigen Gestaltungsmaßnahmen vermieden werden und stattdessen ausschließlich die Konstruktion und Automatisierung von Schemata (s. Abschnitt 2.1.2) im Vordergrund stehen sollte. Zudem präferiert die CLT auch ein relativ direktives Vorgehen bei der Vermittlung von Wissen, was Konzepten wie dem „entdeckenden Lernen“ (discovery learning, z.B. Baldwin, 1998; de Jong & van Joolingen, 1998) oder der „erfahrungsorientierten Erziehung“ (experiential education, z.B. Dewey, 1938; Kraft & Sakofs, 1989) unmittelbar entgegensteht.

Sowohl der „Less is more“-Ansatz als auch das relativ direktive Vorgehen bei der Wissensvermittlung liefern Anlass zur Kritik, da derartig ausgearbeitete Lernmaterialien hinsichtlich motivationaler Prozesse ggf. unzureichend gestaltet sind (siehe auch Effekt der Zielfreiheit unter Abschnitt 2.1.5) und hierdurch die Lernleistung beeinträchtigen können (vgl. Brünken et al., 2004).

Trotz dieser Kritik kann die Cognitive Load Theorie als theoretisch elaboriert bewertet werden. Sie trifft zahlreiche contraintuitive Prognosen zum Lernen in multimedialen Lernumgebungen und kann verschiedene differentielle Effekte zwischen Experten und Novizen vorhersagen und theoretisch erklären. Die postulierten Gestaltungsempfehlungen sind durch zahlreiche empirische Befunde abgesichert, wobei sich einzelne abgeleitete Hypothesen aber nicht bestätigen lassen (s. Abschnitt 2.1.5).

2.2. Kognitive Theorie multimedialen Lernens

Die kognitive Theorie multimedialen Lernens (Cognitive theory of multimedia learning, kurz CTML) von Richard E. Mayer und seinen Mitarbeitern an der Santa Barbara Universität von Kalifornien stellt neben der CLT eine weitere zentrale Theorie zum multimedialen Lernen dar. Sie wurde seit 1989 unter diversen Namen publiziert (vgl. Mayer, 2005a) und immer weiter elaboriert, wobei die aktuelle Bezeichnung der Theorie (CTML) erstmals im Jahr 1996 verwendet wurde. Wie auch bei der CLT existieren mittlerweile zahlreiche Überblicksartikel über die CTML (Mayer, 1999, 2003, 2005; Mayer & Moreno, 1998a, 2002, 2003; Moreno & Mayer, 2000c; Muthukumar, 2005; Robinson, 2004).

Nachfolgend werden zunächst die drei zentralen Grundannahmen der CTML aufgeführt (s. Abschnitt 2.2.1). Im Anschluss werden die relevanten kognitiven Strukturen (s. 2.2.2) und Prozesse (s. 2.2.3) beim Lernen mit Multimedia betrachtet sowie deren Repräsentationsformen (s. 2.2.4). Die theoretische Erörterung und Darstellung der empirischen Befundlage der aus der CTML abgeleiteten Design- und Gestaltungsprinzipien (s. 2.2.5) bildet einen Schwerpunkt des Kapitels. Abschließend folgt ein bewertendes Fazit zur kognitiven Theorie multimedialen Lernens (s. 2.2.6).

Aufgrund der großen Ähnlichkeiten der CTML mit dem integrativen Modell des Text- und Bildverständnisses von Schnotz (2005) soll diese Theorie nicht separat erörtert werden. Die wenigen Unterschiede werden an den entsprechenden Stellen aufgeführt.

2.2.1. Grundannahmen

Die CTML beinhaltet drei zugrunde liegende Annahmen über die menschliche Informationsverarbeitung, die nachfolgend erörtert werden.

Zwei Kanäle im Informationsverarbeitungssystem

Die erste Annahme der CTML betrifft die Verarbeitung von Informationen mittels zweier verschiedener Kanäle. Ein Kanal steht für visuell/bildhaft präsentiertes Informationsmaterial zur Verfügung, der andere für auditiv/verbale Materialien (Robinson, 2004). Mit dieser Zweiteilung der Informationsverarbeitung greift die CTML unmittelbar auf die Duale Kodierungstheorie von Paivio (z.B. Clark, J. M. & Paivio, 1991; Paivio, 1986) und eine frühere Version des Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (z.B. Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974) zurück. Auch die Unterteilung von Schnotz (2005) in deskriptive und depiktionale Repräsentationen entspricht in etwa dieser Differenzierung, wobei die Zweiteilung bei Schnotz wesentlich detaillierter erörtert wird.

Zur näheren Konzeptualisierung der zwei Kanäle kann man eine Unterscheidung zwischen dem Präsentationsmodus und der sensorischen Modalität vornehmen (Mayer, 2005a). Der Präsentationsmodus bezieht sich auf den Stimulus, der verbal (z.B. gesprochene oder gedruckte Sätze) oder nonverbal (z.B. Bilder, Animationen oder Hintergrundmusik) dargeboten werden kann. Diese Konzeptualisierung entspricht in wesentlichen der Zweiteilung von Paivio (1986).

Im Unterschied dazu betrifft die sensorische Modalität die Frage, wie das präsentierte Lernmaterial durch den Lernenden aufgenommen und im Arbeitsgedächtnis repräsentiert wird. Dabei sind vornehmlich das visuelle (z.B. für Bilder, Animationen oder gedruckte Wörter) und auditive System (z.B. für gesprochene Wörter oder Hintergrundmusik) zu nennen. Diese Zweiteilung liegt dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1992) zugrunde.

In der CTML wird auf eine Entscheidung zugunsten einer der beiden skizzierten Konzeptualisierungsmöglichkeiten der zwei Kanäle verzichtet. Zu beachten ist außerdem, dass Lernende die Möglichkeit besitzen, die in einem Kanal generierte Repräsentation zur Weiterverarbeitung in den jeweils anderen Kanal zu konvertieren. So kann eine gesprochen dargebotene Beschreibung eines Sachverhaltes vom Lernenden in ein mentales Bild transformiert werden (Mayer, 2005a).

Ziel bei der Gestaltung von Lernmaterialien ist es, nach Möglichkeit beide Kanäle bei der Verarbeitung von Informationen zu aktivieren (vgl. a. den Modalitätseffekt unter Abschnitt 2.1.5).

Begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses

Die zweite Annahme der CTML bezieht sich auf die begrenzte Kapazität an Informationen, die in jedem Kanal des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet werden können (Muthukumar, 2005). Diese These deckt sich mit dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1992) und der Cognitive Load Theorie (s. Abschnitt 2.1.1). Im Gegensatz zur CLT wird in der CTML keine konkrete Annahme darüber getroffen, wie viele Informationseinheiten simultan bearbeitet werden können. Durch den Bezug zu Miller (1956) wird jedoch deutlich, dass von einer Größenordnung von sieben Einheiten ausgegangen wird.

Die Zuweisung, Überwachung, Koordinierung und Adjustierung der begrenzten kognitiven Ressourcen werden in der CTML zu Monitorstrategien subsumiert (Mayer, 2005a). Diese Strategien lassen sich sehr gut mit der zentralen Exekutive von Baddeley (1992) oder modernen Intelligenztheorien (z.B. Sternberg, 1990) in Verbindung bringen.

Als Implikation dieser zweiten Annahme der CTML für die Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen lässt sich festhalten, dass Lernende nicht durch zu viele Informationseinheiten kognitiv überlastet werden dürfen (s. a. Abschnitt 2.1.3).

Aktive Informationsverarbeitung

Die dritte Annahme der CTML erörtert die aktive menschliche Informationsverarbeitung. Es wird davon ausgegangen, dass Lernende sich aktiv mit dem Lernmaterial beschäftigen, um eine kohärente mentale Repräsentation ihrer vorhandenen Erfahrungen konstruieren zu können (Mayer, 2005a). Die Annahme der aktiven Wissenskonstruktion findet sich innerhalb der Psychologie auch bei diversen anderen Forschern wieder (z.B. Ausubel, 1968; Bruner, 1961; James, 1890/1950; Neisser, 1967; Wittrock, 1989).

Um zu einem mentalen Modell zu gelangen bedarf es des Aufbaus diverser Strategien Wissen zu strukturieren. Diese beinhalten Verarbeitungs-, Vergleichs-, Generalisierungs-, Aufzählungs- und Klassifikationsstrukturen. Verarbeitungsstrukturen können beispielsweise Kausalketten mit entsprechenden Erläuterungen der einzelnen Ursache-Wirkungs-Elemente umfassen. Vergleichsstrukturen lassen sich als Matrizen darstellen, die den Vergleich zweier oder mehrerer Elemente anhand mehrerer Dimensionen ermöglichen.

Generalisierungsstrukturen repräsentieren als eine Art Baumstruktur den Kerngedanken mit

seinen untergeordneten ergänzenden Details. Aufzählungsstrukturen betreffen eine Liste, die aus einer Zusammenstellung von Einzelementen besteht. Klassifikationsstrukturen sind hierarchisch angeordnet und umfassen Gruppen und Untergruppen.

Verständnis wird in diesem Zusammenhang als Konstruktion einer dieser Wissensstrukturen definiert (Mayer, 2005a). Die nach der CTML benötigten Prozesse zur Etablierung dieser Wissensstrukturen werden im Abschnitt 2.2.3 eingehend erörtert.

Zur Verständnissteigerung sollte bei der Gestaltung von Lernmaterialien darauf geachtet werden, dass das präsentierte Material eine kohärente Struktur aufweist und die multimediale Botschaft eine Anleitung zum Aufbau der oben skizzierten Wissensstrukturen bereithält.

2.2.2. Gedächtnisspeicher

In der CTML werden drei Gedächtnisspeicher unterschieden, der sensorische Speicher, das Arbeitsgedächtnis und das Langzeitgedächtnis (Mayer & Moreno, 2003). Abb. 5 zeigt den Zusammenhang zwischen diesen Gedächtnisspeichern bei der Verarbeitung einer präsentierten multimedialen Botschaft. Die drei Strukturen werden nachfolgend erörtert.

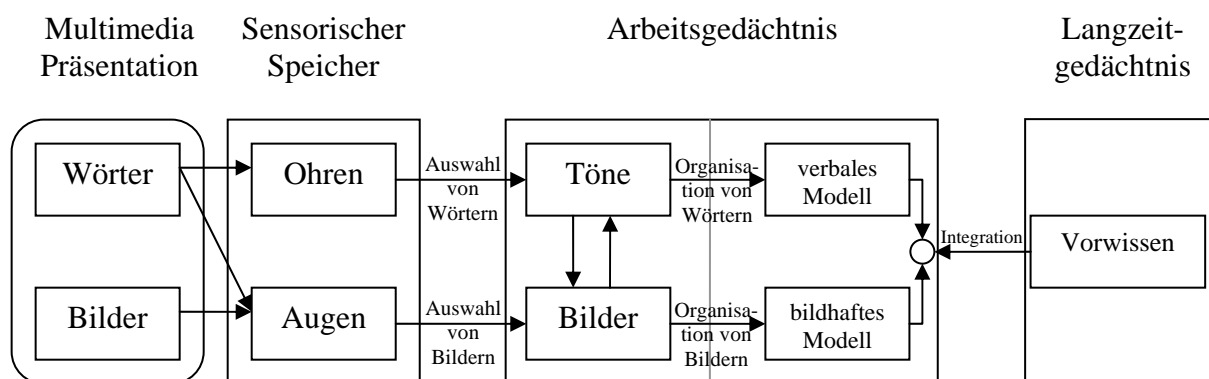


Abb. 5: Darstellung des Zusammenhanges zwischen den drei Gedächtnisspeichern und der eingehenden multimedialen Botschaft (angelehnt an Mayer, 2005a).

Sensorischer Speicher

Die aus der Außenwelt in Form von Wörtern und Bildern eintreffenden Informationen werden mit Hilfe der Augen und Ohren des Lernenden im sensorischen Speicher aufgenommen. Dabei sind mit Worten sowohl gesprochene als auch geschriebene Worte gemeint. Zu Bildern zählen nach R. E. Mayer (2005a) auch dynamische Visualisierungen. Der Pfeil von „Wörter“ zu „Augen“ in Abb. 5 betrifft dabei gedruckte Textelemente.

Der sensorische Speicher erlaubt es, die erfassten Informationen in exakter Form für einen sehr kurzen Zeitraum im visuellen oder auditiven Speicher präsent zu halten (vgl. dazu den ikonischen und echoischen Speicher).

Arbeitsgedächtnis

Von zentraler Bedeutung innerhalb der CTML ist das Arbeitsgedächtnis. Hier werden Informationen temporär zwischengespeichert und modifiziert. Die Verarbeitung erfolgt dabei bewusst (Mayer, 2005a).

In Abb. 5 stellt die linke Seite des Arbeitsgedächtnisses die Repräsentation des Rohmaterials dar, die aus der Umwelt über den sensorischen Speicher in Form von Tönen oder Bildern ins Arbeitsgedächtnis gelangt. Die zuvor stattfindende Wort- und Bildauswahl wird in Abschnitt 2.2.3 erörtert. Nachdem das Rohmaterial als visuelle (einschließlich räumliche) oder auditive Repräsentationen in das Arbeitsgedächtnis gelangt ist, können mentale Transformationsprozesse stattfinden (s. Abb. 5). Beispielsweise besteht die Möglichkeit, dass aus der auditiven Repräsentation „Hund“ ein mentales Bild eines Hundes generiert wird.

Die Weiterverarbeitung der im Arbeitsgedächtnis befindlichen Töne und Bilder erfolgt durch kognitive Organisationsprozesse (s. Abschnitt 2.2.3), die zu verbalen oder piktorialen mentalen Modellen führen. An dieser Stelle sind keine Transformationsprozesse zwischen diesen beiden Modellen mehr vorgesehen (s. Abb. 5). Die Integration des in den beiden mentalen Modellen gespeicherten Wissens mit dem Vorwissen des Lernenden, welches sich im Langzeitgedächtnis befindet, läuft ebenfalls im Arbeitsgedächtnis ab (Mayer & Moreno, 2003).

Im Gegensatz zur CTML nimmt das integrative Modell des Text- und Bildverständnisses von Schnotz (2005) an, dass die mentalen Transformationsprozesse nicht auf der ersten Repräsentationsebene im Arbeitsgedächtnis stattfinden sondern auf der zweiten. Dabei bezeichnet Schnotz die dort befindlichen Repräsentationen als propositionale Repräsentationen und mentale Modelle.

Langzeitgedächtnis

Das Langzeitgedächtnis beinhaltet sämtliches Vorwissen des Lernenden. Im Gegensatz zum Arbeitsgedächtnis kann es zwar sehr große Informationsmengen über längere Zeiträume abspeichern, jedoch muss das dort gespeicherte Wissen ins Arbeitsgedächtnis gebracht werden, um aktiv und bewusst darüber nachdenken zu können (Mayer, 2005a).

2.2.3. Kognitive Prozesse

In der CTML werden fünf verschiedene kognitive Prozesse voneinander unterschieden, die beim Lernen in einer multimedialen Lernumgebung auftreten können (Mayer & Moreno, 2003). Diese beinhalten die Selektion von relevanten Wörtern und Bildern, die Organisation der ausgewählten Wörter und Bilder sowie die Integration des verbalen und bildhaften mentalen Modells mit dem Vorwissen des Lernenden (vgl. Abb. 5). Die im Folgenden beschriebenen Prozesse müssen dabei nicht in linearer Folge auftreten, sondern können in zahlreichen Iterationen durchlaufen werden. Typischerweise treten diese kognitiven Prozesse laut R. E. Mayer (2005a) für jeden Teilabschnitt innerhalb der multimedialen Botschaft erneut auf.

Auswahl von Wörtern

Mit der Auswahl von Wörtern ist gemeint, dass der Lernende seine Aufmerksamkeit auf die relevanten Wörter innerhalb des multimedialen Lernmaterials richtet, um eine erste auditive Repräsentation innerhalb des Arbeitsgedächtnisses zu erzeugen (vgl. Abb. 5).

Dieser Prozess kann sowohl durch die Präsentation eines gesprochenen als auch eines gedruckten Textes initiiert werden (Mayer, 2005a), sofern der Lernende den gedruckten Text in eine auditive Repräsentation überführt (s. Abschnitt 2.2.2). Die Fokussierung auf bestimmte Teile des Lernmaterials wird durch die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses notwendig. Dabei ist die Auswahl nicht willkürlich, sondern der Lernende steuert den Prozess aktiv, um eine kohärente mentale Repräsentation des Sachverhaltes konstruieren zu können (s. Abschnitt 2.2.1).

Auswahl von Bildern

Auch bei der Bildauswahl wird von einer Fokussierung der Aufmerksamkeit ausgegangen, wobei sich diese auf die relevanten Bilder innerhalb des Lernmaterials bezieht, um eine visuelle Repräsentation im Arbeitsgedächtnis zu generieren (vgl. Abb. 5). Wie bei der Wortauswahl erfordert die begrenzte Arbeitsgedächtniskapazität die Selektion einzelner Bildelemente, die durch den Lernenden aktiv ausgewählt werden, um eine kohärente mentale Repräsentation aufbauen zu können (s. Abschnitt 2.2.1).

Organisation von Wörtern

Die Organisation von Wörtern bezieht sich auf den Aufbau von Verbindungen zwischen den ausgewählten Wörtern, um ein kohärentes verbales Modell beispielsweise einen

Ursache-Wirkungs-Zusammenhang im Arbeitsgedächtnis ausbilden zu können (Mayer, 2003).

Dieser – im auditiven Kanal stattfindende – Prozess unterliegt ebenso wie die zuvor aufgeführten Selektionsprozesse dem Einfluss von Kapazitätsbeschränkungen des Arbeitsgedächtnisses (s. Abschnitt 2.2.1). Dadurch muss der Lernende sich auf die Erstellung eines relativ einfachen verbalen Modells beschränken.

Organisation von Bildern

Bei der Organisation von Bildern findet ein Verknüpfungsprozess zwischen ausgewählten Bildern statt, um ein kohärentes bildhaftes Modell zu generieren (Mayer & Moreno, 2003). Der im visuellen Kanal ablaufende Prozess unterliegt den Beschränkungen des Arbeitsgedächtnisses (s. Abschnitt 2.2.1), sodass auch hier eine aktive Beschränkung auf die Entwicklung eines einfachen visuellen Modells durch den Lernenden stattfinden muss.

Integration

Der fünfte kognitive Prozess beschreibt den Aufbau von Verbindungen zwischen den verbalen und piktorialen Modellen sowie dem Vorwissen des Lernenden aus dem Langzeitgedächtnis (Mayer, 2003). Dieser integrative Prozess stellt wahrscheinlich den entscheidenden Schritt beim multimedialen Lernen dar. Er kann sowohl im visuellen als auch im verbalen Arbeitsgedächtnis stattfinden und macht eine Koordination zwischen beiden erforderlich. Um durch diesen extrem anspruchsvollen Prozess nicht kognitiv überlastet zu werden, kann der Lernende sich sein Vorwissen zunutze machen, um den Integrationsprozess zwischen den beiden mentalen Modellen koordinieren zu können (Mayer, 2005a).

2.2.4. Repräsentationsformen

In der CTML existieren fünf verschiedene Repräsentationsformen für Wörter und Bilder (vgl. Abb. 5), die im Folgenden erörtert werden.

Wörter und Bilder

Die erste Repräsentationsform stellt das Lernmaterial dar, welches dem Lernenden in der multimedialen Botschaft präsentiert wird. (s. Abb. 5). Damit sind beispielsweise gesprochene und geschriebene Textelemente oder Bilder und Animationen gemeint, die dem Lernenden am Computerbildschirm präsentiert werden (Mayer & Moreno, 2003).

Akustische und ikonische Repräsentationen

Das Stimulusmaterial wird vom Lerner aufgenommen und im ersten Schritt im sensorischen Speicher (s. Abb. 5) in akustische oder ikonische Repräsentationen transformiert (s. Abschnitt 2.2.2). Sofern der Lernende seine Aufmerksamkeit nicht auf diese Informationen richtet, verblässen die beiden Repräsentationen sehr schnell.

Töne und Bilder

Als dritte Repräsentationsform sind visuelle (einschließlich räumliche) und auditive Repräsentationen zu nennen. Diese im Arbeitsgedächtnis befindlichen Informationen stellen die basalen Einheiten der Wissenskonstruktion dar (Mayer, 2005a). Sie beinhalten zentrale Textpassagen und Bildelemente, die vom Lernenden aktiv ausgewählt wurden (s. Abschnitt 2.2.3).

Verbale und piktoriale Modelle

Neben den visuellen und auditiven Repräsentationen existieren noch zwei weitere Repräsentationsformen im Arbeitsgedächtnis. Diese werden als verbale und piktoriale Modelle – gelegentlich auch als tiefere Arbeitsgedächtnisrepräsentationen – bezeichnet (Mayer & Moreno, 2003).

Um diese mentalen Modelle konstruieren zu können, muss der Lernende die zentralen Textpassagen und Bildelemente organisieren und zu einer kohärenten Repräsentation bündeln (s. Abschnitt 2.2.2).

Vorwissen

Die letzte Repräsentationsform stellt das Vorwissen des Lernenden dar, welches sich im Langzeitgedächtnis befindet. Dieses Wissen kann genutzt werden, um den Integrationsprozess (s. Abschnitt 2.2.3) zwischen verbalen und piktorialen Modell im Arbeitsgedächtnis erfolgreich durchzuführen. Das dort neu entstandene Wissen wird anschließend dem bereits vorhandenen Vorwissen im Langzeitgedächtnis hinzugefügt und kann somit weitere Lernprozesse unterstützen (Mayer, 2005a).

In der CLT wird das im Langzeitgedächtnis befindliche Vorwissen als Schema bezeichnet (s. Abschnitt 2.1.2).

2.2.5. Design- & Gestaltungsempfehlungen

In diesem Abschnitt werden acht verschiedene Design- und Gestaltungsempfehlungen zu multimedialen Lernumgebungen eingehender erörtert, die im Rahmen der CTML postuliert werden. Dabei wird auf die Beschreibung drei weiterer Empfehlungen verzichtet, nämlich

des Split-Attention-, des Modalitäts- und des Redundanzprinzips. Diese sind nahezu identisch mit den entsprechenden Empfehlungen, die bei der Darstellung der Cognitive Load Theorie bereits aufgeführt wurden (s. Abschnitt 2.1.5). Lediglich bezüglich des Effektes der geteilten Aufmerksamkeit existierte in der CTML im Vergleich zur CLT zeitweilig eine weitere Differenzierung in einen visuellen und einen auditiven Split-Attention-Effekt (Mayer, 1999). Der visuelle Split-Attention-Effekt wurde als lernförderlicher Effekt definiert, der sich durch die gemeinsame Nutzung des visuellen und akustischen Teils des Arbeitsgedächtnisses ergebe. Dieser Gestaltungsempfehlung zufolge sollte man zur Beschreibung von dynamischen und statischen Visualisierungen verstärkt Audiokommentare anstelle von schriftlichen Legenden einsetzen. Bezüglich des auditiven Effektes der geteilten Aufmerksamkeit wurde der Verzicht auf nonverbale auditive Informationen wie Umgebungsgeräusche oder Hintergrundmusik in multimedialen Lernumgebungen empfohlen.

Mittlerweile (vgl. z.B. Mayer, 2005f) bezeichnet man den visuellen Effekt der geteilten Aufmerksamkeit als Modalitätseffekt (s. Abschnitt 2.1.5), während man den auditiven Split-Attention-Effekt als Spezialfall des Kohärenzprinzips (auch seductive detail Effekt genannt, siehe unten) betrachten kann.

Auch einige der acht im Folgenden aufgeführten Gestaltungsempfehlungen besitzen Ähnlichkeiten mit den Designempfehlungen aus der CLT (s. Abschnitt 2.1.5). Die entsprechenden Beziehungen werden bei der Vorstellung der einzelnen Prinzipien thematisiert. Die Tabelle 2 fasst die einzelnen Empfehlungen mit einer jeweiligen Kurzbeschreibung zusammen.

Tabelle 2: Überblick über die Gestaltungsempfehlungen der kognitiven Theorie multimedialen Lernens.

Gestaltungsempfehlung	Beschreibung der Empfehlung
Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit	Physikalische Integration multipler Informationsquellen
Modalitätsprinzip	Gemeinsame Verwendung visueller und auditiver Informationen
Redundanzprinzip	Vermeidung von Redundanzen in multiplen Informationsquellen
Multimediaprinzip	Hinzufügen von geeigneten Bildern zu einem Lerntext
Segmentierungsprinzip	Informationsdarbietung in Form von lernergerichteten Abschnitten
Vorübungsprinzip	Namen und Charakteristika der zentralen Konzepte vor der multimedialen Botschaft präsentieren und einüben
Kontiguitätsprinzip	Korrespondierende Wörter und Bilder in räumlicher und zeitlicher Nähe anordnen
Kohärenzprinzip	Verzicht auf zusätzliches, für das Verständnis nicht zwingend benötigtes Lernmaterial
Signalisierungsprinzip	Benutzung von Hinweiszeichen, die die Organisationsstruktur des Kerninhaltes hervorheben
Personalisierungsprinzip	Verwendung umgangssprachlicher Formulierungen
Prinzip individueller Unterschiede	Moderierender Einfluss des Vorwissens und der räumlichen Fähigkeiten auf das Multimediaprinzip, das Kontiguitätsprinzip und das Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit

Multimediaprinzip

Das Multimediaprinzip besagt, dass Personen bessere Lernleistungen erbringen, wenn zu einem Lerntext geeignete Bilder hinzugefügt werden (Mayer, 2006).

Für diesen lernförderlichen Effekt werden mehrere Begründungen aufgeführt. Zum einen kann man die Duale Kodierungstheorie von Paivio (s. Abschnitt 2.2.1: Zwei Kanäle im Informationsverarbeitungssystem) als Erklärung für dieses Gestaltungsprinzip heranziehen (Fletcher & Tobias, 2005), zum anderen wird argumentiert, dass Lernende bessere Verknüpfungen zwischen Wörtern und Bildern vornehmen könnten (s. Abschnitt 2.2.3: Integration), wenn beide präsentiert würden. Böte man nur Wörter dar, so versuchten

Lernende eigene mentale Bilder auf Grundlage des gelesenen Textes zu generieren, was sich für viele Leser als zu schwierig erweisen könne. Später wurde dieser zweite Erklärungsansatz um die Überlegung ergänzt, dass die eigenständige Generierung mentaler Bilder zu einer kognitiven Überlastung des Arbeitsgedächtnisses und somit zur Beeinträchtigung der Lernleistung führe. Dies gelte vornehmlich für Lernende mit geringem Vorwissen, die laut CTML besonders stark vom Multimediaprinzip profitierten, während Experten oftmals bereits in der Lage seien, mentale Bilder zum jeweiligen Sachverhalt zu entwickeln, ohne ihr Arbeitsgedächtnis über Gebühr zu strapazieren (Fletcher & Tobias, 2005).

Damit wird auch die Ähnlichkeit des Multimediaprinzips zu Gestaltungsempfehlungen aus der CLT (s. Abschnitt 2.1.5) deutlich. Insbesondere sind hier der Modalitätseffekt, der Imaginationseffekt und der Expertise-Umkehr-Effekt zu nennen.

Eine weitere theoretische Begründung des Multimediaprinzips stammt von Hannafin, Hannafin, Hooper, Rieber und Kini (1996), die drei positive Effekte aufführen, welche durch die Bildpräsentation auftreten. Erstens unterstützen Visualisierungen die Organisation des Lernmaterials und verdeutlichen deren innere Struktur, zweitens heben Bilder zentrale Konzepte hervor und begünstigen deren Wiederabruf und drittens helfen sie bei der Integration der einzelnen Lerninhalte.

Auch empirisch wird das Multimediaprinzip durch zahlreiche Belege gestützt (Butcher, 2006; Mayer, 1989; Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Gallini, 1990; Moreno & Mayer, 1999b; Plass, Chun, Mayer & Leutner, 1998). Die Befunde zum Bildüberlegenheitseffekt (Carney & Levin, 2002; Levie & Lentz, 1982; Levin et al., 1987) lassen sich in Teilen ebenfalls als Stützung des Multimediaprinzips anführen. Während der lernförderliche Effekt des genannten Prinzips in einer Untersuchung von Moreno und Mayer (2002a) nicht bestätigt werden konnte, widersprechen andere experimentelle Untersuchungen diesem sogar mit bisweilen sehr großen Effektstärken von bis zu $d = 1.12$ (De Westelinck, Valcke, De Craene & Kirschner, 2005; Schnotz & Bannert, 2003).

Neben diesen empirischen Befunden, die dem Multimediaprinzip entgegenstehen, kann auch in theoretischer Hinsicht Kritik geäußert werden. Da Mayer (2005b) multimediales Lernen als Lernen mit Texten und Bildern definiert (vgl. jedoch mit Abschnitt 1.1), ließe sich das Multimediaprinzip auch wie folgt umformulieren: Lernen mit Texten und Bildern führt zu besseren Lernleistungen als reines Textlernen. Spätestens hier wird deutlich, dass gegen einen solchen Vergleich die gleichen Argumente vorgebracht werden können wie zu

Pauschalvergleichen (s. Abschnitt 1.2). Dieser Kritikpunkt wird auch von Anhängern der CTML aufgegriffen, die in Anlehnung an Tobias (1982) darauf hinweisen, dass in der CTML weniger die Instruktionmaterialien im Vordergrund stünden als vielmehr unterschiedliche kognitive Prozesse beim Lernen mit Text-Bild-Kombinationen im Vergleich zu reinem Textlernen, was die unterschiedlichen Lernleistungen bedingen würde (Fletcher & Tobias, 2005).

Segmentierungsprinzip bzw. Interaktivitätsprinzip

Als Segmentierungsprinzip bezeichnet man die lernförderliche Wirkung durch die Präsentation multimedialer Botschaften in Form von lerngerechten Abschnitten im Vergleich zur Präsentation als durchgängige Einheit (Mayer, 2005c). Bei diesem Prinzip wird eine Animation in einzelne Teilsegmente untergliedert, die der Lernende durch eine „Weiter-Taste“ nacheinander aktivieren kann. Diese Animation dürfte laut dem Segmentierungsprinzip – in früheren Versionen der CTLM als Chunking principle bezeichnet (Mayer, 1999) – zu besseren Lernleistungen führen als die Präsentation der gesamten Animation ohne Unterbrechung.

Gelegentlich wird statt dieses Begriffes auch die Bezeichnung Interaktivitätsprinzip verwendet (Robinson, 2004). Dabei ist Interaktivität in diesem Zusammenhang als Kontrolle über die Geschwindigkeit der multimedialen Botschaft definiert (Bétrancourt, 2005) und nicht als Modifikationsmöglichkeit von Parametern in dynamischen Visualisierungen (vgl. Abschnitt 1.1). Anlass zur Kritik liefert die inkonsistente Verwendung des Interaktivitätsbegriffes innerhalb der CTML. Moreno und Mayer (2005) definieren Interaktivität nämlich in einer Studie als Möglichkeit, in einer Multimediaumgebung Antworten auf zuvor präsentierte Problemstellungen auswählen zu können, während der Lernende bei fehlender Interaktivität die korrekten Antworten durch den Computer automatisch erhält.

Theoretisch begründet wird das Segmentierungs- bzw. Interaktivitätsprinzip mit der kognitiven Überlastung (vgl. Abschnitt 2.1.3) – hier als essential overload bezeichnet –, welches die kognitive Kapazität der beiden Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses (s. Abschnitt 2.2.2) bei zu schneller Darbietung der multimedialen Botschaft übertrifft (vgl. hierzu den Effekt der Isolation interagierender Elemente in Abschnitt 2.1.5). Den Ausgangspunkt der kognitiven Überlastung des Arbeitsgedächtnisses stellt dabei eine Gemeinsamkeit zum Modalitätseffekt (s. Abschnitt 2.1.5) und zum noch zu erläuternden Vorübungsprinzip dar. Nach Mayer (2005c) sollte das Modalitätsprinzip Anwendung finden,

wenn der visuelle Kanal des Arbeitsgedächtnisses überlastet ist, während das Vorübungsprinzip und das Segmentierungsprinzip in Situationen zum Einsatz kämen, in denen beide Kanäle gleichzeitig über Gebühr beansprucht würden.

Dem Segmentierungsprinzip nach gelänge es dem Lernenden durch die kognitive Überlastung zunächst nicht mehr, die Textinhalte zu einem verbalen Modell und die Bildinhalte in einem visuellen Modell zu organisieren und schließlich beide Modelle zu einem einzigen zu integrieren (s. Abschnitt 2.2.3). Das Lernmaterial wird in der Folge nicht vollständig verstanden. Könnte der Lernende jedoch die Präsentationsgeschwindigkeit, beispielsweise einer Animation, selbst bestimmen, so stünde für die notwendigen kognitiven Prozesse genügend Zeit zur Verfügung. Der Lerninhalt würde folglich besser verstanden (Mayer, 2005c). Empirische Stützung erfährt das Segmentierungsprinzip durch mehrere Untersuchungen (Mayer & Chandler, 2001; Mayer, Dow et al., 2003; Mayer et al., 1999; Price, 2004; Schwan, Garsoffky & Hesse, 2000).

Kritisch angemerkt werden muss, dass Lernende durch das Segmentierungsprinzip mehr Zeit mit dem multimedial präsentierten Lerninhalt verbringen können. Dass dies zu besseren Leistungen führen kann, ist kein sonderlich erstaunlicher Befund.

Vorübungsprinzip

Das Vorübungsprinzip behauptet, dass Lernende ein tieferes Verständnis von einem multimedial dargebotenen Inhalt erlangen, wenn sie die Namen und Charakteristika der zentralen Konzepte kennen (Mayer, 2005c). Zum Beispiel könnte man vor der Präsentation einer Animation, welche einen komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisiert, die einzelnen Teilelemente benennen und deren mögliches Verhalten erläutern. Dies wird auch als *strategic scaffolding* bezeichnet. Eine andere Möglichkeit stellt das sog. *pictorial scaffolding* dar, bei dem im Vorfeld der präsentierten Animation unterstützende Illustrationen zum Einsatz kommen (Mayer, Mautone & Prothero, 2002).

Erklärt wird der lernförderliche Effekt damit, dass man den Lerner mit Vorwissen ausstattet (vgl. Abschnitt 2.1.2: Schemata), welches eine kognitive Überlastung (*essential overload*) der beiden Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses reduziert (s. Abschnitt 2.2.2). Folglich stehen mehr kognitive Ressourcen für eine intensivere Beschäftigung mit dem Aufbau eines kausalen Modells zur Verfügung. Die Verständnisleistung erhöht sich. Die Beachtung des dargestellten Prinzips führt in mehreren experimentellen Studien zu besseren Lernleistungen (Mayer, Mathias & Wetzell, 2002; Mayer, Mautone et al., 2002; Pollock et al., 2002).

Das Vorübungsprinzip ähnelt – neben dem Modalitätseffekt (s. Abschnitt 2.1.5) – dem Segmentierungsprinzip (siehe oben), da in beiden Fällen versucht wird, die zwei Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses durch Gestaltungsmaßnahmen der Instruktionmaterialien zu entlasten (Mayer, 2005c). Wie bei dem Segmentierungsprinzip (siehe oben) kann kritisiert werden, dass die mit dem Lernmaterial verbrachte Zeit nicht als Kovariante berücksichtigt wird.

Kontiguitätsprinzip

In der CTML wird zwischen räumlichem und zeitlichem Kontiguitätsprinzip unterschieden (Mayer, 2005d).

Das räumliche Kontiguitätsprinzip besagt, dass sich ein tieferes Verständnis durch eine multimediale Botschaft einstellt, wenn die korrespondierenden Wörter und Bilder in räumlicher Nähe zueinander dargeboten werden (Mayer & Moreno, 2003). Begründet wird das räumliche Kontiguitätsprinzip mit der visuellen Suche während des Lernprozesses. Bei fehlender räumlicher Nähe muss der Lernende zwischen dem Text und den Visualisierungen hin und her springen, was zu einer erhöhten irrelevanten kognitiven Belastung führt (vgl. Abschnitt 2.1.3). Blickbewegungsstudien von Hegarty, Carpenter und Just (1996) stützen den Erklärungsansatz für das räumliche Kontiguitätsprinzip.

Stützung erfährt das räumliche Kontiguitätsprinzip durch mehrere empirische Untersuchungen (Chandler & Sweller, 1991; Mayer, 1989; Mayer, Steinhoff et al., 1995; Moreno & Mayer, 1999a; Sweller et al., 1990; Tindall-Ford et al., 1997; vgl. a. Baggett, 1984). Im Gegensatz dazu findet De Westelinck et al. (2005) in einer Studie mit drei Teilerperimenten zum räumlichen Kontiguitätsprinzip Transferleistungen von Lernenden, die dem Prinzip diametral widersprechen. Die durchschnittliche Effektstärke beträgt $d = 0.72$, wobei jedoch nur eines der drei Experimente statistisch signifikant wird.

Das zeitliche Kontiguitätsprinzip beschreibt hingegen einen lernförderlichen Effekt durch eine simultane anstelle einer sukzessiven Präsentation von korrespondierenden Informationen (Mayer & Moreno, 2003). So sollte man dem Lernenden die Erklärung zu einer Animation zeitgleich und nicht nacheinander zur Verfügung stellen. Beim zeitlichen Kontiguitätsprinzip wird durch die simultane Präsentation der korrespondierenden Text- und Bildinformationen verhindert, dass eine verbale oder bildhafte mentale Repräsentation für einen längeren Zeitraum im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden muss.

Ein alternativer Erklärungsansatz zum zeitlichen Kontiguitätsprinzip findet sich bei Baggett (1989), die die Theorie zum Textverständnis von van Dijk und Kintsch (1983) als

Erklärung heranzieht. Nach dieser werden verbale und visuelle Informationen parallel verarbeitet. Während verbale Informationen mittels eines verbalen Verarbeitungssystems in eine Makrostruktur modifiziert werden, werden visuelle Botschaften durch ein visuelles Prozesssystem in eine Makrostruktur transformiert. Van Dijk und Kintsch (1983) nehmen in ihrem Modell außerdem eine Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses an, was in der zeitlichen Beziehung zwischen den beiden parallel ablaufenden Prozessen den oben aufgeführten Effekt auf die entstehende Makrostruktur bedingen kann. Laut Mayer und Anderson (1992) führe der alternative Erklärungsansatz von Baggett (1989) zu den gleichen Vorhersagen wie jener aus der CTML, sodass eine Entscheidung zu Gunsten eines der beiden Konzepte nicht möglich sei.

Für das zeitliche Kontiguitätsprinzip kann Mayer zusammen mit anderen Forschern stützende Belege erbringen (Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Sims, 1994). Die empirische Bestätigung des zeitlichen Kontiguitätsprinzips kann – entgegen der Behauptung späterer Überblicksartikel (z.B. Mayer, 2005d) – in der Untersuchung von Moreno und Mayer (1999a) nicht erbracht werden.

Bezüglich des räumlichen und zeitlichen Kontiguitätsprinzips sind die großen Ähnlichkeiten zum Effekt der geteilten Aufmerksamkeit der Cognitive Load Theorie (s. Abschnitt 2.1.5) unverkennbar. Trotz der Gemeinsamkeiten sind zwei wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Empfehlungen zu beachten.

Erstens werden unterschiedliche Erklärungen für die gefundenen Effekte postuliert. In der CLT wird der Effekt der geteilten Aufmerksamkeit mit der Erhöhung des extrinsischen CL durch die Notwendigkeit der mentalen Integration bei separierten Informationsquellen begründet (s. Abschnitt 2.1.5). Im Gegensatz dazu rekurriert die CTML beim räumlichen Kontiguitätsprinzip auf die erhöhte visuelle Suche bei räumlich getrennten, aber inhaltlich korrespondierenden Informationen (siehe oben). Für das zeitliche Kontiguitätsprinzip wird der lernförderliche Effekt durch eine simultane statt einer sukzessiven Informationsdarbietung hingegen mit der Verhinderung einer längerfristigen Aufrechterhaltung verbaler und bildhafter mentaler Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis erklärt (siehe oben).

Zweitens bezieht sich das Kontiguitätsprinzip lediglich auf Formate, die eine Teilung der Aufmerksamkeit bedingen, während beim Effekt der geteilten Aufmerksamkeit von Sweller neben diesen Formaten auch Situationen mit eingeschlossen werden, in denen der Lernende seine Aufmerksamkeit auf verschiedene mediale Objekte richten muss (Mayer, 2005d). Ein

Beispiel hierfür ist das Lernen mit einem PC und die gleichzeitige Verwendung eines Lehrbuchs.

Kohärenzprinzip bzw. seductive detail Effekt

Das Kohärenzprinzip besagt, dass bessere Lernleistungen erzielt werden, wenn auf zusätzliches Lernmaterial (extraneous material) verzichtet wird, welches man zur Erreichung der Instruktionsziele nicht zwingend benötigt (Mayer, 2005d). Solche zusätzlichen Lernmaterialien – gelegentlich auch als emotional interessante Materialien bezeichnet (Harp & Mayer, 1997; vgl. auch Abschnitt 2.1.3: extrinsischer CL) – können beispielsweise interessante Geschichten, Bilder oder auch Hintergrundmusik in der multimedialen Lernumgebung darstellen, die für das Verständnis des eigentlichen Lernstoffes entbehrlich sind.

Innerhalb der Textforschung wird der lernhinderliche Effekt durch das Hinzufügen interessanter, aber für das eigentliche Thema irrelevanter oder unwichtiger Zusätze als seductive detail Effekt (siehe oben) bezeichnet (Schraw & Lehman, 2001). Dieser Begriff kann synonym zum Kohärenzprinzip verwendet werden (Mayer, 2003). In den allermeisten Studien zu seductive details erfolgt keine Ausdifferenzierung verschiedener Arten und Ausprägungen des Konstrukts (z.B. vollkommen irrelevante vs. eher unwichtige Zusätze). Lediglich in der Untersuchung von Schraw (1998) wird unterschieden, ob die eingesetzten seductive details unabhängig vom Umgebungskontext (z.B. dem dargebotenen Lerntext) von Probanden als interessant eingestuft werden oder nicht.

Erklärt wird der Effekt in der CTML durch das begrenzte Arbeitsgedächtnis, das durch die ergänzenden Inhalte leicht überlastet werden kann. Dadurch fehlen kognitive Ressourcen zur Beschäftigung mit den Kerninhalten, die in der Folge zu einer Verständnisreduktion führen können (Mayer, 2005d). 1998 wurde innerhalb der CTML durch Harp und Mayer noch ein anderer Erklärungsansatz propagiert, der die Aktivierung unpassender Schemata durch seductive details annahm. Durch die Organisation des Lernmaterials anhand dieser inadäquaten Schemata würden sich reduzierte Lernleistungen bei den Lernenden einstellen. Diese Erklärung wird in neueren Publikationen zum Kohärenzprinzip nicht weiter aufgegriffen, obgleich sie als empirisch bestätigt gilt (Harp & Mayer, 1998) und meines Wissens nach keine neuere Untersuchung existiert, die diese Begründung für den seductive detail Effekt in Frage stellt.

Um dem lernhinderlichen Effekt zu begegnen, bietet sich der Verzicht von allen interessanten, aber für das eigentliche Verständnis nicht unmittelbar relevanten Materialien

an. Dies erleichtert zugleich auch den Prozess, wesentliche Informationen aus dem Lernstoff herauszufiltern (Mayer & Moreno, 2003).

Bezüglich des seductive detail Effektes (siehe oben) ist die empirische Befundlage höchst uneinheitlich (Schraw & Lehman, 2001; vgl. i. G. dazu Mayer, R. E., 2005d). Während sich bei Schraw (1998) ein lernförderlicher Effekt ergibt, finden andere Forscher erwartungsgemäß negative Effekte durch das Hinzufügen von seductive details (Garner, Gillingham & White, 1989; Harp & Mayer, 1997, 1998; Mayer et al., 2001; Mayer & Jackson, 2005). Eine Vielzahl von Studien bleibt hingegen ohne eindeutiges Ergebnis (De Westelinck et al., 2005; Garner, Alexander, Gillingham, Kulikowich & Brown, 1991; Mayer et al., 1996; Moreno & Mayer, 2000a, 2002; Wade & Adams, 1990; Wade, Alexander, Schraw & Kulikowich, 1995; Wade, Schraw, Buxton & Hayes, 1993).

Neben der heterogenen Befundlage muss kritisch angemerkt werden, dass Mayer (2005d) fast ausnahmslos Arbeiten zitiert, die den Kohärenzeffekt bestätigen.

Das inhomogene Bild, welches sich auf der Basis bisheriger Studien ergibt, wird zum Anlass genommen, eine eigene Untersuchung zum seductive detail Effekt durchzuführen. Genauer ist dem fünften Experiment der vorliegenden Arbeit (s. Abschnitt II.2.1 im empirischen Teil der Arbeit) zu entnehmen.

Signalisierungsprinzip

Das Signalisierungsprinzip postuliert, dass tiefere Verständnisprozesse in multimedialen Lernumgebungen auftreten, wenn Hinweiszeichen die Organisationsstruktur des Kerninhaltes hervorheben (Mayer, 2005d). Zum Beispiel stellen die Betonung von Schlüsselwörtern in mündlich präsentierten Lerntexten, aber auch Unterstreichungen, Fettdruck, Nummerierungen oder Überschriften in schriftlich dargebotenen Lernmaterialien solche Hinweiszeichen dar (Robinson, 2004).

Begründet wird das Prinzip in ähnlicher Form wie das Kohärenzprinzip (siehe oben). Auch hier bildet der Ausgangspunkt ein begrenztes Arbeitsgedächtnis, welches durch ergänzende Informationen überlastet werden kann. Die fehlenden kognitiven Ressourcen zur Beschäftigung mit den Kerninhalten führen dementsprechend zu einer Reduzierung des Verständnisses. Statt nun – wie beim Kohärenzprinzip vorgeschlagen – gänzlich auf die ergänzenden Informationen zu verzichten, empfiehlt das Signalisierungsprinzip, auf die zentralen Lerninhalte hinzuweisen. Dadurch werde die Aufmerksamkeit des Lernenden auf die Kerninhalte gelenkt, so dass entsprechend größere kognitive Ressourcen für diese zur

Verfügung gestellt würden und zudem dabei geholfen werde, das Lernmaterial adäquat zu organisieren (Mayer, 2005d).

Stützende Belege für das Signalisierungsprinzip finden sich bei Winn (1981), Harp und Mayer (1997, 1998) sowie bei Shah, Mayer und Hegarty (1999). Auch Mautone und Mayer (2001) können einen lernförderlichen Effekt durch derartige Hinweiszeichen feststellen, wobei sich hier nur ein Effekt bei gesprochenen Texten einstellt. Signalisierungen in Animationen durch Pfeile oder farbige Hervorhebungen führen hingegen weder zu besseren Behaltens- noch Transferleistungen. Die noch ausstehende empirische Bestätigung des Signalisierungsprinzips für (interaktive) Animationen wird in einer eigenen experimentellen Untersuchung aufgegriffen (s. Teil II der vorliegenden Arbeit, Abschnitt II.1.2).

Aufgrund der geringen Anzahl stützender Befunde sowie der dort gefundenen relativ niedrigen Effektstärke im Vergleich zu den anderen Empfehlungen der CTML wird von Mayer (2005d) selbst vorgeschlagen, das Signalisierungsprinzip bis zum Erbringen weiterer untermauernder Belege als vorläufig zu betrachten.

Personalisierungsprinzip

Das Personalisierungsprinzip besagt, dass die Gestaltung von Texten in multimedialen Präsentationen in Form von umgangssprachlichen Formulierungen im Vergleich zu formalen Ausdrücken zu besseren Lernleistungen führt (Robinson, 2004). Hierzu stehen im Wesentlichen zwei Techniken zur Verfügung. Erstens können unpersönliche Formulierungen, die in der dritten Person verfasst wurden, durch Ausdrücke ersetzt werden, die den Lernenden direkt ansprechen (z.B. „du“ statt „man“ verwenden). Zweitens bietet es sich an Sätze zu ergänzen, in denen der Verfasser direkte Kommentare für den Lernenden bereithält (z.B. „Vergleiche nun das rotierte Bild mit der schematischen Darstellung.“).

Des Weiteren sollten gesprochene Sätze in multimedialen Lernumgebungen mit gewöhnlicher Betonung ausgesprochen werden und nicht mittels einer maschinell verzerrten Stimme oder einem fremdsprachlichen Akzent. Diese, im Englischen als voice principle bezeichnete Gestaltungsempfehlung der CTML wird hier nicht als eigenständige Empfehlung aufgegriffen, da sie dem gleichen Erklärungsmuster wie das Personalisierungsprinzip unterliegt (Mayer, 2005e). Erste stützende, empirische Belege existieren dabei zum voice principle (Atkinson, Mayer & Merrill, 2005; Mayer, Sobko & Mautone, 2003).

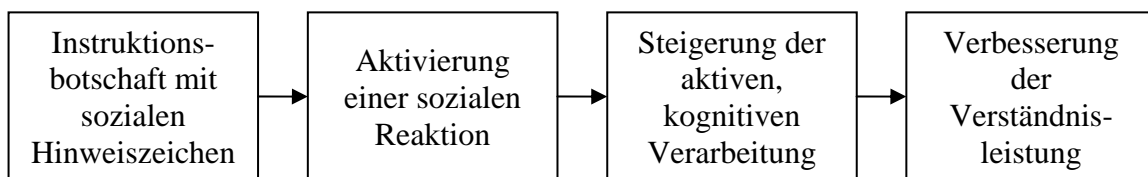
Erklärt wird das Personalisierungsprinzip mit Hilfe der sozialen Hinweiszeichen, die sich bei Beachtung des Prinzips in der instruktionalen Botschaft befinden (s. Abb. 6). Derartige

Hinweiszeichen führen beim Lernenden zur Aktivierung einer sozialen Reaktion. Diese Vermutung wird durch den Befund von Reeves und Nass (1996) gestützt, die belegen, dass Menschen relativ einfach dazu gebracht werden können, Computer als soziale Partner anzuerkennen.

Die Aktivierung der sozialen Reaktion steigert in der Folge die aktive, kognitive Verarbeitung des Lernenden (Mayer, 2003). Belegt wird diese Annahme durch Untersuchungen von Grice (1975), die zeigen konnte, dass der Empfänger bei sozialen Kommunikationsprozessen annimmt, dass der Sender informative, genaue, relevante und prägnante Informationen vermitteln will.

Dass eine höhere aktive, kognitive Verarbeitung des Lernenden die unter Abschnitt 2.2.3 dargestellten fünf kognitiven Prozesse fördert und damit die Verständnisleistung des Lernmaterials verbessert, lässt sich aus den Grundannahmen der CTML ableiten (s. Abschnitt 2.2.1). Abb. 6 fasst das aufgeführte Erklärungsmodell graphisch zusammen.

Wie soziale Hinweiszeichen tieferes Verständnis fördern



Wie fehlende soziale Hinweiszeichen tieferes Verständnis nicht fördern

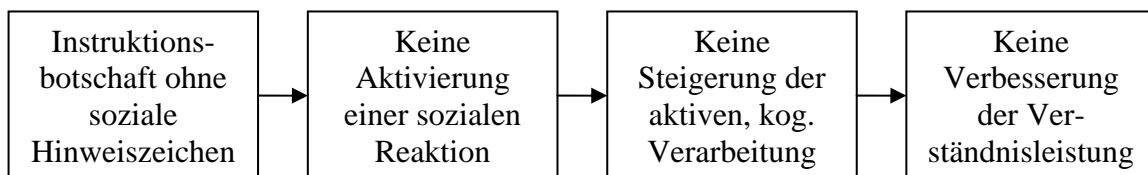


Abb. 6: Schematische Darstellung des Einflusses sozialer Hinweiszeichen auf die Verständnisleistung (angelehnt an Mayer, 2005e).

Neben diesem Begründungsansatz wird auch vorgeschlagen, das Personalisierungsprinzip mit Hilfe des Selbstreferenz-Effektes theoretisch zu erklären (Moreno & Mayer, 2000b). Nach diesem erhöht sich die Behaltensleistung, wenn Informationen in Bezug zum eigenen Selbst gebracht werden können, da das Selbst gewöhnlich eine gut ausgebildete Struktur im Gedächtnis darstellt (Rogers, Kuiper & Kirker, 1977). Anknüpfungsmöglichkeiten an dieses System sind entsprechend ausgeprägt.

Eine dritte Erklärung besteht darin, dass Lerner mit persönlichen Botschaften stärker vertraut sind und dadurch ein geringerer kognitiver Aufwand resultiert, die multimediale Botschaft zu enkodieren (Moreno & Mayer, 2000b).

Das Personalisierungsprinzip wird in experimentellen Untersuchungen bestätigt (Mayer, Fennell, Farmer & Campbell, 2004; Moreno & Mayer, 2004). Auch die Experimentalserien von Moreno und Mayer (2000b) stützen die Gestaltungsempfehlung, da bei Beachtung dieser in allen fünf Telexperimenten signifikant höhere Transferleistungen resultieren. Dass nur drei der fünf Behaltensleistungen statistisch bedeutsam und konform mit dem Personalisierungsprinzip differenzieren, widerspricht der oben dargestellten theoretischen Erklärung nicht, lässt sich jedoch weniger gut mit dem Selbstreferenz-Effekt als Begründungsansatz vereinbaren.

Prinzip individueller Unterschiede

Das Prinzip individueller Unterschiede beschreibt den moderierenden Einfluss von individuellen Differenzen im Vorwissen und den räumlichen Fähigkeiten auf das Multimediaprinzip, das Kontiguitätsprinzip und das Prinzip der geteilten Aufmerksamkeit (Mayer, 1999).

Hinsichtlich des Vorwissens besagt das Prinzip individueller Unterschiede, dass die drei aufgeführten Gestaltungsempfehlungen (siehe oben) auf Lernende mit geringer bereichsspezifischer Expertise einen stärkeren Einfluss auf die Lernleistung besitzen als auf jene mit hohem Vorwissen (Muthukumar, 2005). Damit weist das Prinzip individueller Unterschiede leichte Ähnlichkeiten zum Expertise-Umkehr-Effekt aus der Cognitive Load Theorie auf (vgl. Abschnitt 2.1.5). Begründet wird das Prinzip mit der höheren Fähigkeit zur Generierung mentaler Bilder bei Lernenden mit Expertise. Diese seien dadurch weniger von der Präsentationsform der multimedialen Botschaft abhängig.

Bezogen auf die räumlichen Fähigkeiten des Lernenden wird postuliert, dass jene mit ausgeprägten Kompetenzen von den oben aufgeführten Gestaltungsprinzipien stärker profitieren als solche mit geringen räumlichen Fähigkeiten. Erklärt wird das Prinzip mit der besseren Möglichkeit für Lernende hoher räumlicher Expertise, Bilder im visuellen Teil des Arbeitsgedächtnisses zu behalten. Dadurch erhöhe sich für diese der Nutzen durch die Präsentation einer zusammenhängenden, multimedialen Botschaft (Mayer, 1999). Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit wird der moderierende Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens im Zusammenhang mit dem Leserichtungseffekt aufgegriffen (s. Abschnitt II.1.5).

Bezüglich des Vorwissens wird das Prinzip individueller Unterschiede durch eine Vielzahl empirischer Studien gestützt (vgl. 2.1.5 Expertise-Umkehr-Effekt). Den moderierenden Effekt der räumlichen Fähigkeit stützen bisher lediglich zwei Experimente, die im Rahmen der CTML durchgeführt wurden (s. Mayer & Sims, 1994).

2.2.6. Fazit

Wie bei der CLT wird auch in der CTML ein „Weniger ist mehr“-Gedanke (vgl. a. Dwyer, 1972) bei der Gestaltung von Lernmaterialien vertreten, um das Arbeitsgedächtnis nicht unnötig zu belasten (z.B. Butcher, 2006; Moreno & Mayer, 2004). Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden Theorien (vgl. Abschnitt 2.1.6) stellt die Zurückweisung von Konzepten wie dem entdeckenden Lernen (discovery learning) oder der erfahrungsorientierten Erziehung (experiential education) dar (z.B. Mayer, Mautone et al., 2002). Stattdessen wird ein direktiveres Vorgehen bei der Wissensvermittlung propagiert, welches den Lernenden beim Aufbau verbaler und piktorialer, mentaler Modelle unterstützen soll (s. Abschnitt 2.2.4).

Neben der unzureichenden Berücksichtigung motivationaler und emotionaler Prozesse in der CTML (vgl. Abschnitt 2.1.6) und der widersprüchlichen Befundlage zu einzelnen Gestaltungsempfehlungen werden auch grundsätzliche Zweifel geäußert, ob sich die Befunde der CTML zu primär naturwissenschaftlichen Untersuchungsmaterialien auf Lernmaterialien zu sozialwissenschaftlichen Themen übertragen lassen. Erste Experimentalserien deuten darauf hin, dass eine Generalisierung der CTML auf derartige Wissensgebiete nicht statthaft ist (De Westelinck et al., 2005).

Insgesamt kann die kognitive Theorie multimedialen Lernens jedoch als theoretisch differenzierte Theorie bewertet werden, aus der sich eine Vielzahl von Empfehlungen für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen ableiten lässt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass trotz der eindrucklichen Anzahl an experimentellen Überprüfungen die empirische Befundlage für einzelne Empfehlungen zum Teil höchst uneinheitlich ausfällt. Außerdem liegen große versuchsplanerische Mängel in zahlreichen Experimenten zur CTML vor. Zudem finden in Überblicksartikeln zur CTML vornehmlich nur theoriestützende Befunde Erwähnung.

2.3. Weitere Theorien zu Multimedia und Animationen

Neben der CLT und der CTML existieren weitere Theorien, die jedoch in der derzeitigen Multimediaforschung eine untergeordnete Bedeutung spielen. Hier ließen sich das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (z.B. Baddeley, 2002) oder die duale Kodierungstheorie von Paivio (z.B. Paivio, 1986) anführen. Diese Modelle finden jedoch weniger als eigenständige Ansätze in der Forschung zu multimedialen Lernumgebungen Verwendung, sondern dienen primär als Grundlage für die oben aufgeführte CLT sowie CTML, wo sie bereits skizziert wurden (s. Abschnitt 2.1.1 u. 2.2.1). Sie werden daher nicht weiter erörtert, ebenso wenig wie das Vier-Komponenten-Instruktionsdesignmodell von van Merriënboer und Kester (2005), das als Rahmenmodell für die CLT und die CTML betrachtet werden kann und zu diesen beiden Konzepten keine neuen Perspektiven eröffnet.

Im Folgenden werden vier weitere Theorien zum multimedialen Lernen eingehender erörtert. Die kognitive Flexibilitätstheorie (s. Abschnitt 2.3.1) kritisiert die starke Vereinfachung von komplexen Lernmaterialien in der CLT und CTML und postuliert, beispielsweise durch den Einsatz multipler Repräsentationen diese Simplifizierungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Mit multiplen Repräsentationen und deren Klassifikation setzt sich das DeFT-Rahmenmodell näher auseinander, welches in Abschnitt 2.3.2 näher erörtert wird. Nach der Darstellung dieses Rahmenmodells wird ein weiteres, jedoch etwas breiter angelegtes Rahmenmodell von Lawrence J. Najjar vorgestellt (s. 2.3.3). Bei allen Modellen kann die zu starke kognitive Ausrichtung kritisiert werden, da motivationale und emotionale Prozesse weitgehend unbeachtet bleiben. Den Abschluss dieses Kapitels bildet das integrative Modell multimedialer Effekte beim Lernen von Andy Hede (s. 2.3.4). Hier finden motivationale und emotionale Einflüsse Berücksichtigung.

2.3.1. Kognitive Flexibilitätstheorie

Die schon etwas ältere – ursprünglich für Probleme im Zusammenhang mit komplexen Wissensgebieten entwickelte – kognitive Flexibilitätstheorie (CFT) von Rand J. Spiro (Jacobson & Spiro, 1995; Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988) kann im Kontext von sowohl hypertextbasierten (Spiro et al., 1988; Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1992a, 1992b; Spiro & Jehng, 1990) als auch multimedialen Lernumgebungen angewandt werden. Leider ist diese Theorie in der Multimediaforschung bisher kaum aufgegriffen worden, obwohl sie im Vergleich zur CLT (s. Abschnitt 2.1) und CTML (s. Abschnitt 2.2) häufig konträre Vorhersagen trifft und somit als Kontrastmodell oder zur Elaboration dieser beiden etablierten Theorien geeignet wäre.

Die CFT nimmt an, dass eine zu starke Vereinfachung komplexer Informationen die Lernleistung entscheidend beeinträchtigen kann (z.B. Spiro et al., 1988; Spiro, Vispoel, Schmitz, Samarapungavan & Boerger, 1987). Um dies zu verhindern, werden mehrere Gestaltungsempfehlungen postuliert, die nachfolgend erörtert werden sollen.

Multiple Wissensrepräsentationen

Die CFT weist darauf hin, dass unidimensionale Repräsentationen zur Abbildung von komplexen und schlecht strukturierten Wissensgebieten häufig zu Fehlinterpretationen zentraler Konzepte führen können (Spiro et al., 1988; Spiro et al., 1987). Um dies zu vermeiden und die mannigfaltige Natur dieser komplexen Informationen adäquat darstellen zu können, empfiehlt die CFT die Entwicklung multipler Repräsentationen zur Wissensdarstellung. Beispielsweise könnten verschiedene Analogien zur Annäherung an das Wissensgebiet oder unterschiedliche Perspektiven auf das Thema vorgestellt werden (Jacobson & Spiro, 1995).

Übertragung und Anpassung von abstrakten Konzepten auf verschiedene Fallbeispiele

Eine zweite Gestaltungsempfehlung der CFT sieht vor, die Übertragung und Anpassung von gelernten abstrakten Konzepten auf konkrete Einzelfälle zu demonstrieren und einüben zu lassen. Vor allem in schlecht strukturierten Themenbereichen existieren bezüglich der Anwendung der theoretischen Modelle auf ein konkretes Problem große Variationsbreiten. Um diesen Transfer zu bewerkstelligen, sollten dem Lernenden multiple Fallbeispiele präsentiert und die Nuancen bei der Anwendung der theoretischen Konzepte verdeutlicht werden (Spiro et al., 1988; Spiro & Jehng, 1990). Diese Gestaltungsempfehlung besitzt starke Ähnlichkeiten zum Variabilitätseffekt der CLT (s. Abschnitt 2.1.5),

Rechtzeitiges Aufzeigen der Komplexität des Bereiches

Die CFT kritisiert das gängige Vorgehen, komplexe Sachverhalte zunächst in lernergerechte Abschnitte zu unterteilen, die dann isoliert voneinander gelernt und anschließend miteinander verknüpft werden (Brown, 1989; Spiro et al., 1988). Dieser Ansatz, der in der CLT als Effekt der Isolation interagierender Elemente (s. Abschnitt 2.1.5) bezeichnet und in der CTML in Form des Segmentierungsprinzips (s. Abschnitt 2.2.5) vertreten wird, vereinfache das Lernmaterial über Gebühr und führe zu seiner Dekontextualisierung. Stattdessen solle laut CFT zu einem frühen Lernzeitpunkt auf die Komplexität des Materials verwiesen werden, ohne den Lernenden gänzlich zu überfordern. Dieses frühzeitige Aufzeigen der Komplexität eines Bereiches führe dazu, dass der spätere

Wissenserwerb sich nicht qualitativ vom früheren unterscheidet (Jacobson & Spiro, 1995). Interferenzen würden so vermieden.

Betonung der Wechselbeziehungen von Lerninhalten und ihrer netzwerkähnlichen Struktur

Wechselbeziehungen zwischen Lerninhalten und deren netzwerkähnliche Struktur sollten nicht durch Vereinfachungen ausgeblendet, sondern besonders betont werden (Jacobson & Spiro, 1995), beispielsweise durch multiple Verknüpfung der Lerninhalte in Form von Hyperlinks. Hyperlinks sind Verweise auf andere Dokumente in Hypertexten, die durch das Hypertextsystem automatisch verfolgt werden können. Dies ver helfe zum Aufbau eines tief greifenden und flexibel einsetzbaren Verständnisses. Im Gegensatz dazu führe die Vermittlung von isolierten und abstrakten Wissenseinheiten zur Etablierung von rigiden oder trägen Wissensrepräsentationen, die die Fähigkeit des Lernenden in der Anwendung des erworbenen Wissens auf neue Anwendungsgebiete eingrenzen (Bereiter & Scardamalia, 1985; Bransford, Franks, Vye & Sherwood, 1989; Spiro et al., 1987).

Unterstützung und Ermutigung zur Integration von Wissen

Bezüglich der Anwendung des gelernten Wissens geht die CFT davon aus, dass die Verwendung einzelner Wissensschemata zur Lösung neuer Problemsituationen nicht geeignet sei (Jacobson & Spiro, 1995). Stattdessen solle der Lernende durch Integration gelernter, abstrakter Konzepte und fallspezifischen Wissens bei der Lösung einer komplexen Problemsituation unterstützt und ermutigt werden.

Fazit

Die kognitive Flexibilitätstheorie von Rand J. Spiro verweist im Gegensatz zu den „Weniger-ist-mehr“-Ansätzen der CLT und CTML (s. Abschnitt 2.1 u. 2.2) auf die Wichtigkeit, die Komplexität des zu lernenden Inhaltes aufzuzeigen ohne den Lernenden kognitiv zu überfordern. In der Folge sollen flexible und multiple Wissensrepräsentationen beim Lernenden aufgebaut werden, die dieser in neuen Problemsituationen abrufen und anwenden kann. Dieser viel versprechende konstruktivistische Ansatz erfährt vereinzelt empirische Stützung. So zeigt sich beispielsweise in einer Untersuchung von Jacobson und Spiro (1995), dass gemäß der CFT gestaltete Lernumgebungen zwar wie erwartet zu einem schlechteren Wiederabruf von Faktenwissen führen als herkömmlich aufgebaute „Drill & Practice“-Umgebungen, Transferleistungen jedoch in der CFT-Bedingung besser ausfallen. Kritisiert werden kann, dass die einzelnen, oben aufgeführten Gestaltungsempfehlungen keiner getrennten Analyse unterzogen wurden, was zukünftig noch dringend erfolgen muss.

Auch insgesamt fällt die empirische Stützung zur CFT im Vergleich zur CLT und CTML relativ gering aus. Des Weiteren kann auch hier beanstandet werden, dass motivationale und emotionale Prozesse im Modell unberücksichtigt bleiben.

2.3.2. Design-Funktionen-Aufgaben Rahmenmodell

Ein weiteres Modell zum multimedialen Lernen wurde von Shaaron Ainsworth entwickelt. Das Rahmenmodell – im Englischen als Design, Functions, Tasks (DeFT) Framework bezeichnet – nimmt an, dass die Lernwirksamkeit multipler Repräsentationen von drei zentralen Parametern abhängig ist, nämlich das Design der Visualisierungen, ihre Funktionen zur Unterstützung des Lernprozesses sowie die kognitiven Aufgaben, die die Lernenden beim Umgang mit Repräsentationen bewältigen müssen (van Labeke & Ainsworth, 2001). Das DeFT-Modell dient zum einen der Integration bisheriger, oftmals inkonsistenter Befundlagen in der Multimediaforschung, zum anderen der Orientierungshilfe für weitere Untersuchungen in diesem Bereich.

Durch die Fokussierung auf multiple Repräsentationen kann das Modell unmittelbar an die kognitive Flexibilitätstheorie (s. Abschnitt 2.3.1) anknüpfen. Während Jacobson und Spiro (1995) die Wichtigkeit der Darbietung multipler Wissensrepräsentationen betonen, spezifiziert Ainsworth (1999), welche Funktionen Abbildungen besitzen können und schlüsselt entsprechende Empfehlungen zur Gestaltung auf die unterschiedlichen Funktionen auf. Nachfolgend sollen die drei zentralen Parameter des Rahmenmodells näher erörtert werden.

Design

Das Design von multipler Repräsentationen bezieht sich auf die Art der Gestaltung von externalen Repräsentationen, die den Lernprozess und dessen Wirksamkeit beeinflussen (Ainsworth, 2006). Als Designdimensionen werden im DeFT-Rahmenmodell die Anzahl an Abbildungen, die Art der Informationsvermittlung, die Präsentationsform und deren Sequenz sowie die Unterstützung bei der Übersetzung der Repräsentationen aufgeführt.

Bezüglich der Anzahl an Abbildungen geht Ainsworth (2006) davon aus, dass die Darbietung multipler Repräsentationsformen Vor- und Nachteile für den Lernprozess mit sich bringen kann. Als vorteilhaft wird angeführt, dass einzelne Abbildungen nicht zu stark überfrachtet werden sollten, damit sich für die Lernenden bessere Gelegenheiten böten, korrekte Generalisierungen bezüglich des zu vermittelnden Konzeptes zu entwickeln ebenso wie die Fähigkeit auszubilden, multiple Perspektiven zu einem Lerninhalt aufzubauen und zwischen diesen Perspektiven zu wechseln. In theoretischer Hinsicht kann dies mit der

kognitiven Flexibilitätstheorie von Spiro (s. Abschnitt 2.3.1), dem Variabilitätseffekt in der CLT (s. Abschnitt 2.1.5) und dem Konzept der perzeptuellen Variabilität (= gleiche Konzepte werden verschiedenartig repräsentiert) von Dienes (1973) begründet werden. Auch empirisch erfahren diese Überlegungen durch den Befund Stützung, dass Lerner von multiplen Repräsentationen profitieren können (z.B. Cox & Brna, 1995; Mayer & Sims, 1994; Tabachneck, Koedinger & Nathan, 1994).

Neben den Chancen multipler, externaler Abbildungen können sich auch Risiken ergeben. Mehrere Studien zeigen, dass Lernende dazu tendieren, die dargebotenen Repräsentationen isoliert voneinander zu betrachten und Schwierigkeiten haben, Informationen von mehr als einer Quelle zu integrieren (z.B. Chandler & Sweller, 1992; De Jong et al., 1998; Scanlon, 1998; Tabachneck-Schijf & Simon, 1998). Deshalb sollten nicht zu viele Repräsentationen dargeboten und noch näher zu skizzierende Maßnahmen ergriffen werden (Teilabschnitt „Funktionen“, siehe unten).

Hinsichtlich der Informationsvermittlung kann die Informationsüberschneidung auf einem Kontinuum angesiedelt werden. An ihren Enden befinden sich multiple Abbildungen, die entweder vollkommen redundant zueinander sind oder aber gänzlich andersartige Lerninhalte beinhalten. Entsprechend unterschiedlich schwer fällt dem Lernenden die Integration dieser Vielzahl von Quellen (Ainsworth, 2006). In diesem Zusammenhang sollte vor allem die Expertise der Zielgruppe berücksichtigt werden (vgl. Expertise-Umkehr-Effekt der CLT, Abschnitt 2.1.5).

Eine weitere Designdimension stellt die Präsentationsform dar. Hier zählt Ainsworth (2006) u.a. Bilder, Texte, Animationen, Geräusche, Gleichungen und Graphen auf, die voneinander unterschieden werden können. Weitere Unterscheidungsmöglichkeiten betreffen die Vorgabe von statischen oder dynamischen Abbildungen und die Dimensionalität (2D vs. 3D) der Präsentation. Ansätze zur Kategorisierung unterschiedlicher Präsentationstypen (z.B. Cox, 1996; Lohse, Biolsi, Walker & Rueler, 1994) haben sich bisher noch nicht durchsetzen können. Nach dem DeFT-Modell ist die Entscheidung des Präsentationsformats in Abhängigkeit von den Funktionen der multiplen Repräsentationen zu treffen (siehe unten).

Neben der Frage der Präsentationsform ist von großer Bedeutung, ob die multiplen Repräsentationen sequentiell oder simultan dargeboten werden. Bei sequentieller Darstellung ist festzulegen, ob die Lernenden selbst die Reihenfolge der Abbildungen bestimmen können oder ob die Lernumgebung eine bestimmte Abfolge vorgibt (Ainsworth, 2006). Bei

vorgegebener Reihenfolge sollte darauf geachtet werden, dass neue Repräsentationen nicht zu spät eingeführt werden (Resnick & Omanson, 1987).

Bezüglich der Unterstützung bei der Übersetzung der Repräsentationen haben zwei Aspekte besondere Beachtung gefunden. Erstens muss festgelegt werden, in welchem Ausmaß der Lernende durch den Computer unterstützt werden soll. Als einfachste Form der Unterstützung bietet sich die Verwendung impliziter Hinweiszeichen und Farben an, um Beziehungen zwischen verschiedenen Abbildungen aufzuzeigen (Dufour-Janvier, Bednarz & Belanger, 1987). Eine aktivere Form der Unterstützung ist gegeben, wenn der Lernende ein Teilelement der ersten Repräsentation auswählen und an Hand dessen überprüfen kann, wie dieses mit einer zweiten Repräsentation korrespondiert (Brünken, Plass & Leutner, 2003). Als dyna-linking bezeichnet man die Konstellation, dass die Interaktion mit einer Abbildung auch zu Veränderungen in weiteren Abbildungen führt. Auch wenn allgemein angenommen wird, dass dyna-linking die kognitive Belastung des Lernenden reduziert, existieren bisher keine stützenden, empirischen Belege für diese Behauptung (Ainsworth, 2006). Zudem wird an diesem Konzept kritisiert, dass das aktive Reflektieren des Lerninhaltes möglicherweise verhindert werde und sich somit kein tieferes Verständnis des Lernstoffes einstelle. Befunde von Seufert (1999) stützen die Annahme, dass das Ausmaß an instruktionalen Hilfestellungen in Abhängigkeit von der Expertise variieren sollte (vgl. Expertise-Umkehr-Effekt der CLT, s. Abschnitt 2.1.5).

Um eine aktive Verarbeitung des Lernmaterials zu gewährleisten, kann die aktive Integration von Repräsentationen in der Lernumgebung (z.B. in Form von Drag & Drop-Techniken) eingefordert und der Erfolg des Lernenden bewertet werden. Erste Untersuchungen stützen diese Annahme (Bodemer, Ploetzner, Feuerlein & Spada, 2004).

Der zweite Aspekt betrifft die Unterstützung auf einer syntaktischen oder einer semantischen Ebene (auch als Oberflächen- und Tiefenebene bezeichnet, s. Seufert & Brünken, 2004). Systematische Untersuchungen zu dieser Frage stehen noch aus, wobei wahrscheinlich auch hier das Vorwissen einen moderierenden Einfluss ausüben dürfte (Ainsworth, 2006).

Funktionen

Externale Repräsentationen können unterschiedliche pädagogische Funktionen hinsichtlich des Lernens aufweisen. Ainsworth (2006) unterscheidet hier zwischen den Funktionen, die sich bei Vorgabe einer einzelnen Abbildung ergeben und jenen, die bei Darbietung multipler Repräsentationen auftreten.

Bei der Darstellung einer einzelnen, externalen Repräsentation sind nach Scaife und Rogers (1996) drei Funktionen voneinander zu unterscheiden: die Reduktion der kognitiven Belastung, die Re-Repräsentation und die graphische Beschränkung.

Die Reduktion der kognitiven Belastung beschreibt, wie stark die benötigte, kognitive Anstrengung des Lernenden zur Lösung eines Problems durch die Abbildung reduziert wird. Zu beachten ist, dass auch bei Informationsäquivalenz sich Repräsentationen in dieser Hinsicht voneinander unterscheiden können. So ist das Ablesen von Verläufen in Liniendiagrammen einfacher als in Tabellen (Culbertson & Powers, 1959; Hartley, 1985; Wainer & Thissen, 1981; Washburne, 1927).

Der Aspekt der Re-Repräsentation bezieht sich auf den Einfluss von Repräsentationen auf den Problemlösungsprozess. Zhang und Norman (1994) nennen als Beispiel die Erschwerung einer Multiplikation mit römischen Ziffern für Personen, die gewöhnlich mit dem Dezimalsystem operieren (LXVIII x X vs. 68 x 10).

Die graphische Beschränkung betrifft das Ausmaß an Schlussfolgerungen, welche durch die Abbildungen getroffen werden können. Während Textbeschreibungen einen großen Freiraum für Interpretationen zulassen (z.B. „Das Messer liegt neben der Gabel.“), beschränken Bilder diesen Spielraum i. d. R. weitaus stärker (z.B. ist auf dem Bild erkennbar, wo und in welcher Entfernung sich Messer und Gabel zueinander befinden). Das letztgenannte Beispiel deckt sich mit der Unterscheidung zwischen deskriptiven und depiktionalen Repräsentationen von Schnotz (2005).

Bei der Präsentation multipler, externaler Repräsentationen können drei zentrale Funktionen voneinander unterschieden werden: komplementäre Funktionen, beschränkende Funktionen sowie der Aufbau eines tieferen Verständnisses (s. Abb. 7).

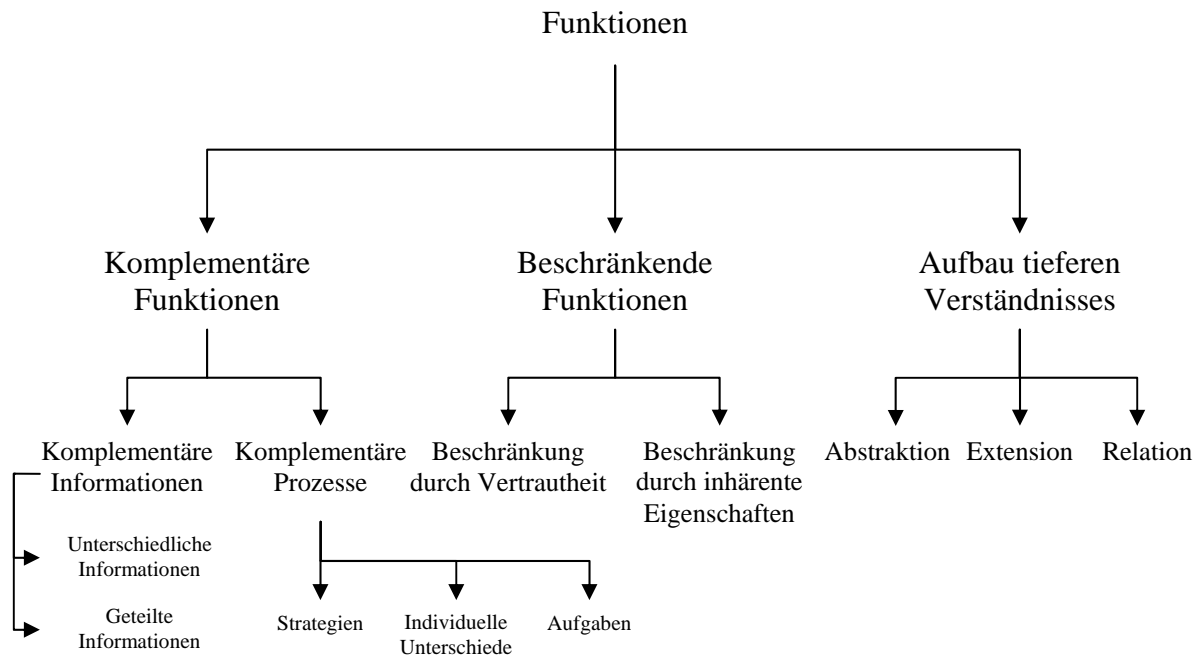


Abb. 7: Darstellung der funktionalen Taxonomie multipler Repräsentationen (angelehnt an Ainsworth, 1999).

Komplementäre Funktionen beziehen sich auf multiple Abbildungen, die sich entweder hinsichtlich der in ihnen enthaltenen Informationen oder aber bezüglich ihrer Prozesse bei der Reduktion der kognitiven Belastung, der Re-Repräsentation und der graphischen Beschränkung (siehe oben) voneinander unterscheiden.

Komplementäre Informationen in multiplen Repräsentationen können vor allem dann von Nutzen sein, wenn eine einzelne Abbildung, die alle Informationen enthielte, zu kompliziert zu verstehen wäre, oder aber wenn die Informationen sich auf vollkommen unterschiedlichen Skalen befänden (Ainsworth, 2006). Des Weiteren wird unterschieden, ob jede Repräsentation gänzlich unterschiedliche Informationsaspekte des Lerninhaltes bereithält oder Informationsüberschneidungen existieren (s. Abb. 7).

Komplementäre Prozesse beziehen sich auf multiple Repräsentationen, die zwar dieselben Informationen bereitstellen, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß kognitive Prozesse anregen und unterstützen. Dies kann hinsichtlich der Aspekte Strategien, individuelle Unterschiede und Aufgaben von Vorteil sein.

Mit dem Aspekt Strategie ist gemeint, dass multiple, externale Abbildungen den Lernenden dazu veranlassen, mehr als nur eine Vorgehensweise bei der Problemlösung anzuwenden. Somit können die Schwächen einzelner Strategien durch andere kompensiert und die Lernleistungen verbessert werden (Cox, 1996; Tabachneck et al., 1994).

Auch individuelle Unterschiede lassen sich durch die Darbietung multipler Repräsentationen besser berücksichtigen. Die Annahme ist, dass Lernende diejenige Abbildung auswählen, die ihren individuellen Lernbedürfnissen oder ihren unterschiedlichen Lernstilen am besten entspricht (Ainsworth, 2006). Auf Basis der empirischen Befundlage muss allerdings angezweifelt werden, ob Lerner die geeignete Auswahl bei der Präsentation diverser Repräsentationen treffen (z.B. Dekeyser, 2001; Klein, 2003; Roberts, Gilmore & Wood, 1997) und ob die Berücksichtigung von Lernstilen zu einer praktisch bedeutsamen Varianzaufklärung bezüglich der Lernleistung führt (Coffield, Moseley, Hall & Ecclestone, 2004).

Im Hinblick auf die im Anschluss präsentierten Lernaufgaben wird angenommen, dass die Lernleistung umso besser ausfällt, je größer die Passung zwischen diesen Aufgaben und den zuvor dargebotenen Repräsentationen ist. Werden mehrere Abbildungen angeboten, so kann hierdurch die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass eine der Repräsentationen eine hohe Passung zu späteren Lernaufgaben aufweist. Dieser Vorteil multipler Repräsentationen, der auch im Rahmenmodell von Najjar (s. Abschnitt 2.3.3: Lerntests) aufgegriffen wird, findet empirische Bestätigung (Beagles-Roos & Gat, 1983; Bibby & Payne, 1993; Dwyer, 1967, 1978; Garrison, 1978; Poon, Szabo & Ally, 1977; Tapiero, 2001).

Als zweite zentrale Funktion multipler Abbildungen führt Ainsworth (2004) die beschränkende Funktion an. Diese kann durch die Vertrautheit mit einer Repräsentation auftreten, die die Interpretation einer anderen, weniger vertrauten Darstellung einschränkt. Eine andere Möglichkeit stellen die inhärenten Eigenschaften von Repräsentationen dar. Beispielsweise sind graphische Visualisierungen grundsätzlich spezifischer als Textbeschreibungen (siehe oben). Um sicherzustellen, dass die beschränkende Funktion einer Repräsentation vom Lernenden erkannt wird, bieten sich laut DeFT-Modell einheitliche Bezeichnungen in den multiplen Repräsentationen sowie die Verwendung von dyna-linking (siehe oben) an.

Als dritte zentrale Funktion multipler Repräsentationen wird der Aufbau eines tieferen Verständnisses des Lerninhaltes durch die Integration der verschiedenen Darstellungen genannt (vgl. a. Abschnitt 2.3.1). Dieses tiefere Verständnis soll auch das Lösen von Transferaufgaben begünstigen und lässt sich nochmals in die drei Prozesse Abstraktion, Extension und Relation unterteilen.

Abstraktion wird als Prozess definiert, in welchem der Lernende mentale Entitäten generiert, die als Basis für neue Vorgehensweisen und zur Entwicklung von Konzepten auf einem höheren Organisationsniveau befähigen.

Extension kann als Prozess verstanden werden, bei dem das Wissen um eine bekannte Repräsentation auf eine unbekannte ausgeweitet wird, ohne die vorhandene Wissensstruktur entscheidend abändern zu müssen.

Relationale Prozesse beziehen sich auf die Verknüpfung von Abbildungen, wobei auch hier die existierende Wissensstruktur nicht gravierend modifiziert wird. Relationale Prozesse können entweder ein eigenes Ziel bei der Wissensvermittlung darstellen oder auch als Grundlage für Abstraktionsprozesse dienen.

Der Aufbau eines tieferen Verständnisses des Lerninhaltes ist besonders schwierig zu erreichen, da die Integration multipler Abbildungen nicht nur in oberflächlicher Art und Weise stattfinden sollte, aber auch nicht zu schwierig sein sollte, um ein Ausbleiben der Integration von Repräsentationen zu verhindern. Hier bietet sich nach Ainsworth (1999) eine adaptive, instruktionale Unterstützungsmaßnahme an, die sich in Abhängigkeit der Lernleistung verändert. Sofern die Lernleistung des Lernenden während des Umganges mit der Lernumgebung steigt, sollte die Unterstützung durch das Lernprogramm sukzessive ausgeblendet werden. Wenn der Lernende jedoch Fehler produziert, ist unmittelbar eine Hilfestellung anzubieten. Dieses Ausblenden an instruktionalen Hilfsmaßnahmen besitzt große Ähnlichkeiten mit dem Effekt der abschwächenden Unterstützung der CLT (s. Abschnitt 2.1.5).

Es ist zu beachten, dass in der Praxis mehrere der genannten Funktionen (s. Abb. 7) gleichzeitig auftreten können (Ainsworth, 2006).

Aufgaben

Beim Lernen mit externalen Repräsentationen muss der Lernende mehrere kognitive Aufgaben meistern. Zunächst sollte der Lernende die Gestalt der Abbildung verstehen. Bei einem Liniendiagramm ist die Gestalt beispielsweise durch Linien, Achsen sowie Bezeichnungen der einzelnen graphischen Objekte gekennzeichnet. Im Zusammenhang mit dem Verständnis der Repräsentationsgestalt sind die zulässigen Operationen für eine dargebotene Repräsentation zu erlernen. Bezogen auf das Liniendiagramm ist dies z.B. die Identifikation von Minima oder Maxima des Graphen. Empirisch kann gezeigt werden, dass Lernende – insbesondere Novizen – Schwierigkeiten haben, die Gestalt der Abbildung zu

verstehen und geeignete Operationen durchzuführen (Friel, Curcio & Bright, 2001; Kaput, 1989; Leinhardt, Zaslavsky & Stein, 1990; Petre & Green, 1993; Preece, 1993).

Eine weitere kognitive Aufgabe für den Lernenden stellt die Herstellung einer Beziehung zwischen der Repräsentation selbst und dem repräsentierten Themengebiet dar. So müssen Lerner entscheiden, welche Operation bei einer Repräsentation angewandt werden kann, um die gesuchte Information eines Themengebietes abzurufen. Auch hier zeigt sich, dass Lerner große Schwierigkeiten haben, solche kognitiven Aufgaben erfolgreich zu absolvieren (Brna, 1996; Leinhardt et al., 1990).

Des Weiteren müssen Lernende in einigen Lernumgebungen eine geeignete Repräsentation auswählen und dabei situations- und aufgabenspezifische Aspekte berücksichtigen. So sind Balkendiagramme dann zu bevorzugen, wenn Vergleiche zwischen diskreten Datenpunkten vorgenommen werden sollen, während Liniendiagramme eine bessere Darstellung von stetigen Verläufen ermöglichen. Untersuchungen bestätigen, dass Lerner in bestimmten Situationen geeignete Repräsentationen auswählen (Novick, Hurley & Francis, 1999; Zacks & Tversky, 1999), wobei auch hier von Unterschieden zwischen Experten und Novizen auszugehen ist (Kozma & Russell, 1997).

Neben den bereits aufgeführten kognitiven Aufgaben müssen Lernende in zahlreichen Situationen auch eigenständig Repräsentationen erstellen. Dabei zeigt sich, dass sie oftmals ungenaue Abbildungen generieren (Cox, 1996). Trotz dieser ungenauen Repräsentationen können dennoch richtige Schlussfolgerungen gezogen und ein besseres Verständnis durch die Erstellung der entsprechenden Abbildungen erzielt werden.

Die bisher skizzierten kognitiven Aufgaben beziehen sich auf das Lernen mit mindestens einer externalen Repräsentation. Bei Darbietung multipler Abbildungen müssen noch weitere kognitive Aufgaben bewältigt werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei das Verständnis, wie die einzelnen Abbildungen aufeinander zu beziehen sind. Gerade diese kognitive Leistung wird von vielen Lernenden jedoch als schwer empfunden (Anzai, 1991; Schoenfeld, Smith & Arcavi, 1993). Zudem kann es passieren, dass Lernenden diese kognitive Leistung misslingt (Borba, 1994; Dufour-Janvier et al., 1987), was ggf. den Lerneffekt gänzlich verhindert (Ainsworth, Bibby & Wood, 2002).

Um zu verstehen, welche Faktoren die Schwierigkeit beeinflussen, multiple Repräsentationen zu integrieren, werden im Folgenden die Charakteristika der Repräsentationen und des Lernenden näher erörtert.

Bezüglich der Repräsentationscharakteristika wird davon ausgegangen, dass die Schwierigkeit multiple Repräsentationen aufeinander zu beziehen mit der Unterschiedlichkeit der Abbildungen und ihren möglichen Operationen ansteigt. Repräsentationen können sich in zahlreichen Dimensionen voneinander unterscheiden. Beispielsweise genannt seien der durch die Abbildung angesprochene sensorische Kanal, die Modalität der Repräsentation, deren Abstraktionsniveau, die Spezifität der Abbildung, der Typ der Repräsentation sowie die Frage, ob es sich um eine statische oder dynamische (s. Abschnitt 1.1), zwei- oder dreidimensionale Abbildung handelt (Ainsworth, 2006).

Hinsichtlich der Lernercharakteristika werden von Ainsworth (2006) die Vertrautheit mit der Repräsentation und dem Themenbereich, das Alter sowie weitere individuelle Unterschiede aufgeführt, die den Einfluss der Repräsentationscharakteristika moderieren können. Grundsätzlich fällt es Novizen, Kindern und jüngeren Jugendlichen schwerer, multiple Repräsentationen adäquat zueinander in Beziehung zu setzen (Moore & Scevak, 1997; Stern, Aprea & Ebner, 2003).

Fazit

Das DeFT-Rahmenmodell von Shaaron Ainsworth beschreibt die Lernwirksamkeit multipler Repräsentationen in Abhängigkeit von drei zentralen Parametern. Diese umfassen das Design der Visualisierungen, ihre Funktionen zur Unterstützung des Lernprozesses sowie die kognitiven Aufgaben, die die Lernenden beim Umgang mit den Repräsentationen bewältigen müssen. Das Modell spezifiziert damit im Gegensatz zur kognitiven Flexibilitätstheorie (s. Abschnitt 2.3.1) genauer, welche Funktionen Repräsentationen besitzen können und schlüsselt entsprechende Empfehlungen zur Gestaltung auf diese Funktionen auf. Allgemein ist vor allem darauf zu achten, den Lernenden durch die Darbietung multipler Abbildungen nicht zu überfordern und gleichzeitig zu verhindern, dass die Repräsentationen nur in oberflächlicher Art und Weise verarbeitet werden.

Die Berücksichtigung von moderierenden Einflüssen durch individuelle Lernerunterschiede auf den Zusammenhang zwischen dem Instruktionsmaterial und dessen Lernwirksamkeit weist darauf hin, dass es sich um ein elaboriertes Rahmenmodell innerhalb der Multimediaforschung handelt. Bezüglich der empirischen Befundlage zum Modell von Ainsworth ist jedoch anzumerken, dass es bisher deutlich weniger Stützung erfährt als die beiden dominierenden Theorien zum multimedialen Lernen (CLT und CTML; s. Abschnitt 2.1 u. 2.2). Wie auch bei diesen Theorien ist beim DeFT-Modell zu kritisieren, dass motivationale und emotionale Prozesse weitgehend unberücksichtigt bleiben.

2.3.3. Rahmenmodell für das Lernen mit Multimedia

Lawrence J. Najjar entwickelte für das Lernen in Multimediaumgebungen ein Rahmenmodell, um die inkonsistenten Lerneffekte multimedialer Botschaften besser vorhersagen und erklären zu können (Najjar, 1997). Neben der Entwicklung dieses Modells hat Najjar auch weitere Arbeiten im Kontext der Multimediaforschung durchgeführt. So stellte er beispielsweise detailliert dar, wie man die Duale Kodierungstheorie von Allan Paivio (1986) als Erklärungsansatz für das Multimedialernen einsetzen kann. Neuerdings hat Najjar (2005) Designempfehlungen für die Benutzeroberfläche von Java Applikationen generiert.

Sein Rahmenmodell für das Lernen in Multimediaumgebungen basiert auf der Annahme, dass vier zentrale Faktoren bei der Evaluation von multimedialen Lernumgebungen berücksichtigt werden sollten. Diese beinhalten die Eigenschaften des Lernenden, der Lernmaterialien, der präsentierten Aufgaben während des Lernprozesses sowie der im Anschluss präsentierten Lernfragen (Najjar, 1997). Damit besitzt das Modell unmittelbare Ähnlichkeiten zu Konzeptionen von Jenkins (1978) und Bransford (1978). Letztere sieht statt der Eigenschaften der präsentierten Aufgaben während des Lernprozesses lediglich die Lernaktivitäten des Lernenden als vierten zu berücksichtigenden Faktor vor.

Lerner

Hinsichtlich der Lernereigenschaften führt Najjar (1995) das bereichsspezifische Vorwissen und die kognitiven Fähigkeiten des Lernenden auf. Multimedial präsentierte Botschaften seien dabei für Personen mit geringem Vorwissen und niedrigen kognitiven Fähigkeiten effektiver.

Najjar argumentiert, dass Novizen das Vorwissen zum Verständnis und zur Integration der neuen Informationen fehle, sodass diese nicht wüssten, worauf sie ihre Aufmerksamkeit fokussieren sollten. Zudem fehle ihnen ein kognitives Modell, mit dem sie die neuen Informationen verknüpfen könnten. Experten hingegen besäßen ein solches mentales Modell, sodass diese weniger abhängig von der Güte der Informationsdarbietung seien (Najjar, 1995). Für den moderierenden Einfluss des Vorwissens führt Najjar (1995, 1997) eine Reihe von stützenden Untersuchungen auf (Dean & Enemoh, 1983; Kanner, J. H., Runyon & Desiderato, 1954; Kanner, J. M. & Rosenstein, 1960; Kraft, M. E., 1961; Kunz, Drewniak & Schott, 1989; Mayer & Gallini, 1990). Des Weiteren könnten Befunde im Kontext des Expertise-Umkehr-Effektes (s. Abschnitt 2.1.5) der CLT und des Prinzips individueller Unterschiede (s. Abschnitt 2.2.5) der CTML herangezogen werden.

Bezüglich der kognitiven Fähigkeiten stellt Najjar die Hypothese auf, dass Personen mit hohen kognitiven Fähigkeiten weniger stark von multimedialen Instruktionsmaterialien profitieren, da diese Lerner unabhängig von den Lernmaterialien gute Lernergebnisse erzielen würden (Najjar, 1997). Auch diese Annahme kann durch empirische Befunde gestützt werden (Blake, 1977; Wardle, 1977). Sie widerspricht aber dem Prinzip individueller Unterschiede (s. Abschnitt 2.2.5) der CTML, da hier davon ausgegangen wird, dass Lernende mit hohen kognitiven Fähigkeiten, wie z.B. einem ausgeprägten räumlichen Vorstellungsvermögen, besonders stark von einer adäquaten Gestaltung der Instruktionsmaterialien profitieren würden. Der moderierende Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens wird auch im Abschnitt II.1.5 des empirischen Teils der vorliegenden Arbeit näher untersucht.

Sowohl für Vorwissen als auch für kognitive Fähigkeiten kann kritisiert werden, dass der Moderatoreffekt auch aufgrund eines auftretenden Deckeneffektes für Lerner mit guten Leistungen zustande gekommen sein könnte. Diese Problematik wird in den oben aufgeführten Studien nicht näher erörtert.

Lernmaterialien

Der zweite zu beachtende Faktor bei der Evaluation von multimedialen Lernumgebungen sind die Charakteristika der Lernmaterialien. So seien nach Najjar (1997) Illustrationen beim Lernen bildhafter und räumlicher Informationen Texten überlegen, während der Erwerb verbaler Informationen mit Hilfe von Texten und sprachlichen Erklärungen teilweise besser vonstatten gehe als mit Bildern. Auch für diese Behauptung kann Najjar zahlreiche empirische Studien aufführen, wobei insbesondere Befunde zum Bildüberlegenheitseffekt zu nennen sind (Carney & Levin, 2002; Levie & Lenz, 1982; Levin et al., 1987).

Neben diesen stützenden Belegen ist in theoretischer Hinsicht hervorzuheben, dass der postulierte Interaktionseffekt zwischen Informations- und Präsentationsart die Duale Kodierungstheorie von Paivio (1986) und das Multimediaprinzip von Mayer (s. Abschnitt 2.2.5) weiter ausdifferenzieren. Kritisch angemerkt werden muss jedoch, dass Najjar nicht die vorhandene Konfundierung zwischen Codierungsform (z.B. Text vs. Bilder) und Präsentationsgüte (z.B. ein gut verfasster Text vs. ein schlecht konzipiertes Bild und umgekehrt) aufzuheben vermag, sodass auch hier die gleichen versuchsplanerischen Bedenken bei derartigen Vergleichen angeführt werden können, die bereits in Abschnitt 1.2 erörtert wurden.

Lernaufgaben

Als dritter Faktor sind die Eigenschaften der präsentierten Aufgaben während des Lernprozesses zu beachten. Hier sei insbesondere sicherzustellen, dass eine aktive Informationsverarbeitung durch den Lernenden erfolge (Najjar, 1997). Dies könne u.a. durch den Einsatz interaktiver Elemente (Rieber, 1989, 1990b), dem Lesen anstelle dem Hören eines dargebotenen Textes (Aldrich & Parkin, 1988; Baggett & Ehrenfeucht, 1983; Palmiter & Elkerton, 1992; Pezdek, Lehrer & Simon, 1984) sowie der Aufforderung zur Informationsvervollständigung (Thomson & Barnett, 1981) sichergestellt werden.

Dabei sollte beachtet werden, dass die Art der aktiven Verarbeitung auf den Bedeutungsgehalt und weniger auf Oberflächenmerkmale der Lernmaterialien abzielt (vgl. a. Craik & Tulving, 1975).

Lerntests

Bezüglich der Lerntests geht Najjar (1997) davon aus, dass die Leistungen der Lernenden dann höher ausfallen, wenn die Art und Weise der Informationsdarbietung mit der Art und Weise der anschließenden Informationsabfrage korrespondiert (vgl. hierzu das Konzept der Enkodierspezifität; Tulving & Thompson, 1973). So zeigen Kinder in einem verbalen Lerntest dann höhere Lernleistungen, wenn die Informationen verbal und nicht verbal-bildhaft präsentiert werden. Bei einem Bildtest hingegen verhält es sich umgekehrt (Beagles-Roos & Gat, 1983). Andere Forscher können ähnliche Effekte belegen (Bibby & Payne, 1993; Dwyer, 1967, 1978; Garrison, 1978; Poon et al., 1977; Tapiero, 2001). Daher empfiehlt Najjar (1997), multimediales Instruktionsformat und Lerntest aufeinander abzustimmen. Dies wird im Englischen als transfer-appropriate processing bezeichnet.

Der Einfluss dieser Kongruenz, der auch einen Vergleich zwischen verschiedenen Codierungsformen wie Texten, Bildern und Animationen erschwert (vgl. Abschnitt 1.2), wird in anderen Theorien zum multimedialen Lernen zumeist vernachlässigt (Ausnahme: DeFT-Modell von Ainsworth; s. Abschnitt 2.3.2).

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Najjar für die Evaluation von multimedialen Lernumgebungen ein einfaches Rahmenmodell entworfen hat, welches die oben genannten vier Faktoren beinhaltet, die als Leitfaden zur Bewertung der Lernumgebung dienen können. Diese liefern wertvolle Ergänzungen zu anderen Theorien multimedialen Lernens, insbesondere weil sie interessante Moderator- und Mediatoreffekte beinhalten.

Hauptkritikpunkte an Najjars Modell sind die fehlende Berücksichtigung von methodischen Problemen beim Vergleich verschiedener Lernmedien (s. Abschnitt 1.2) und die relativ geringe Anzahl an ableitbaren Empfehlungen für die Gestaltung von multimedialen Instruktionsmaterialien. Darüber hinaus ist auch das Modell von Najjar sehr stark kognitiv ausgerichtet und vernachlässigt motivationale und emotionale Faktoren beim Lernen. Diese Faktoren finden im nächsten vorzustellenden Modell Berücksichtigung.

2.3.4. Integratives Modell multimedialer Effekte beim Lernen

Das integrative Modell multimedialer Effekte beim Lernen von Andy Hede (2002) soll – ähnlich wie Najjars Modell (s. Abschnitt 2.3.3) – als Rahmenmodell dienen, um die inkonsistente Befundlage in der Multimediaforschung aufklären zu können. Dazu werden 12 verschiedene Konstrukte postuliert, die ihrerseits zumeist multidimensionaler Natur sind (s. Abb. 8). Des Weiteren wird der Informationsfluss in Abb. 8 beim Lernen in einer multimedialen Lernumgebung durch die fettgedruckten Pfeile visualisiert, während die dünneren Pfeile kausale oder korrelative Zusammenhänge darstellen. Pfeile, die auf zwei Konstrukte zeigen, beschreiben eine reziproke Beziehung der entsprechenden Variablen.

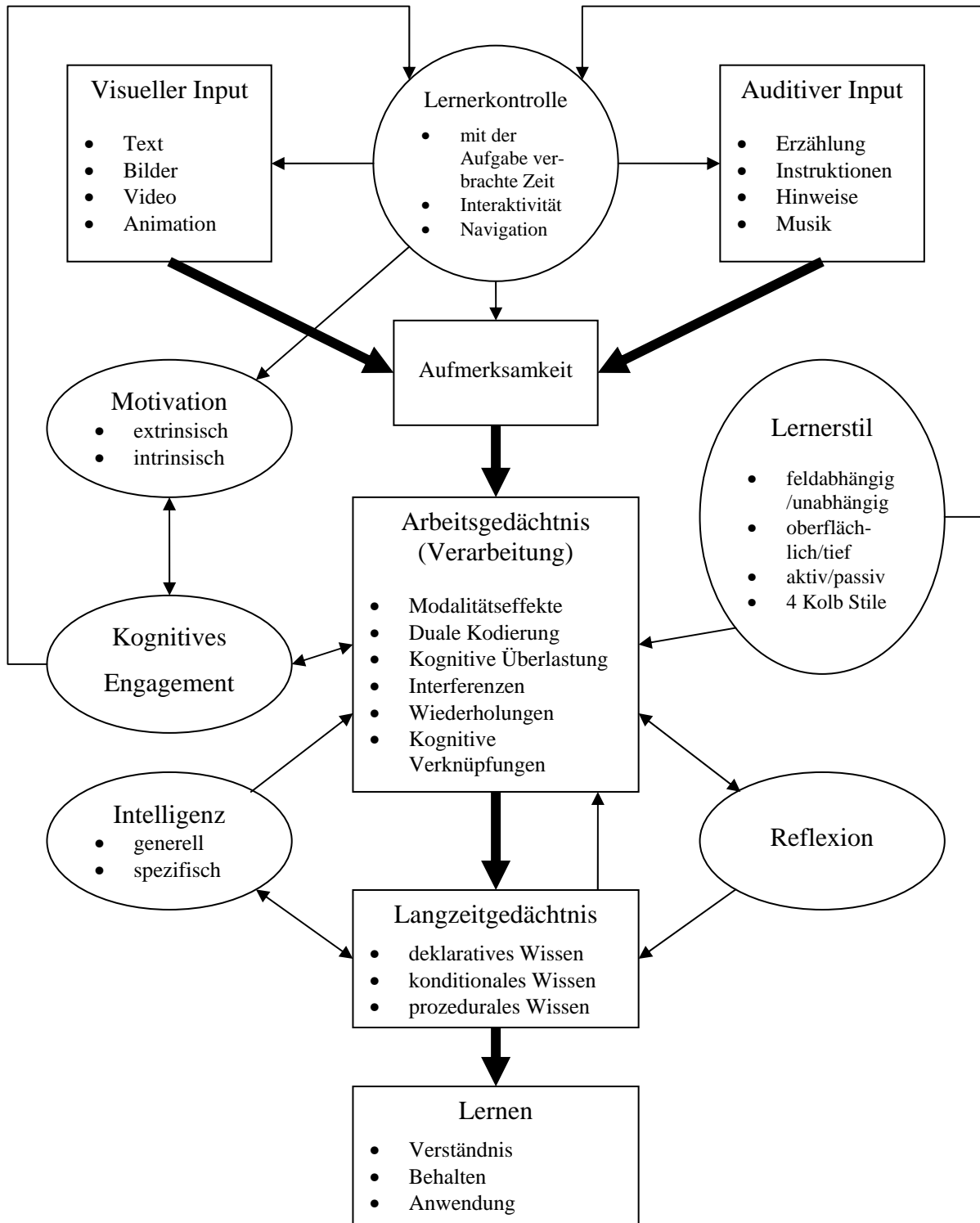


Abb. 8: Darstellung des integrativen Modells multimedialer Effekte beim Lernen (angelehnt an Hede, 2002).

Zur näheren Beschreibung des Modells können die 12 Konstrukte in die vier Teilgruppen multimedialer Input, kognitive Verarbeitung, Lernerdynamiken sowie Wissen und Lernen gegliedert werden (Hede, 2002).

Multimedialer Input

Der multimediale Input beinhaltet den visuellen und auditiven Input sowie die Lernerkontrolle. Als visueller Input sind Texte, Bilder, Videos und Animationen zu nennen, während der auditive Input aus Erzählungen oder Kommentaren, Instruktionen, Hinweisen, aber auch Musik bestehen kann. Eine multimediale Botschaft kann sich dabei aus beliebigen Kombinationen dieser Unterelemente zusammensetzen, wobei sich nicht alle Bedingungskombinationen als effektiv für die Informationsübermittlung erwiesen haben (Hede, 2002).

Der visuelle und auditive Input sind in dem Modell von Hede (s. Abb. 8) Mediatorvariablen, die sich zwischen Lernerkontrolle und Aufmerksamkeitsprozessen befinden. Die Lernerkontrolle, d.h. die Art und Weise, wie der Lernende mit dem Instruktionsformat umgeht, ist für die Auswahl und Weiterverarbeitung bestimmter Informationsinhalte durch den Lernenden von entscheidender Bedeutung. Die Informationsaufnahme wird durch die mit den Instruktionsmaterialien verbrachte Zeit, durch Art und Weise der Navigation sowie durch Verwendung interaktiver Elemente beeinflusst. Während die Lernerkontrolle in der Literatur generell eher als positive Eigenschaft multimedialer Lernumgebungen betrachtet wird, existieren auch Belege, dass sie im Vergleich zur Kontrolle durch das Lernprogramm mitunter zu einer geringeren Effizienz führen kann (McNeil & Nelson, 1991). Es sollte daher darauf geachtet werden, dass das Ausmaß der Lernerkontrolle nicht die kognitiven Kapazitäten des Lernenden übertrifft (Stemler, 1997). Diese Überlegungen von Hede (2002) stehen in Übereinstimmung mit den Postulaten der CLT (s. Abschnitt 2.1) und der CTML (s. Abschnitt 2.2).

Kognitive Verarbeitung

Die kognitive Verarbeitung umfasst Aufmerksamkeitsprozesse und die weitere Verarbeitung der Informationen im Arbeitsgedächtnis. Aufmerksamkeitsprozesse dienen laut Hede (2002) dazu, die Konzentration des Lernenden auf den visuellen und auditiven Input zu richten und diesen Input an das Arbeitsgedächtnis weiterzuleiten.

Von zentraler Bedeutung bei der kognitiven Verarbeitung ist das Arbeitsgedächtnis. Hede greift dabei – ähnlich wie die CLT (s. Abschnitt 2.1.1) und die CTML (s. Abschnitt 2.2.2) – auf eine ältere Variante des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (1992) zurück, welches neben einer zentralen Exekutive zwei Subsysteme vorsieht, nämlich visuelle Notiztafel und phonologische Schleife. In dieses Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses integriert Hede (2002) eine Reihe von Konzepten und Befunden anderer Theorien zum multimedialen Lernen.

Beispielsweise lassen sich hier der postulierte Modalitätseffekt (s. CTML, Abschnitt 2.2.5) und die Vermeidung der kognitiven Überlastung Lernender (s. CLT, Abschnitt 2.1.3) einbetten. Aber auch die Wirkung von Interferenzen bedingt durch multiple Informationsquellen (s. Abschnitt 2.1.5) sowie der Aufbau referentieller Verknüpfungen zwischen verbalen und piktorialen Repräsentationen (vgl. Schnotz, 2005) sind hier zu nennen.

Lernerdynamiken

Als Lernerdynamiken bezeichnet Hede (2002) motivationale Prozesse, kognitives Engagement des Lernenden sowie dessen Lernerstil. Motivationale Prozesse werden als Schlüsselvariable für den Lernerfolg betrachtet (Taylor, Sumner & Law, 1997). Zudem wird davon ausgegangen, dass eine extrinsisch bedingte Motivation durch Verstärkeranreize zwar zu einer Leistungsverbesserung führt, nachhaltige Anstrengungsbereitschaft jedoch nur durch intrinsische motivationale Faktoren, beispielsweise durch einen interessanten und herausfordernden Lerninhalt, entstehen kann (Najjar, 1998).

Mit den motivationalen Prozessen ist das kognitive Engagement des Lernenden verbunden (s. Abb. 8), das als ein solcher Prozess definiert wird, dass der Lernende motiviert wird die vollständige Kontrolle über seinen eigenen Lernprozess zu übernehmen (Hede, 2002). Dieses Engagement beeinflusst seinerseits wieder die Lernerkontrolle, die u.a. einen Einfluss auf motivationale Prozesse besitzt (s. Abb. 8).

Als einziges unabhängiges Variablenkonglomerat sieht das Modell von Hede (2002) den Lernerstil vor. Dabei lassen sich verschiedene Klassifikationsformen voneinander unterscheiden, die im Kontext der Multimediaforschung Verwendung gefunden haben. Nach Dillon und Gabbard (1998) sind vor allem drei Konzepte zu berücksichtigen: die Feldabhängigkeit, die Verarbeitungstiefe und die Aktivität des Lernenden.

Der Grad der Feldabhängigkeit gibt darüber Auskunft, in welchem Ausmaß der Lernende sich auf den Kontext verlässt, in dem er die Informationen präsentiert bekommen hat. Hinsichtlich der Verarbeitungstiefe kann zwischen Personen unterschieden werden, die eine oberflächliche Verarbeitung der Informationen vornehmen z.B. in Form von Memorieren und Wiederholen und solchen, die eine tiefere und damit effektivere Verarbeitung des Lernmaterials durchführen (beispielsweise durch die Fokussierung auf die Struktur des Inhaltes). Eine dritte Differenzierungsmöglichkeit bezieht sich auf die Aktivität der Lernenden. Hier werden aktive und passive Lerner voneinander abgrenzt.

Eine vierte Möglichkeit zur Klassifikation von Lernerstilen stammt von Smith und Woody (2000), die einen visuellen von einem verbalen Lernerstil abgrenzen und davon ausgehen, dass vor allem visuelle Lerner von multimedialen Instruktionsformaten profitierten.

Neben diesen aufgeführten Klassifikationsmöglichkeiten existieren weitere Alternativen zur Unterscheidung von Lernerstilen auf die hier nicht näher eingegangen wird (u. a. das Kolb Lernerstil-Inventar, s. Karakaya, Ainscough & Chopoorian, 2001; Kettanurak, Ramamurthy & Haseman, 2001; Kraus, Reed & Fitzgerald, 2001).

Wissen und Lernen

Die vierte Teilgruppe besteht aus den Konstrukten Intelligenz, Reflexion, Langzeitgedächtnis und Lernen.

Hinsichtlich der Intelligenz vertritt Fetherston (1998) die Ansicht, dass diese ein facettenreiches Konstrukt darstelle, welches sieben verschiedene Intelligenzformen beinhalte, die jedoch an dieser Stelle nicht weiter erörtert werden sollen. Je mehr von diesen Formen durch die multimediale Lernumgebung angesprochen werden, desto effektiver sei die Lernumgebung.

Der Prozess der Reflexion bezieht sich auf das selbstgesteuerte Lernen und erfordert, dass der Lernende sich kritisch mit seinem aktuellen Wissen und seinen verwendeten Lernstrategien auseinandersetzt (Taylor et al., 1997).

Das Langzeitgedächtnis hat im integrativen Modell von Hede (2002) ähnliche Funktionen, wie sie bereits in der CLT (s. Abschnitt 2.1.1) oder der CTML (s. Abschnitt 2.2.2) angesprochen wurden. Darüber hinaus wird angenommen, dass das Langzeitgedächtnis auch von Intelligenz und Reflexionsprozessen beeinflusst wird (s. Abb. 8) und eine Unterteilung in deklaratives, konditionales und prozedurales Wissen im Kontext der Multimediaforschung zweckmäßig ist (Yildirim, Ozden & Aksu, 2001). An dieser Stelle können auch postulierte Moderatoreffekte anderer Theorien zum multimedialen Lernen integriert werden, wie beispielsweise der Expertise-Umkehr-Effekt (s. Abschnitt 2.1.5) der CLT oder aber das Prinzip individueller Unterschiede (s. Abschnitt 2.2.5) der CTML.

Schlussendlich ist das Lernen als einzige abhängige Variable des Modells zu nennen, wobei hier eine Unterscheidung zwischen Verständnis, Behalten und der Möglichkeit das gelernte Wissen in späteren Kontexten anzuwenden vorgenommen wird (s. Abb. 8).

Fazit

Bei dem integrativen Modell multimedialer Effekte beim Lernen von Hede (2002) handelt es sich um die derzeit elaborierteste Theorie innerhalb der Multimediaforschung. Im Gegensatz zu den aktuell dominierenden Theorien zum multimedialen Lernen (s. Abschnitt 2.1 u. 2.2) finden neben kognitiven auch motivationale Prozesse Berücksichtigung. Darüber hinaus werden zahlreiche Lernereigenschaften in das Modell integriert (z.B. Lernerstile und Intelligenz), während sich andere Modelle zumeist auf das Vorwissen als einzige Organismusvariable beschränken.

Kritisch angemerkt werden kann, dass das komplexe Modell kaum konkrete Prognosen zur Lernförderlichkeit bestimmter multimedialer Lernumgebungen vornimmt und sich daher nur sehr wenige Empfehlungen für die Gestaltung von Instruktionsmaterialien ableiten lassen. Diesem – von Hede (2002) selbst aufgeführten – Einwand wird damit entgegnet, dass das Modell dazu dienen soll, instruktionalen Designern eine Zusammenstellung der zentralen Faktoren zu präsentieren, die bei der Entwicklung von Multimedia-Softwarepaketen zu berücksichtigen sind. Des Weiteren sei auch die Entwicklung eines Flussdiagramms denkbar, das als Entscheidungshilfe bei der Gestaltung multimedialer Lernmaterialien dienen könne.

3. Zusammenfassung

Der theoretische Teil dieser Arbeit beginnt mit Begriffsbestimmungen der zentralen Konzepte in der Multimediaforschung (s. Abschnitt 1.1) und widmet sich sodann pauschalen Gegenüberstellungen von Texten, Bildern und Animationen (s. 1.2). Diese Vergleiche werden aus mehreren – versuchsplanerisch zwangsläufig auftretenden – Problemen und der damit zusammenhängenden höchst inkonsistenten empirischen Befundlage zurückgewiesen.

Als Alternative zu den Pauschalvergleichen werden verschiedene Theorien zum multimedialen Lernen erörtert (s. 2). Untersuchungen im Kontext dieser Modelle fragen nicht mehr primär danach, *ob* Multimedia die Lernleistung begünstigt, sondern vor allem *wie* multimediale Lernumgebungen (z.B. Lernumgebungen, die Animationen beinhalten) besonders lernförderlich gestaltet werden können.

Bei der Darstellung der Theorien werden basale Modelle wie das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (z.B. 2002) und die duale Kodierungstheorie von Paivio (z.B. 1986), welche die Grundlage für andere Theorien zum multimedialen Lernen bilden, nur am Rande erörtert (s. 2.1.1 u. 2.2.1). Besonderes Augenmerk wird stattdessen auf

die derzeit dominierenden Modelle innerhalb der Multimediaforschung gelegt, nämlich die Cognitive Load Theorie (s. 2.1) und die kognitive Theorie multimedialen Lernens (s. 2.2). Weitere relevante Modelle, wie die kognitive Flexibilitätstheorie (s. 2.3.1), stehen diesen beiden Theorien z.T. diametral entgegen. Die drei letzten vorgestellten Konzepte von Ainsworth, Najjar und Hede (s. 2.3.2, 2.3.3 u. 2.3.4) lassen sich hingegen als Rahmen- oder integrative Modelle zum multimedialen Lernen auffassen.

Da die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen bereits in den vorangegangenen Kapiteln thematisiert wurden, soll an dieser Stelle lediglich auf eine einzige weitere Gemeinsamkeit aller Konzepte explizit hingewiesen werden. In den verschiedenen Ansätzen erfolgt die Ableitung von Empfehlungen zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen zumeist aus der jeweiligen Theorie – in allen Fällen ist die Gestaltungsempfehlung zumindest theoretisch eingebettet. Anschließend wird diese Empfehlung empirisch überprüft. Neben dieser Vorgehensweise, die man als „Top-down“-Ansatz bezeichnen könnte, existiert in der Literatur zum multimedialen Lernen noch eine Vielzahl weiterer Studien, die diesem Ansatz nicht folgen. Von zentraler Bedeutung sind hier Untersuchungen, die über empirische abgesicherte Design- und Gestaltungsempfehlungen zum multimedialen Lernen berichten, ohne dass diese einer theoretischen Fundierung unterliegen (z.B. Hannafin, Garhart, Rieber & Phillips, 1985; Hansen, Narayanan & Schrimpscher, 2000; Lee, S. H. & Boling, 1999; Park & Hannafin, 1991; Stemler, 1997). Derartige Studien sollen an dieser Stelle nicht erörtert werden, sondern werden nur bei Bedarf im nachfolgenden empirischen Teil der vorliegenden Arbeit (s. Teil II) aufgegriffen. In diesem zweiten Teil wird der Versuch unternommen, ausgewählte Gestaltungsempfehlungen empirisch zu überprüfen, ohne sich einem bestimmten, im Theorieteil aufgeführten Konzept alleinig verschreiben zu müssen.

II. Empirischer Teil

Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit werden zwei Experimentalserien vorgestellt. Die insgesamt sieben durchgeführten Untersuchungen greifen dabei ausgewählte, im theoretischen Teil erörterte Empfehlungen zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen auf. Daneben werden Designvorschläge empirisch überprüft, die sich nicht unmittelbar aus einer der bereits vorgestellten Modelle ableiten lassen.

Hervorzuheben ist, dass sich in dem jeweils ersten Experiment beider Untersuchungsreihen interessante, aber a priori nicht postulierte Zusammenhänge finden. In den nachfolgenden Studien der Experimentalreihe werden diese aufgegriffen, empirisch abgesichert und weiter spezifiziert. Diese Vorgehensweise dient nicht nur der Ausdifferenzierung empirisch begründeter Gestaltungsrichtlinien, die instruktionalen Designern für die Konzipierung multimedialer Lernumgebungen bereitgestellt werden sollen, sondern auch der Illustrierung, dass eine theoretische Einbettung einzelner Gestaltungsempfehlungen nicht unabdingbar im Vorfeld einer Untersuchung erfolgen muss und oftmals sogar realistischerweise gar nicht vorgenommen werden kann. Dagegen können empirisch ermittelte lernförderliche Bedingungen, die zunächst vornehmlich ohne unmittelbaren Bezug zu einer multimedialen Lerntheorie bleiben, auch zum Aufbau neuer oder zur Modifikation bereits bestehender Modelle über das multimediale Lernen beitragen (s. III. Gesamtdiskussion). In Abgrenzung zum theoretischen Teil dieser Arbeit könnte man diese Vorgehensweise als „Bottom-up“-Ansatz charakterisieren.

1. Leserichtungseffekt für Kausalzusammenhänge

1.1. Einleitung

In der ersten Experimentalserie wird die Positionierung und Organisation einzelner graphischer Objekte in multimedialen Lernumgebungen untersucht (vgl. z.B. Koning, Dormann & van Vliet, 2002), nämlich ob die Positionierung von Ursache und Wirkung gemäß der Leserichtung im hiesigen Sprachraum (d.h. die Ursache befindet sich links, die Wirkung rechts) einen positiven Einfluss auf das Behalten und Verstehen von interaktiven Animationen besitzt (s. Abschnitt 1.2).

Im Anschluss daran wird der Frage nachgegangen, welche Variablen den Leserichtungseffekt für Kausalzusammenhänge in welcher Weise moderieren (s. Abschnitte

1.3, 1.4 und 1.5), indem nach lernförderlichen Effekten durch die Positionierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in Leserichtung gesucht wird.

Ein Kausalzusammenhang soll als ursächliche Verbindung zwischen zwei Ereignissen definiert werden, bei dem ein als Ursache bezeichnetes Ereignis zum zweiten Ereignis, der Wirkung, führt.

Das Aufdecken und Verstehen von Kausalzusammenhängen spielt nicht nur in multimedialen Lernumgebungen eine zentrale Rolle (Wender & Muehlboeck, 2003), sondern ist generell für das menschliche (Über-)Leben von entscheidender Bedeutung. So erlaubt uns das Wissen um Kausalzusammenhänge, zukünftige Ereignisse vorherzusagen und entsprechende Handlungen zum Erreichen eigener Ziele zu planen (Waldmann, 1996). Auch in der Philosophie und den sich daraus entwickelnden Wissenschaften sind Kausalzusammenhänge schon immer von essentieller Bedeutung gewesen. So soll bereits Demokrit um 460 v. Chr. gesagt haben „Lieber möchte ich eine einzige kausale Erklärung finden, als das Perserreich zu besitzen“ (Diels & Kranz, 1989). Einen prägenden Einfluss auf den heutigen Kausalitätsbegriff in der Wissenschaft hatte unter anderem der englische Philosoph David Hume (1711-1776), der auch die klassischen Untersuchungen innerhalb der Psychologie zur Kausalitätswahrnehmung von Heider und Simmel (1944) und Michotte (1946, 1963, 1966) inspirierte. Entwicklungspsychologische Experimente legen dabei die Annahme nahe, dass Kausalwahrnehmungen angeboren sind (Bauer & Mandler, 1989, 1992; Bauer & Shore, 1987; Leslie & Keeble, 1987; Mandler & McDonough, 1995).

Da Kausalzusammenhänge und die Suche nach diesen ganz offensichtlich seit jeher sowohl im Alltag von Menschen als auch in der wissenschaftlichen Forschung und Lehre einen zentralen Stellenwert einnehmen, ist zwangsläufig von Bedeutung, inwiefern unterschiedliche Darbietungen solcher Zusammenhänge einen Einfluss auf Behalten und Verständnis ausüben. Innerhalb der Psychologie hat sich Piaget (1928) als einer der ersten empirisch mit einer ähnlichen Fragestellung beschäftigt. Er zeigte, dass Kinder unter acht Jahren Schwierigkeiten bei der Vervollständigung von Sätzen haben, wenn im ersten Teil des Satzes die Wirkung des kausalen Zusammenhanges präsentiert wird. Beispielsweise gelingt es den jungen Kindern nicht, den Satz „Der Mann fiel vom Fahrrad, weil...“ mit der Angabe einer möglichen Ursache sinnvoll zu beenden. Stattdessen wird fälschlicherweise eine weitere, mögliche Folge aufgeführt (z.B. „...er sich einen Arm brach.“). Auch wenn die Befunde von Piaget durch spätere Untersuchungen von anderen Forschern in Frage gestellt wurden (z.B. Peterson, C. & McCabe, 1985), so regte er mit seinen Studien in der

Entwicklungspsychologie dazu an, sich näher mit der Präsentation von Kausalzusammenhängen, aber auch anderen zeitlich aufeinander folgenden Ereignissen intensiver zu beschäftigen. Mittlerweile existieren zu diesem Thema zwar zahlreiche Befunde aus Studien zur Sprachentwicklung bei Kindern, jedoch lassen sich diese nur bedingt auf die Fragestellung übertragen, ob das Einhalten der Leserichtung bei der Darbietung von Kausalzusammenhängen lernförderlich ist. So werden in mehreren Untersuchungen unterschiedliche Leistungen in Abhängigkeit von der Reihenfolge der präsentierten Informationen gefunden (vgl. Bauer & Mandler, 1992). Sätze, in denen Ereignisse in ihrer zeitlich stattgefundenen Reihenfolge aufgeführt werden, behalten und verstehen die Versuchspersonen besser als solche, in denen die zeitliche Reihenfolge vertauscht wird (Coker, 1978; Evans & Beck, 1981; Ferreiro & Sinclair, 1971; Hatch, 1971; Johnson, H. L., 1975), wobei einzelne Experimente diesen Unterschied nicht detektieren (French & Brown, 1976; Goodz, 1982). Eine Vielzahl von Studien unterscheidet dabei jedoch nicht, ob es sich in den dargebotenen Sätzen um Kausalzusammenhänge handelt oder Ereignisse, denen lediglich eine zeitliche Ordnung zugrunde liegt (z.B. „Ich stehe auf und dusche mich.“). Andere Untersuchungen beschränken sich explizit auf zeitlich geordnete Ereignisse, die nicht kausal in Verbindung zueinander stehen.

Zu beachten ist, dass streng genommen in Experimenten, in denen Kausalzusammenhänge betrachtet werden, Zeitabfolge und Kausalzusammenhang konfundiert sind. Jedoch dürfte sich die Auflösung dieser Konfundierung als sehr schwierig erweisen, da dann auch Kausalzusammenhänge denkbar sein müssten, in denen die Wirkung eines Ereignisses zeitlich vor deren Ursache stattfindet.

Des Weiteren kann man einwenden, dass sich die meist entwicklungspsychologischen Studien, in denen vornehmlich jüngere Kinder untersucht werden, nicht zwangsläufig auf erwachsene Lerner übertragen lassen. Dafür spricht unter anderem, dass sich bei jüngeren Kindern gefundene Effekte bei der Untersuchung älterer zum Teil nivellieren (z.B. French, 1988), wobei es sich allerdings auch um Deckeneffekte handeln könnte.

Ein weiteres Problem stellen die unterschiedlichen abhängigen Variablen dar, die in den Untersuchungen verwendet werden. Neben den Behaltens- und Verständnisleistungen wird auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die kognitive Anforderung, sowie die Präferenz und wahrgenommene Sinnhaftigkeit der dargebotenen Sätze gemessen. So untersuchte van der Meer (1999) bei Studierenden im Alter von 18 bis 26 Jahren die Auswirkungen bei Beachtung natürlicher Ereignisabfolgen in Priming-Experimenten. Beispielsweise wird beim

Wortpaar „Anzünden-Brennen“ die natürliche Abfolge beachtet, während dies bei Darbietung in umgekehrter Reihenfolge nicht der Fall ist. Bei Beachtung der natürlichen Ereignisabfolge, die zudem einen Kausalzusammenhang impliziert, werden die Wortpaare signifikant schneller verarbeitet. Außerdem kann eine signifikant niedrigere Pupillendilatation festgestellt werden, die als Maß für kognitive Anforderungen verwendet wird (vgl. jedoch Abschnitt I.2.1.4 des Theorieteils), wobei kleinere Pupillenerweiterungen nach Klix, van der Meer und Preuß (1984) mit einer niedrigeren kognitiven Beanspruchung einhergehen. Die Untersuchung von van der Meer (1999) sowie ähnliche Studien zu diesem Thema (Katz & Brent, 1968; Klix & Wolf, 1990; van der Meer & Kolbe, 1997; van der Meer & Schmidt, 1992) lassen sich nur zum Teil als Beleg für den Leserichtungseffekt bezüglich der Ursache-Wirkungs-Beziehungen heranziehen. Die höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit (vgl. Goonetilleke, Lau & Shih, 2002) und die niedrigere kognitive Anforderung bei Beachtung der Leserichtung implizieren nämlich nicht automatisch, dass sich auch die Behaltens- und Verständnisleistungen beim Lernen von Kausalzusammenhängen verbessern. Dafür spricht auch eine Studie von Evans und Beck (1981), in der als Versuchsmaterial logische Sätze verwendet wurden. Die Beachtung der Leserichtung führt zwar zu einer schnelleren Verarbeitung, nicht jedoch zu besseren Inferenzleistungen.

Zusammenfassend lässt sich für den Leserichtungseffekt in schriftlich oder mündlich dargebotenen Texten festhalten, dass mehrere Experimente vorliegen, die auf eine Verbesserung der Behaltens- und/oder Verständnisleistung durch Beachtung der Leserichtung für Ursache-Wirkungs-Beziehungen hinweisen (Bebout, Segalowitz & White, 1980; Bindra, Clarke & Shultz, 1980; Corrigan, 1975; Fillenbaum, 1971; French, 1988; McCabe & Peterson, 1985), während andere Forscher keinen derartigen Effekt feststellen (Hood & Bloom, 1979; Johnson, H. L. & Chapman, 1980; Kuhn & Phelps, 1976). Selbst wenn ein lernförderlicher Effekt durch Beachtung der Leserichtung bei Kausalzusammenhängen existiert, muss aufgrund empirischer Untersuchungen (z.B. Jou & Harris, 1990) davon ausgegangen werden, dass der Effekt relativ schwach im Vergleich zu anderen linguistischen Konventionen wie der Beachtung der Reihenfolge „Hauptsatz-Nebensatz“ ausfällt. Zudem hängt der Einfluss der Leserichtung auf die Lernleistung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen auch von der Art des späteren Lerntests ab (vgl. Abschnitt I.2.3.3 des Theorieteils oder Bindra, Clarke & Shultz (1980)). Präsentiert man Versuchspersonen im Lerntest zuerst die Wirkung wie das Symptom einer Krankheit und bittet dann um die Diagnose im Sinne einer Benennung der Ursache für das Symptom, so

schneiden die Probanden besser ab, bei denen die Leserichtung in der vorherigen Lernphase nicht eingehalten wurde (Waldmann, 1996).

Neben Experimenten, die die Reihenfolge von Ursache und Wirkung in Texten variierten, existiert auch eine Studie von William Winn (1982a), in der die Reihenfolge zeitlich geordneter Ereignisse in statischen Visualisierungen betrachtet wurde. Winn (1982a) untersuchte dabei 273 Schüler der neunten Jahrgangsklasse, die die evolutionäre Entwicklung von Dinosauriern mit Hilfe eines Flussdiagramms erlernen sollten. Die evolutionäre Sequenz wurde in einer Versuchsbedingung von links nach rechts dargeboten, in der anderen von rechts nach links. Im Anschluss wurde die Lernleistung der Probanden mit Hilfe von vier verschiedenen Lerntests überprüft. Im ersten Test sollten die Versuchspersonen Fragen zur zeitlichen Reihenfolge von bestimmten, vorgegebenen Dinosauriern beantworten, während im zweiten Test anzugeben war, in welchem Zeitalter bestimmte Dinosaurier die Erde bevölkerten. Die letzten beiden Tests betrafen Klassifikationsaufgaben, in denen Dinosauriernamen vorgegebenen Dinosaurierklassen zuzuordnen waren und eine Einschätzung getroffen werden sollte, ob es sich um sog. Ornithischia (Vogelbecken-Dinosaurier) oder sog. Saurischia (Echsenbecken-Dinosaurier) handelte. Dabei zeigte sich, dass die Gruppe der Schüler, in der die Leserichtung eingehalten wurde, für alle vier abhängigen Variablen höhere Mittelwerte erzielten, als jene, in der die Leserichtung nicht eingehalten wurde. Inferenzstatistisch konnten die Mittelwertsunterschiede für den ersten ($p < .01$) und vierten Test ($p < .05$) abgesichert werden. Weitere Untersuchungsergebnisse des Experiments von Winn (1982a) werden an späterer Stelle (s. Abschnitt 1.2.3 u. 1.5.3) aufgeführt.

Die Studie von Winn (1982a) zeigt den lernförderlichen Effekt durch Einhalten der Leserichtung von zeitlich geordneten Ereignissen in statischen Visualisierungen auch wenn sie wegen des fehlenden Kausalzusammenhanges nicht als direkter Beleg des Leserichtungseffektes für Ursache-Wirkungs-Beziehungen herangezogen werden kann.

In einer kulturübergreifenden Studie von Tversky, Kugelmass und Winter (1991) sollten Probanden statische Visualisierungen erstellen. Bei der Visualisierung von zeitlichen Relationen kann ein kulturspezifischer Leserichtungseffekt nachgewiesen werden. So stellen englischsprachige Probanden die Relationen vornehmlich von links nach rechts her, während arabischsprachige Versuchsteilnehmer erwartungsgemäß die umgekehrte Richtung wählen. Hebräischsprachige Teilnehmer zeigen hingegen nur eine leichte Präferenz für die Darstellung von rechts nach links für zeitliche Relationen. Erklärt wird dieses Ergebnis

damit, dass hebräisch zwar von rechts nach links gelesen wird, jedoch zum einen in Zeitungen eine hohe Durchmischung mit lateinischen Schriftzeichen zu finden ist, zum anderen Zahlen von links nach rechts gelesen werden (vgl. Jetter, 2004).

Eine Untersuchung, die sich speziell mit der Darbietung von Kausalzusammenhängen in statischen Visualisierungen beschäftigt, stammt von Mary Hegarty (1992).

Versuchsteilnehmer, die mechanische Systeme wie Flaschenzügen aufgrund der Art der Informationsdarbietung entgegen der kausalen Reihenfolge gedanklich animieren müssen, haben größere Schwierigkeiten und benötigen einen höheren mentalen Aufwand.

In der ersten Experimentalreihe soll der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss die Leserichtung speziell bei Kausalzusammenhängen auf die Lernleistung in dynamischen, interaktiven Visualisierungen besitzt.

1.2. Experiment 1 (Leserichtungseffekt & Signalisierungen)

1.2.1. Einleitung

Im ersten Experiment soll geprüft werden, ob die Beachtung der Leserichtung die Behaltens- und Verständnisleistungen von Lernenden für Kausalzusammenhänge – präsentiert in interaktiven Animationen – fördert².

Die Beachtung der Leserichtung ist eine Darstellungskonvention, deren Ziel ist, ein visuelles Argument (hier den Kausalzusammenhang) so zu kommunizieren, dass es vom Bildrezipienten möglichst vollständig und exakt für eine produktive Verarbeitung erfasst werden kann (Weidenmann, 1994). Winn (1982b, 1983) und Schnotz (1994) weisen darauf hin, dass unübliche Darstellungsformen zu Verständnisproblemen führen können, auch wenn Individuen schnell in der Lage seien, ihre Verarbeitung an ein neues Präsentationsformat anzupassen (Schnotz, 1994). Als bildgestalterische Maßnahmen dienen hierzu u.a. Signalisierungen. Das damit verbundene Signalisierungsprinzip aus der kognitiven Theorie multimedialen Lernens wurde bereits im theoretischen Teil der Arbeit eingehend erörtert (s. Abschnitt I.2.2.5). Es besagt, dass die Benutzung von Hinweiszeichen, die die Organisationsstruktur des Kerninhaltes – beispielsweise die Richtung des Kausalzusammenhanges – hervorheben, sich verständnisförderlich auswirken, wohingegen für Behaltensleistungen keine spezifischen Vorhersagen getroffen werden. Während das

² Das erste Experiment wurde im Rahmen meiner Diplomarbeit durchgeführt. Da auf dieser Studie jedoch die nachfolgenden Untersuchungen der ersten Experimentalreihe aufbauen, wird diese in gleicher Art und Weise geschildert, wie die Experimente zwei bis sieben.

Signalisierungsprinzip in Form von Unterstreichungen, Fettdruck, Nummerierungen oder Überschriften in schriftlich dargebotenen Lernmaterialien durch mehrere Untersuchungen gestützt wird, ist es bisher nicht gelungen, das Prinzip für (interaktive) Animationen, beispielsweise in Form von Pfeilen oder farbigen Hervorhebungen, abzusichern (vgl. Abschnitt I.2.2.5 im Theorieteil).

Es soll daher nicht nur der Einfluss der Leserichtung auf die Behaltens- und Verständnisleistungen überprüft werden, sondern auch ob Signalisierungen in interaktiven Animationen sich förderlich auf die Verständnisleistungen der Lernenden auswirken. Für diese Untersuchung kommen speziell Signalisierungen zum Einsatz, die den Kausalzusammenhang der dynamischen Visualisierung mit Hilfe von Pfeilen und Beschriftungen verdeutlichen. Eine genauere Beschreibung dieser Signalisierungen ist dem Methodenteil (s. Abschnitt 1.2.2) zu entnehmen. Daneben soll als dritte Fragestellung untersucht werden, ob die kausalrichtungsanzeigenden Signalisierungen dem Lernenden eine schnellere Anpassung an ein unvertrautes Präsentationsformat ermöglichen, welches die Konvention der Leserichtung nicht enthält. Wäre dies der Fall, so müsste sich eine Wechselwirkung zwischen Leserichtungseffekt und Signalisierungen für die Verständnisleistungen ergeben. In interaktiven Animationen sollten enthaltene Signalisierungen, die den Kausalzusammenhang verdeutlichen, einen möglichen Leserichtungseffekt hinsichtlich des Verstehens teilweise kompensieren.

1.2.2. Methode

Versuchsdesign

Der Untersuchung lag ein zweifaktorieller, je zweifach gestufter, vollständig gekreuzter, bivariater Zufallsversuchsplan zugrunde (siehe Tabelle 3).

Die erste unabhängige Variable stellte die auf zwei Stufen variierte Leserichtung des Kausalzusammenhanges dar. Auf der ersten Faktorstufe wurde die Leserichtung eingehalten, d.h. die Ursache wurde in der Animation links, die Wirkung hingegen rechts platziert. Auf der zweiten Faktorstufe wurde die Leserichtung nicht eingehalten. Die Ursache befand sich rechts, die Wirkung wurde auf die linke Seite positioniert.

Die zweite unabhängige Variable umfasste die Existenz von Signalisierungen (Pfeile und Beschriftungen), die auf das Einhalten bzw. Nichteinhalten der Leserichtung hinwiesen. Auf der ersten Faktorstufe waren entsprechende Signalisierungen in der Visualisierung vorhanden, auf der zweiten Stufe nicht.

Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig auf die vier verschiedenen Bedingungen verteilt.

Die erste abhängige Variable erfasste die Behaltensleistung aller Probanden hinsichtlich der dynamischen, interaktiven Visualisierung, die zweite abhängige Variable bezog sich auf die Verständnisleistung der untersuchten Versuchspersonen.

Tabelle 3: 2x2-faktorieller, bivariater (Behalten und Verstehen) Zufallsversuchsplan.

		UV ₂ (Signalisierungen)			
		ja		nein	
UV ₁ (Leserichtung)	von links nach rechts	\bar{Y}_{111}	\bar{Y}_{112}	\bar{Y}_{121}	\bar{Y}_{122}
	von rechts nach links	\bar{Y}_{211}	\bar{Y}_{212}	\bar{Y}_{221}	\bar{Y}_{222}

Versuchsmaterial

Zur Überprüfung der aufgeführten Hypothesen (s. Abschnitt 1.2.1) kam ein speziell für diese Untersuchung konzipiertes Computerprogramm zum Einsatz. Dabei konnte auf das Lernprogramm „Neuronale Netze – Eine Einführung“ zurückgegriffen werden, das im Rahmen meines Forschungspraktikums an der Universität Trier entstand. Dieses Lernprogramm – in Visual Basic 6 programmiert – enthielt u.a. Texte, Bilder und dynamische, interaktive Visualisierungen, die die Einführung in die Grundlagen und Anwendungen neuronaler Netze erleichtern sollten. Auf der Basis einer Evaluationsstudie zu diesem Programm mit insgesamt 41 teilnehmenden Psychologiestudenten sowie weiteren Expertenrunden, in denen Überlegungen angestellt wurden, wie man den Einführungstext aus dem Lernprogramm möglichst sinnvoll für das Experiment einsetzen könnte, wurde das Computerprogramm ausgearbeitet.

Der verwendete Lerntext ist unter der Web-Adresse www.neuronalesnetz.de (Folie 2 bis 7 ohne die mittlerweile dort verfügbaren, zusätzlichen interaktiven Animationen) abrufbar (Stand: 23.7.2007). Die Version für die Untersuchung wurde durch das Herausnehmen einzelner Formeln nur marginal vereinfacht. Ziel war es, den Versuchsteilnehmern ohne Vorkenntnisse und ohne Unterstützung durch einen Tutor oder eine begleitende Vorlesung, einen leichteren Einstieg in die komplexe Thematik zu ermöglichen. Die Probanden sollten zudem nicht überfordert oder demotiviert werden. Insofern stellte unter ethischen

Gesichtspunkten (z.B. Bortz & Döring, 2006; Sarris, 1999; Zimbardo & Gerrig, 2004) die Bearbeitung des Einführungstextes durch die Ermöglichung eines Wissenszuwachses auch für die Probanden einen Nutzen dar. Mit Auswahl des Themas „Neuronale Netze“ wurde ein interessanter und zugleich anspruchsvoller, interdisziplinärer Gegenstandsbereich gefunden, der sich bei Studierenden großer Beliebtheit erfreut, wie die Seminarteilnahme im Hauptstudium an der Universität Trier zu diesem Themenkomplex belegt.

Dem ebenfalls in Visual Basic 6 entwickelten Programm schlossen sich Behaltens- und Verständnisfragen an den Lerntext an (zur Unterscheidung der beiden Konstrukte s. Abschnitt I.1.1 des Theorieteils), die in mehreren Expertenrunden auf Grundlage der Taxonomie des Lernens von Bloom (z.B. Bloom & Krathwohl, 1956; Bloom et al., 1981) ausgearbeitet worden waren. In diesem iterativen Verfahren galt es insbesondere Boden- und Deckeneffekte zu vermeiden. Um dies sicherzustellen wurden begleitend Voruntersuchungen durchgeführt, bei denen freiwillige Probanden prüfen sollten, ob die Schwierigkeitsgrade der Behaltens- und Verständnisfragen angemessen und ob noch etwaige Fehler in dem Programm enthalten seien. Erst im Anschluss kam das Programm im Experiment zum Einsatz.

Das Computerprogramm umfasste insgesamt acht, teilweise illustrierte Textseiten, eine Seite, auf der die interaktive Animation präsentiert wurde sowie vier weitere Bildschirmseiten, die die Behaltens- und Verständnisfragen enthielten (s. Anhang A bis Anhang E). Die letzten beiden Seiten beinhalteten Fragen zur subjektiven Einschätzung der dynamischen, interaktiven Visualisierung und zu persönlichen Angaben (s. Anhang F und Anhang G). Die vier verschiedenen Versuchsbedingungen unterschieden sich ausschließlich in der interaktiven Animation.

Auf der Einführungsseite wurde dem Probanden nach einer kurzen Begrüßung und Danksagung für die Versuchsteilnahme ein Überblick zur Versuchsdurchführung verschafft. Es wurde explizit darauf hingewiesen, den Lehrtext sorgfältig zu studieren, die interaktive Animation genau zu betrachten und eigenständig mit ihr zu experimentieren. Durch diesen Hinweis sollte eine Erhöhung der Betrachtungszeit erzielt werden. Dies war notwendig, da sich sowohl in den Vorversuchen herausgestellt hatte als auch aus der Literatur zu Visualisierungen (z.B. Biedermann, 1981; Peek, 1994; Weidenmann, 1988a, 1988b) bekannt ist, dass diesen oft nur geringe Beachtung geschenkt wird. Würden die Probanden die dynamische, interaktive Abbildung nur sehr kurz oder im Extremfall fast gar nicht

betrachten, dann dürfte sich ein möglicher Leserichtungseffekt für den dargebotenen Kausalzusammenhang vermutlich nicht oder nur in geringerem Maße einstellen.

Die Versuchsperson wurde ferner darauf aufmerksam gemacht, dass weder für Lehrtext und interaktive Animation noch für die anschließenden Fragen eine Zeitbegrenzung existiere. Durch die fehlende Zeitbegrenzung wurde der Forderung Rechnung getragen, die Versuchsbedingungen beim Lernen statischer und dynamischer Visualisierungen stärker an die alltäglichen Erfahrungen von Lernenden anzugleichen (z.B. Brody, 1981; Lewalter, 1997).

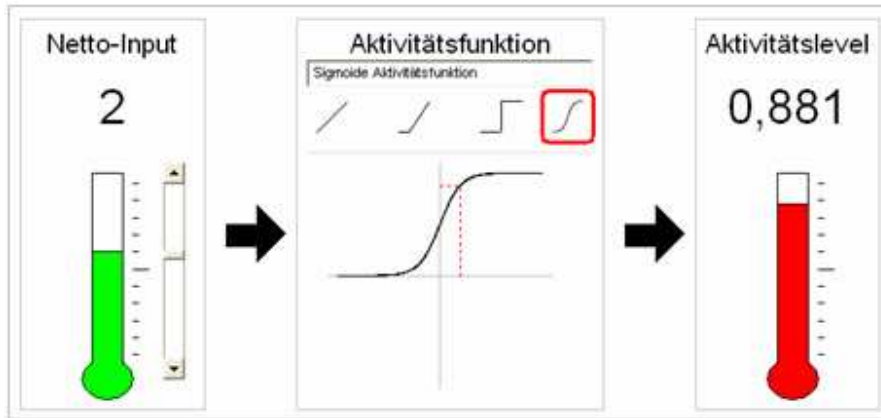
Auf der Einführungsseite wurde außerdem betont, dass das Anfertigen von Notizen nicht gestattet und ein Zurückspringen zu einer vorangegangenen Folie nicht möglich sei. Nach dem Hinweis, dass der Versuchsleiter bei Rückfragen jederzeit zur Verfügung stünde, konnte die Versuchsperson durch Betätigen der „Weiter-Taste“ die erste Lerntextseite aufrufen.

Es folgten sechs der insgesamt sieben Lerntextseiten, in denen eine Einführung in die Grundlagen neuronaler Netze vermittelt werden sollte. Der Versuchsteilnehmer konnte dabei selbstständig die nächste Seite durch Betätigung der „Weiter-Taste“ aufrufen. Durch die dargebotenen Lerntextseiten wurde der Kritik von Brody (1981) begegnet, die verwendeten Lerneinheiten in den meisten Studien seien mit weit mehr Visualisierungen versehen, als dies in normalen Lernertexten der Fall sei, was demzufolge nicht den alltäglichen Erfahrungen der Lernenden entspreche.

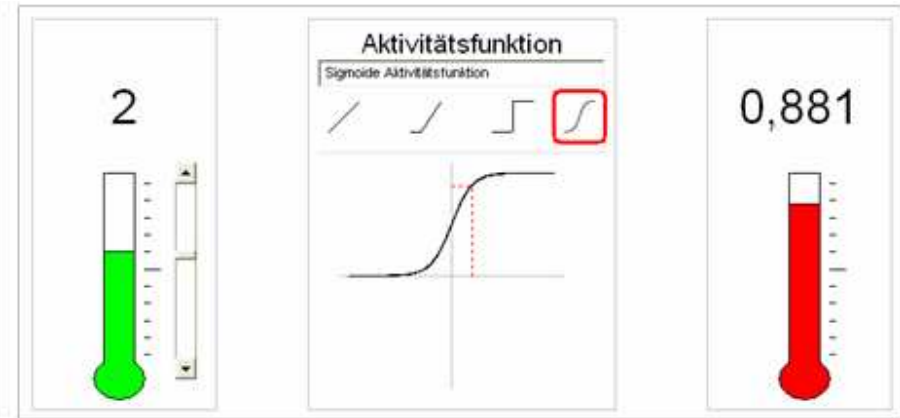
Die Präsentation der dynamischen, interaktiven Visualisierung folgte im Anschluss an die Lernertextseiten. Ziel dieser Animation war es, dem Lernenden ein tieferes Verständnis zu dem im Text bereits aufgeführten Zusammenhang zwischen Netto-Input, Aktivitätsfunktion und Aktivitätslevel zu vermitteln (zur Definition und Erläuterung dieser Begriffe siehe Anhang B). Die Animation zeigte zwei skalierte, unbeschriftete „Thermometer“ an, die der Visualisierung der Ausprägung von Netto-Input und Aktivitätslevel dienten (s. Abb. 9). Der Netto-Input wurde dabei in grün, der Aktivitätslevel in rot dargestellt. Der Proband konnte den Netto-Input durch Betätigen eines Scrollbalkens, der sich rechts neben dem grünen Thermometer befand, manipulieren. Die Veränderung des Netto-Inputs und des daraus resultierenden Aktivitätslevels wurde sowohl numerisch über dem Thermometer als auch durch die Thermometerhöhe angezeigt. Im mittleren Bereich der dynamischen Abbildung war unter der Überschrift „Aktivitätsfunktion“ eine von insgesamt vier graphisch verkleinerten Funktionen auswählbar. Die ausgewählte Aktivitätsfunktion wurde rot umrandet und in dem darunter befindlichen unbeschrifteten, zweidimensionalen

Koordinatensystem vergrößert angezeigt. Zusätzlich wurde der Name der ausgewählten Aktivitätsfunktion unter der Überschrift platziert. Als weitere Orientierungshilfe dienten zwei rot gestrichelte Hilfslinien im Koordinatensystem zur Markierung der gefällten Lote auf Abszisse und Ordinate. Sie sollten den Versuchspersonen die Zuordnung des Netto-Inputs auf der x-Achse zu dem Aktivitätslevel auf der y-Achse vermitteln.

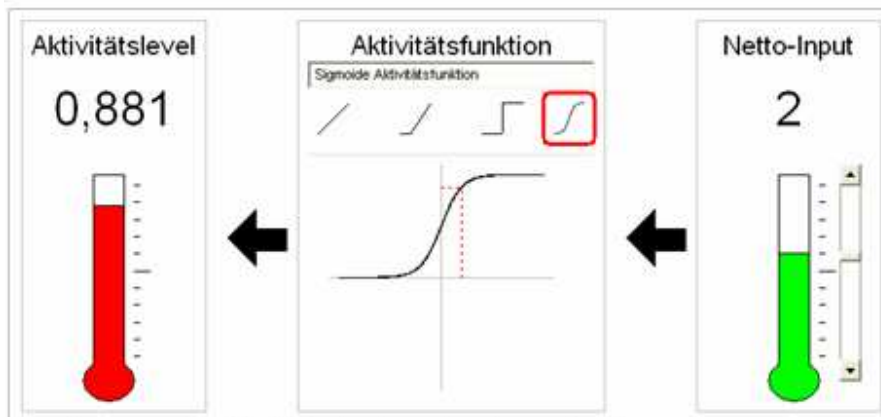
Die über der dynamischen, interaktiven Visualisierung befindliche Instruktion beschrieb den Inhalt der Animation in knapper Form und verwies erneut auf die Wichtigkeit der dynamischen Abbildung für die im Anschluss gestellten Fragen. Der Proband wurde angehalten, durch Betätigen des Scrollbalkens und Auswählen einer Aktivitätsfunktion selbst aktiv zu werden und die dadurch resultierenden Auswirkungen genauestens zu beobachten. Zudem wies man die Versuchsperson an, die Eigenschaften der vier Aktivitätsfunktionen mit ihren unterschiedlichen Wertebereichen und Skalierungen zu vergleichen und darauf zu achten, welches Thermometer den Netto-Input und welches den Aktivitätslevel repräsentiert.



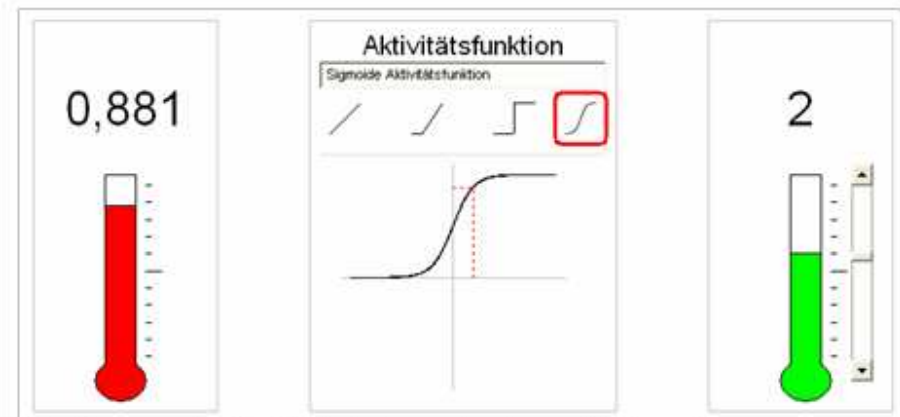
Bedingung 1: Einhalten der Leserichtung (von links nach rechts) und Signalisierungen vorhanden



Bedingung 2: Einhalten der Leserichtung (von links nach rechts) und Signalisierungen nicht vorhanden



Bedingung 3: Nichteinhalten der Leserichtung (von rechts nach links) und Signalisierungen vorhanden



Bedingung 4: Nichteinhalten der Leserichtung (von rechts nach links) und Signalisierungen nicht vorhanden

Abb. 9: Vergleich der vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Die genaue Beschreibung der interaktiven Animation ist dem Text zu entnehmen.

Die vier verschiedenen Versuchsbedingungen unterschieden sich lediglich hinsichtlich der Leserichtung und der in der Animation enthaltenen Signalisierungen.

In den beiden Bedingungen „Einhalten der Leserichtung“ wurde der Netto-Input als Ursache mitsamt dem Schieberegler auf die linke Seite der Abbildung positioniert, während auf der rechten Seite der Aktivitätslevel als Wirkung dargestellt wurde. In den beiden anderen Versionen „Nichteinhalten der Leserichtung“ verhielt es sich entsprechend umgekehrt. In allen vier Bedingungen wurde der Netto-Input durch ein grünes, der Aktivitätslevel durch ein rotes Thermometer visualisiert. Auch alle anderen graphischen Elemente wurden konstant gehalten. Somit unterschieden sich die beiden Faktorstufen des Faktors „Einhalten der Leserichtung“ lediglich in der Positionierung von Ursache und Wirkung.

Der zweite Faktor „Existenz von Signalisierungen, die auf das (Nicht-)Einhalten der Leserichtung hinweisen“ wurde durch Beschriftungen und Pfeile operationalisiert.

Auf der ersten Faktorstufe, welche die Existenz von Signalisierungen vorsah, wurden die beiden Thermometer mit Netto-Input und Aktivitätslevel oberhalb der numerischen Werte beschriftet. Zusätzlich wurde die Leserichtung durch zwei schwarze Pfeile angezeigt, die sich zwischen Netto-Input und Aktivitätsfunktion, sowie zwischen Aktivitätsfunktion und Aktivitätslevel befanden. Die Pfeile wiesen in der Bedingung „Einhalten der Leserichtung“ von links nach rechts, in der Versuchsbedingung „Nichteinhalten der Leserichtung“ entsprechend von rechts nach links.

Auf der zweiten Faktorstufe des zweiten Faktors, der keine Signalisierungen für den Kausalzusammenhang enthielt, fehlten sowohl die Thermometerbeschriftungen als auch die beiden Pfeile.

Die Unterschiede der vier Versuchsbedingungen werden in Abb. 9 dargestellt.

Im Anschluss an die dynamische, interaktive Visualisierung erfolgte die Präsentation der letzten Lerntextseite.

Auf den nachfolgenden vier Bildschirmseiten befanden sich insgesamt zehn Fragen zum Behalten und sieben weitere zum Verständnis des in der interaktiven Animation dargebotenen Kausalzusammenhanges im Multiple-Choice Format (s. a. Anhang E). Die Anzahl der Antwortmöglichkeiten pro Frage variierte dabei zwischen zwei und fünf, wobei immer nur eine der vorgegebenen Antworten richtig war. Die sieben Multiple-Choice Fragen zum Verständnis wurden um drei weitere Fragen mit offenem Antwortformat ergänzt, bei dem die Probanden als Antwort Zahlen in bereitgestellte Textfelder eintragen sollten. Die

selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang E zu entnehmen. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Behaltensfrage "Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für alle auswählbaren Aktivitätsfunktionen in der Animation?" aufgeführt. Zur Beantwortung dieser Frage ist es ausreichend, die entsprechende Information, die in der Animation dargeboten wurde, zu speichern und die korrekte Antwort der Multiple-Choice Aufgabe wieder erkennen zu können. Im Gegensatz dazu ist z.B. für die Verständnisfrage "Angenommen der Netto-Input beträgt 27.5. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Aktivitätslevel bei einer sigmoiden Aktivitätsfunktion?" eine (einfache) Schlussfolgerung aus den präsentierten Informationen zu ziehen, da in der Visualisierung kein Netto-Input in Höhe von 27.5 dargeboten wurde (zur genaueren Unterscheidung von Behalten und Verstehen vgl. auch Abschnitt I.1.1 des Theorieteils).

Auf der vorletzten Seite wurden fünf, ebenfalls selbstkonstruierte Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation präsentiert. Die Fragen mit siebenstufigen Likert-Skalen beinhalteten eine Gesamteinschätzung der dargebotenen Visualisierung, Beurteilungen, inwiefern die Animation beim Verstehen der Inhalte helfe und ob sie intuitiv zu bedienen sei sowie Fragen zur Klarheit des dargestellten Inhalts und zur didaktischen Aufbereitung der Animation.

Abschließend wurden die Probanden auf der letzten Seite um die Beantwortung persönlicher Angaben gebeten. Diese umfassten Geschlecht, Alter, Studienfach, Semesterzahl, mögliche Vorkenntnisse über neuronale Netze sowie Fragen über die Händigkeit und Fremdsprachenkenntnisse in Sprachen, die man von rechts nach links schreibt. Bejahte der Proband diese letzte Frage, dann wurde er aufgefordert eine Einschätzung über die Güte dieser Kenntnisse abzugeben. Des Weiteren konnten die Versuchsteilnehmer Anmerkungen, Kommentare und Verbesserungsvorschläge insbesondere zur Animation stichpunktartig in ein Textfeld schreiben. Abschließend wurde den Probanden für die Versuchsteilnahme erneut gedankt und es erfolgte eine kurze Versuchsaufklärung am PC.

Mit Beenden des Experiments speicherte das Programm alle von der Versuchsperson abgegebenen Angaben fortlaufend in eine Textdatei mit Angabe der Versuchsbedingung eins bis vier, unter der die Person untersucht worden war. Außerdem wurde die jeweils in Anspruch genommene Zeit für den gesamten Lerntext, die Animation, die Textseite, die nach der Animation folgte und die Zeit für die Behaltens- und Verständnisfragen auf eine Zentelsekunde genau erfasst.

Als Hardwarekomponenten standen vier gleich ausgestattete Personal Computer zur Verfügung, die alle unter dem Betriebssystem Windows XP arbeiteten. Des Weiteren wurden 17 Zoll Röhrenmonitore sowie handelsübliche Tastaturen und PC-Mäuse für den Versuch verwendet.

Versuchsablauf

Das Experiment wurde per Aushang bekannt gegeben und fand in den Räumlichkeiten der Universität Trier statt, wobei den Probanden für die ca. 45-minütige Versuchsteilnahme eine Versuchspersonenstunde im Rahmen ihres Studiums angerechnet wurde. Die Teilnehmer konnten sich dabei entweder zu den vorgegebenen Terminen von 7:30 bis 18:45 Uhr eintragen oder direkt vor Ort erscheinen und den Versuch beginnen, sofern Rechnerkapazitäten zur Verfügung standen.

Der Versuchsleiter begrüßte die Probanden und wies ihnen einen der vier Personalcomputer zu. Diese befanden sich alle in demselben Raum und wurden durch Trennwände voneinander abgeschirmt. Alle vier PCs enthielten die vier Programmversionen für den Versuch. Nachdem sich die Versuchsperson gesetzt hatte, erklärte der Versuchsleiter, dass es sich um ein selbsterklärendes PC-Experiment handele. Jeder Teilnehmer wurde darauf hingewiesen, dass der Versuchsleiter bei Rückfragen jederzeit zur Verfügung stünde. Anschließend wurde per Randomisierung eine der vier Versionen am Computer durch den Versuchsleiter gestartet.

Nachdem die Versuchsperson den Versuch beendet hatte, wurde außerhalb des Raumes die Versuchspersonenstunde eingetragen. Auf Wunsch erfolgten eine detaillierte Versuchsaufklärung und die Angabe über die vom Probanden erzielte Leistung, die der Versuchsleiter der generierten Textdatei entnahm.

Daraufhin bedankte sich der Versuchsleiter für die Teilnahme und verabschiedete sich mit der Bitte, den noch folgenden Versuchsteilnehmern nichts über den Versuch zu verraten.

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 113 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Gruppen verteilt wurden (je 28 Personen in den Bedingungen eins bis drei, 29 für die Bedingung vier).

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 22 Jahre (18-41 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im ersten Semester (Modalwert) befanden ($M = 2.6$; $SD = 2.4$).

Von den 113 Personen waren 91 weiblichen Geschlechts (80.5%).

90 Psychologiestudenten nahmen an dem PC-Experiment teil, acht Probanden studierten Betriebswirtschaftslehre, sieben Soziologie und weitere acht Personen befanden sich in anderen Studiengängen (s. Anhang I).

105 der 113 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei Vorkenntnisse über neuronale Netze, lediglich 8 Personen schätzten ihre Kenntnisse als gering ein. Somit nahmen keine Experten an der Untersuchung teil. Durch diese Konstanthaltung wurde ein Einfluss der potentiellen Moderatorvariable „Vorkenntnisse“ auf den Zusammenhang zwischen der Gestaltung der multimedialen Lernumgebung und der resultierenden Lernleistung vermieden (s. Abschnitte I.2.1.2, I.2.1.5, I.2.2.5, I.2.3.2 und I.2.3.3 des Theorieteils zum Einfluss der Expertise auf die Gestaltung von Lernumgebungen sowie zur Unterscheidung von Novizen und Experten). Auch die Berücksichtigung der Variable „Vorkenntnisse“ als Kovariate innerhalb der durchzuführenden MANOVA (s. Abschnitt 1.2.3) veränderte die Untersuchungsergebnisse für den Leserichtungseffekt und den Einfluss von Signalisierungen nur ganz marginal und wird daher im Ergebnisteil nicht weiter aufgegriffen.

Der Anteil der Linkshänder an der Untersuchung betrug laut Selbstauskunft 5.3%, der Anteil derer, die angaben eine Fremdsprache zu beherrschen, die sich von rechts nach links schreibt, lag bei 7.1%.

Tabelle 4 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale. Dabei erkennt man, dass die einzelnen Moderatorvariablen auf den vier Versuchsbedingungen relativ gleich verteilt sind.

Lediglich bei der Händigkeit fällt auf, dass vier Linkshänder (14.3%) der Bedingung eins zugeordnet wurden, während an der zweiten Versuchsbedingung kein einziger teilnahm. Allerdings stellt sich der Einfluss der Händigkeit auf die Behaltensleistung als insignifikant gering ($r = .05$) heraus und ist für die Verständnisleistung nahezu nicht vorhanden ($r = .003$). Inferenzstatistisch zeigt sich zudem – wenn auch knapp – kein statistisch bedeutsamer Unterschied ($p = .095$) bezüglich der Zellenverteilung für die Variable „Händigkeit“ bei annähernd akzeptabler Teststärke ($1-\beta = .769$ bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Auch für die anderen Moderatorvariablen „Geschlecht“, „Alter“, „Semester“, „Vorkenntnisse“ und „Fremdsprache“ ergaben sich keine signifikanten Ungleichverteilungen (die p -Werte liegen zwischen .589 und .977; jeweils $1-\beta = .769$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .939$ für die Variablen Alter und Semester bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Da keinerlei sonstige Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 4: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die vier Versuchsbedingungen. In Bedingung eins und zwei wurde die Leserichtung eingehalten, Versuchsbedingung eins und drei beinhalteten die Existenz von Signalisierungen, die die Leserichtung anzeigten.

	Versuchsbedingung				Gesamt
	1	2	3	4	
N	28	28	28	29	113
Geschlecht	17.9%	21.4%	14.3%	24.1%	19.5%
Alter	21.6	22.1	21.6	22.5	22.0
Semester	2.5	2.7	2.5	2.1	2.6
Vorkenntnisse	7.1%	10.7%	3.6%	6.9%	7.1%
Linkshänder	14.3%	0.0%	3.6%	4.0%	5.3%
Fremdsprache	7.1%	7.1%	3.6%	8.0%	7.1%
	Studienfächer				
Psychologie	85.7%	75.0%	75.0%	82.8%	79.6%
BWL	7.1%	7.1%	7.1%	6.9%	7.1%
Soziologie	3.6%	10.7%	7.1%	3.4%	6.2%
Sonstige	3.6%	7.1%	10.7%	6.9%	7.1%

Datenaggregation

Die erhobenen Daten wurden aus der Textdatei in Microsoft Excel 2003 für deskriptivstatistische und SPSS 13.0 für inferenzstatistische Auswertungen übertragen. Die Teststärkenberechnungen erfolgten mittels GPOWER 2.0 (Faul & Erdfelder, 1992).

Sämtliche erhobene Zeiten, alle Multiple-Choice Fragen, Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation im gebundenen Antwortformat sowie persönliche Angaben wie Geschlecht, Alter, Studienfach, Semesterzahl als auch die Fragen zur Händigkeit und zu

Fremdsprachenkenntnissen in Sprachen, die man von rechts nach links schreibt, konnten unmittelbar ausgewertet werden.

Bei den drei Fragen zum Verständnis im offenem Antwortformat, der Frage zu den möglichen Vorkenntnissen über neuronale Netze, den weiteren Anmerkungen zur Fremdsprache sowie den Kommentaren, Anmerkungen und Verbesserungsvorschlägen insbesondere zur Animation wurden die Antworten zunächst gesammelt und bei den drei Verständnisfragen in einen Zahlenwert transformiert. Für jede der drei Fragen mit offenem Antwortformat wurde maximal ein Punkt vergeben. Das Auswertungsschema zu diesen Fragen (s. Anhang E) ist dem Anhang H zu entnehmen.

Jede der sieben Multiple-Choice Fragen zum Verständnis wie auch jede der zehn Multiple-Choice Fragen zum Behalten wurde mit einem Punkt bewertet. Somit konnten die Versuchspersonen insgesamt je zwischen null und zehn Punkten für die Behaltens- und Verständnisleistung erzielen. Der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala betrug .450, für die Verständnisskala .517. Diese relativ niedrigen Werte erlauben vermutlich keine fundierten Aussagen über Leistungsunterschiede zwischen bestimmten Personen³, sondern zeigen an, dass lediglich Vergleiche von Gruppenmittelwerten statthaft sein könnten. Implikationen der ermittelten Cronbachs α -Werte werden an späterer Stelle (s. Ende des Abschnitts 1.2.3) aufgeführt.

1.2.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die inferenzstatistische Absicherung von Mittelwertsunterschieden erfolgt mittels multivariater Varianzanalyse. Die Berechnung solch einer MANOVA ist an folgende Voraussetzungen geknüpft: Unabhängigkeit der Beobachtungen, multivariate Normalverteilung und Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Die Prüfung dieser Voraussetzungen erbringt keine signifikanten Abweichungen, sodass die Annahmen beibehalten werden. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang J zu entnehmen.

³ Diese Vermutung trifft nur dann zu, wenn es sich bei den Variablen Behalten und Verständnis um unidimensionale Konstrukte handelt, wovon nicht zwangsläufig ausgegangen werden kann. Beispielsweise ist es plausibel anzunehmen, dass sich das Verständnis für den dargebotenen Lerninhalt in einzelne Facetten des Verständnisses unterteilen lässt. Zudem steht der Cronbachs α -Kennwert selbst aufgrund diverser methodischer Gründe in der Kritik (vgl. z.B. Sponzel, 2004). Insofern ist zu hinterfragen, ob den berichteten Cronbachs α -Werten eine große Bedeutung beigemessen werden sollte.

Als Prüfgröße wird für die MANOVA bei diesem Experiment wie auch bei allen weiteren *Pillai's Trace* verwendet. In der Regel zeigen sich zwischen den vier von SPSS angebotenen Teststatistiken (*Pillai's Trace*, *Hotelling's Trace*, *Wilks A* und *Roy's largest root λ*) bezüglich des resultierenden *F*-Wertes wie auch der Power kaum Unterschiede (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Jedoch weist *Pillai's Trace* die höchste Teststärke der vier Prüfstatistiken auf (Bortz, 2004, Anhang E15, S. 772), weswegen dieser der Vorzug gegeben wird.

Hypothese 1

Die erste, gerichtete Hypothese postuliert einen Haupteffekt des ersten Faktors „(Nicht-) Einhalten der Leserichtung“ für den Kausalzusammenhang bezüglich der beiden abhängigen Variablen Behalten und Verstehen. Tatsächlich finden sich deskriptivstatistisch höhere Mittelwerte für die Behaltensleistung unter der Bedingung „Einhalten der Leserichtung“ ($M = 6.13$; $SD = 2.00$) im Vergleich zur Bedingung „Nicht-Einhalten der Leserichtung“ ($M = 5.46$; $SD = 1.76$). Auch für die Verständnisleistung zeigen sich hypotesenkonform höhere Mittelwerte bei Einhalten der Leserichtung ($M = 5.71$; $SD = 1.90$) als bei den Versuchsbedingungen, in denen die Leserichtung nicht eingehalten wird ($M = 4.75$; $SD = 1.75$). Die Effektstärken betragen $d = 0.36$ für die Behaltensleistung und $d = 0.53$ für die Verständnisleistung. Nach Cohen (1977) kann der Behaltensunterschied somit als kleiner ($d = 0.20$) bis mittlerer Effekt ($d = 0.50$) betrachtet werden, die Differenz der Verständnisleistung stellt hingegen einen mittleren Effekt dar.

Inferenzstatistisch weist die multivariate Varianzanalyse für die erste unabhängige Variable „Einhalten der Leserichtung“ einen statistisch bedeutsamen Unterschied auf dem 5%-Niveau aus (*Pillai's Trace* = .067; $F(2, 108) = 3.890$; $p = .023$).

Bei getrennter Betrachtung der beiden abhängigen Variablen zeigt sich, dass für die Verständnisleistung die Leserichtung auf dem 1%-Niveau signifikant wird ($F(1, 109) = 7.726$; $p = .006$). Der Unterschied in der Behaltensleistung hingegen verfehlt bei zweiseitiger Testung nur knapp das 5%-Signifikanzniveau ($F(1, 109) = 3.674$; $p = .058$). Die Teststärke für den empirisch ermittelten Effekt ($d = 0.36$) beträgt lediglich 47.48% (bei $\alpha = .05$), wengleich bei einem angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5% eine Teststärke von 98.30% ermittelt werden kann. Bei einseitiger Testung mittels *t*-Test ($t(111) = 1.886$; $p = .031$) wäre das 5%-Niveau hingegen erreicht worden. Da die erste Hypothese gerichtet formuliert wurde, wäre ein einseitig durchgeführter Test zwar statthaft gewesen, allerdings führt die Berücksichtigung der α -Fehler-Kumulierung mittels

sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (Bortz, 2004) dazu, dass auch hier das Signifikanzniveau von 5% verfehlt wird (s. Anhang K).

Aufgrund der niedrigen Power (zumindest für den empirisch aufgetretenen Effekt) kann die Hypothese 1 nicht verworfen und statt ihrer die entsprechende Nullhypothese angenommen werden. Die Teststärke von 47.48% hat außerdem vermutlich nicht ausgereicht, den empirisch ermittelten Effekt ($d = 0.36$) inferenzstatistisch auf dem 5%-Niveau abzusichern.

Zusammenfassend lässt sich für die erste Hypothese festhalten, dass in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte besser verstanden und tendenziell auch besser behalten werden, wenn die Leserichtung mit links platzierter Ursache und rechts positionierter Wirkung eingehalten wird.

Hypothese 2

Die zweite, gerichtete Hypothese besagt, dass Signalisierungen in Form von Pfeilen und Beschriftungen die Verständnisleistung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in interaktiven Animationen fördern.

Beim Vergleich der Verständnisleistung erzielten Probanden mit Signalisierungen durchschnittlich höhere Punktwerte ($M = 5.60$; $SD = 1.80$) als jene, die keine Signalisierungen erhalten haben ($M = 4.86$; $SD = 1.90$). Die resultierende Effektstärke d beträgt 0.41. Die deskriptivstatistisch gefundene Differenz lässt sich auch inferenzstatistisch absichern. Bei Einzelbetrachtung der abhängigen Variable Verständnisleistung zeigt sich ein statistisch bedeutsamer Unterschied auf dem 5%-Niveau ($F(1, 109) = 4.613$; $p = .034$). Damit wird das Signalisierungsprinzip der CTML auch für interaktive, dynamische Visualisierungen nachhaltig gestützt (vgl. Abschnitt I.2.2.5 des Theorieteils). Signalisierungen fördern die Verständnisleistung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in interaktiven Animationen.

Hypothese 3

Die dritte Hypothese behauptet, der Effekt der Leserichtung auf das Verstehen des präsentierten Kausalzusammenhanges könne durch Hinzufügen von Signalisierungen in Form von Pfeilen und Beschriftungen abgeschwächt werden. Demnach müsste sich ein Interaktionseffekt zwischen der ersten und zweiten unabhängigen Variable ergeben. Dabei sollte die Mittelwertsdifferenz der Verständnisseleistungen zwischen den Bedingungen ohne Signalisierungen, nämlich zwei (Leserichtung eingehalten) und vier (Leserichtung nicht eingehalten), größer ausfallen als die Mittelwertsdifferenz zwischen den – Signalisierungen

beinhaltenden – Bedingungen eins (Leserichtung eingehalten) und drei (Leserichtung nicht eingehalten).

Für die Verständnisleistung zeigt der gefundene Unterschied der Mittelwertsdifferenzen ($M_{1-3} = 0.73$ zu $M_{2-4} = 1.15$; $SD_{1-3} = 1.80$; $SD_{2-4} = 1.90$; $d_{1-3} = 0.41$ zu $d_{2-4} = 0.63$) in die von der Hypothese 3 vermutete Richtung. Der gefundene Interaktionseffekt muss aber als sehr klein bezeichnet werden ($\eta_p^2 = .004$).

Inferenzstatistisch weist die MANOVA zwar einen signifikanten Interaktionseffekt (*Pillai's Trace* = .072; $F(2, 108) = 4.200$; $p = .018$) bei gemeinsamer Betrachtung der beiden abhängigen Variablen aus. Bei getrennter Berücksichtigung von Behalten und Verstehen erkennt man jedoch, dass das 5%-Signifikanzniveau für die Verständnisleistung deutlich verfehlt wird ($F(1, 109) = .386$; $p = .536$).

Die ermittelte Teststärke liegt bei 98.30% für einen angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5%. Bei Betrachtung des empirisch ermittelten sehr kleinen Effekts ($f^2 = .004$) sinkt die Power auf 10.22% (für $\alpha = .05$) ab.

Zusammengefasst kann für die erste Untersuchung nicht nachgewiesen werden, dass Signalisierungen, die auf das Abweichen der Leserichtung in der dynamischen, interaktiven Visualisierung hinweisen, den Leserichtungseffekt der Hypothese 1 für die Verständnisleistung von Kausalzusammenhängen abschwächen.

Die nachfolgend dargestellten Überlegungen und statistischen Analysen dienen dazu, eine nachträgliche Erklärung für die fehlende inferenzstatistische Absicherung der dritten Hypothese zu erbringen.

Entwicklung einer Post hoc Hypothese

Betrachtet man neben den Mittelwertsdifferenzen der Verständnisleistung, auf die die dritte Hypothese abzielt, die Differenzen der Behaltensleistungen, so findet sich deskriptivstatistisch zwar ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Mittelwertsdifferenzen ($M_{1-3} = 1.36$ zu $M_{2-4} = -0.01$; $SD_{1-3} = 1.81$; $SD_{2-4} = 2.01$; $d_{1-3} = 0.80$ zu $d_{2-4} = 0.004$; für den Interaktionseffekt: $\eta_p^2 = .033$), allerdings weist dieser Unterschied der Differenzen nicht in jene Richtung, die in Hypothese 3 für die Verständnisleistungen postuliert wird.

Zur Erklärung der Befunde bezüglich der dritten Hypothese könnte man folgende Überlegungen anstellen: Versuchspersonen, die keine Signalisierungen erhalten, besitzen aufgrund der fehlenden Hinweiszeichen eine ungünstigere Ausgangslage, was zu

schlechteren Behaltens- und Verständnisleistungen führt (vgl. das Signalisierungsprinzip in der CTML, s. Abschnitt I.2.2.5 des Theorieteils). Die Probanden könnten ihre schlechtere Ausgangslage jedoch teilweise kompensiert haben. Als mögliche Kompensationsmöglichkeit wäre dabei eine längere Betrachtungszeit der interaktiven Animation denkbar (dies könnte ggf. auch die uneinheitliche Befundlage zum Signalisierungsprinzip in interaktiven Animationen erklären, s. Abschnitt I.2.2.5 des Theorieteils). Diese könnte eher als Wiederholung der interaktiven Visualisierung angesehen werden und weniger als tiefere Elaboration (Craik & Lockhart, 1972) des Lernmaterials. Zu vermuten ist, dass Wiederholung eher die Behaltensleistung als die Verständnisleistung fördert, tiefere Elaboration hingegen das Behalten und Verstehen verbessert. Daher hätte sich die Verständnisleistung bei den Versuchsteilnehmern ohne Signalisierungen nicht oder in geringerem Ausmaß ausgleichen müssen als die Behaltensleistung (vgl. Hypothese 2). Die durch die längere Betrachtungszeit verursachte „Störvarianz“ dürfte den Leserichtungseffekt unter der Bedingung „Signalisierungen nicht vorhanden“ dabei in stärkerem Maße für das Behalten als für das Verständnis reduziert haben (siehe oben), da für das Behalten der störende Einfluss der Betrachtungszeit größer gewesen sein müsste. Dies könnte auch erklären, warum der Leserichtungseffekt aus Hypothese 1 das 5%-Niveau knapp verfehlt hat.

Auf Grundlage dieser Überlegungen lässt sich folgende Post hoc Hypothese formulieren:

Probanden, die keine leserichtungsanzeigenden Signalisierungen erhalten, betrachten die interaktive Animation länger, was sowohl ihre ungünstigere Ausgangslage als auch den Leserichtungseffekt in stärkerem Maße für das Behalten als für das Verständnis kompensiert.

Überprüfung der Post hoc Hypothese

Tatsächlich zeigt sich, dass Probanden ohne Signalisierungen ($M = 280.1$ Sek.; $SD = 130.3$ Sek.) die interaktive Animation durchschnittlich über eine Minute (60.4 Sek.; $d = 0.51$) länger betrachten als Versuchsteilnehmer mit Signalisierungen ($M = 219.7$ Sek.; $SD = 104.9$ Sek.). Diese Differenz wird auf dem 1%-Niveau signifikant ($F(1, 111) = 7.351$; $p = .008$).

Um zu überprüfen, ob sich die Probanden, die keine Signalisierungen erhalten, unabhängig von der Art der dargebotenen interaktiven Animation länger mit dem Lernmaterial beschäftigen, wird auch die Betrachtungszeit der Lerntexte in die Analyse mit einbezogen.

Zwar findet sich auch für die Betrachtungszeit sämtlicher sieben Lerntextseiten ein deskriptivstatistischer Unterschied (52.8 Sek.; $d = 0.24$) zwischen den beiden Gruppen (ohne

Signalisierungen: $M = 714.8$ Sek.; $SD = 238.2$ Sek.; mit Signalisierungen: $M = 661.9$ Sek.; $SD = 196.4$ Sek.), der aber streuungsnormiert weniger als halb so groß ausfällt als die gefundene Differenz für die interaktive Animation. Auch inferenzstatistisch zeigt sich, dass diese Differenz das Signifikanzniveau auf dem 5%-Niveau nicht erreicht ($F(1, 111) = 1.652$; $p = .201$; $1-\beta = .983$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Die gemeinsame Betrachtung der Lerntext- und Animationszeit stützt ebenfalls die Post hoc Hypothese. Mittels MANOVA findet sich für den Faktor Signalisierungen und den beiden abhängigen Variablen Animationszeit und Lerntextzeit ein statistisch bedeutsamer Effekt auf dem 5%-Niveau (*Pillai's Trace* = .062; $F(2, 110) = 3.649$; $p = .029$).

Wie postuliert lässt sich für die Behaltensleistung nur ein marginaler Unterschied ($d = 0.04$) zwischen den Versuchsteilnehmern mit Signalisierungen ($M = 5.82$; $SD = 1.81$) und jenen ohne ($M = 5.75$; $SD = 2.01$) finden. Dabei wird das Signifikanzniveau deutlich verfehlt ($F(1, 109) = .036$; $p = .849$; $1-\beta = .983$ bei $f^2 = .15$ und $\alpha = .05$).

Fasst man den Einfluss des Faktors Signalisierungen für die beiden abhängigen Variablen Behalten und Verständnis zusammen, so zeigt die multivariate Varianzanalyse einen statistisch bedeutsamen Effekt auf dem 5%-Niveau (*Pillai's Trace* = .055; $F(2, 108) = 3.146$; $p = .047$).

Insgesamt erfährt die Post hoc Hypothese durch die aufgeführten Befunde Bestätigung. Versuchsteilnehmer, die keine leserichtungsanzeigenden Signalisierungen erhalten, betrachten die interaktive Animation länger, was sowohl ihre ungünstigere Ausgangslage als auch den Leserichtungseffekt in stärkerem Maße für das Behalten als für das Verständnis kompensiert. Dabei ist zu beachten, dass die Post hoc Hypothese grundsätzlich in einer neuen Untersuchung als a priori Hypothese formuliert und überprüft werden müsste. In der vorliegenden Arbeit wird jedoch bewusst hierauf verzichtet, da sich im Datensatz noch interessantere Effekte finden, denen der Vorzug eingeräumt wird und die in den weiteren Experimenten eingehender untersucht werden. Festzuhalten ist, dass die Zeit, die Lernende in Untersuchungen zu multimedialen Lernumgebungen mit dem Lernmaterial verbringen, eine wichtige Moderatorvariable darstellen kann (vgl. auch im Theorieteil, speziell: Messung der kognitiven Belastung (s. Abschnitt I.2.1.4), Vorübungsprinzip (s. I.2.2.5) und Lernerkontrolle (s. I.2.3.4)). Sie wird deshalb – soweit technisch in sinnvoller Weise realisierbar (vgl. Abschnitt 1.4) – auch in den allen weiteren Experimenten erfasst und ggf. bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Moderierender Einfluss des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt

Neben der Untersuchung der ursprünglich aufgestellten Hypothesen fallen zahlreiche weitere interessante Zusammenhänge bei der Datenauswertung auf. An dieser Stelle soll jedoch lediglich der Moderatoreffekt des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt für Kausalzusammenhänge näher erörtert werden.

Für die Behaltensleistung zeigt sich eine disordinale Wechselwirkung zwischen Leserichtung und Geschlecht (s. Abb. 10). Männer erzielen deutlich bessere Leistungen ($d = 0.60$) bei Nichteinhalten der Leserichtung ($M = 6.82$; $SD = 1.40$) als bei Einhalten ($M = 5.91$; $SD = 1.64$). Im Gegensatz dazu stellt sich bei Frauen ein Leserichtungseffekt ein ($d = 0.55$). Unter der Bedingung Links-Rechts schneiden diese besser ab ($M = 6.18$; $SD = 2.09$) als unter der Bedingung Rechts-Links ($M = 5.13$; $SD = 1.69$).

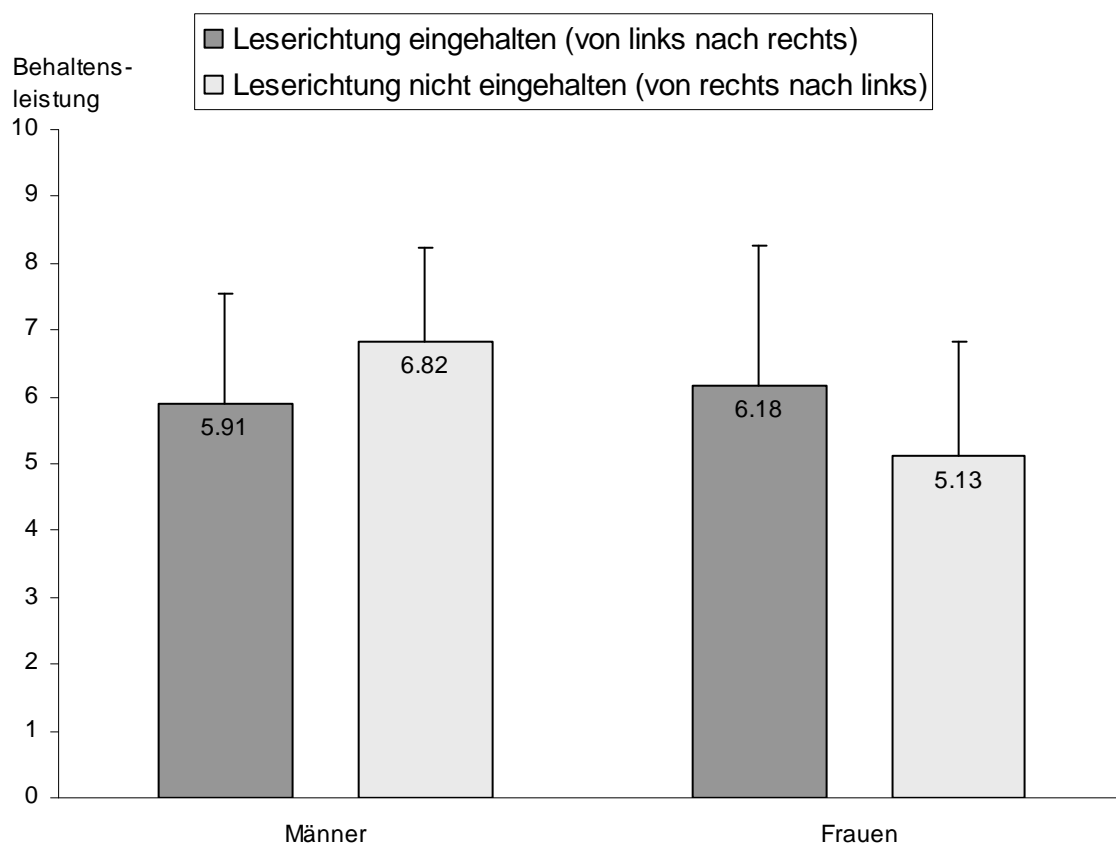


Abb. 10: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistung für die Faktoren Leserichtung und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Für die Verständnisleistung liegt lediglich eine ordinale Wechselwirkung zwischen Leserichtung und Geschlecht vor. Während bei Männern ein sehr schwacher Leserichtungseffekt für Ursache-Wirkungs-Beziehungen auftritt ($d = 0.10$) profitieren

Frauen deutlich vom Einhalten der Leserichtung ($d = 0.63$). Abb. 11 illustriert die Verständnismittelwerte und Standardabweichungen von Männern ($M_{\text{Links-Rechts}} = 6.41$ ($SD_{\text{Links-Rechts}} = 1.63$) zu $M_{\text{Rechts-Links}} = 6.27$ ($SD_{\text{Rechts-Links}} = 1.06$)) und Frauen ($M_{\text{Links-Rechts}} = 5.53$ ($SD_{\text{Links-Rechts}} = 1.94$) zu $M_{\text{Rechts-Links}} = 4.39$ ($SD_{\text{Rechts-Links}} = 1.69$)) getrennt für den Faktor Leserichtung.

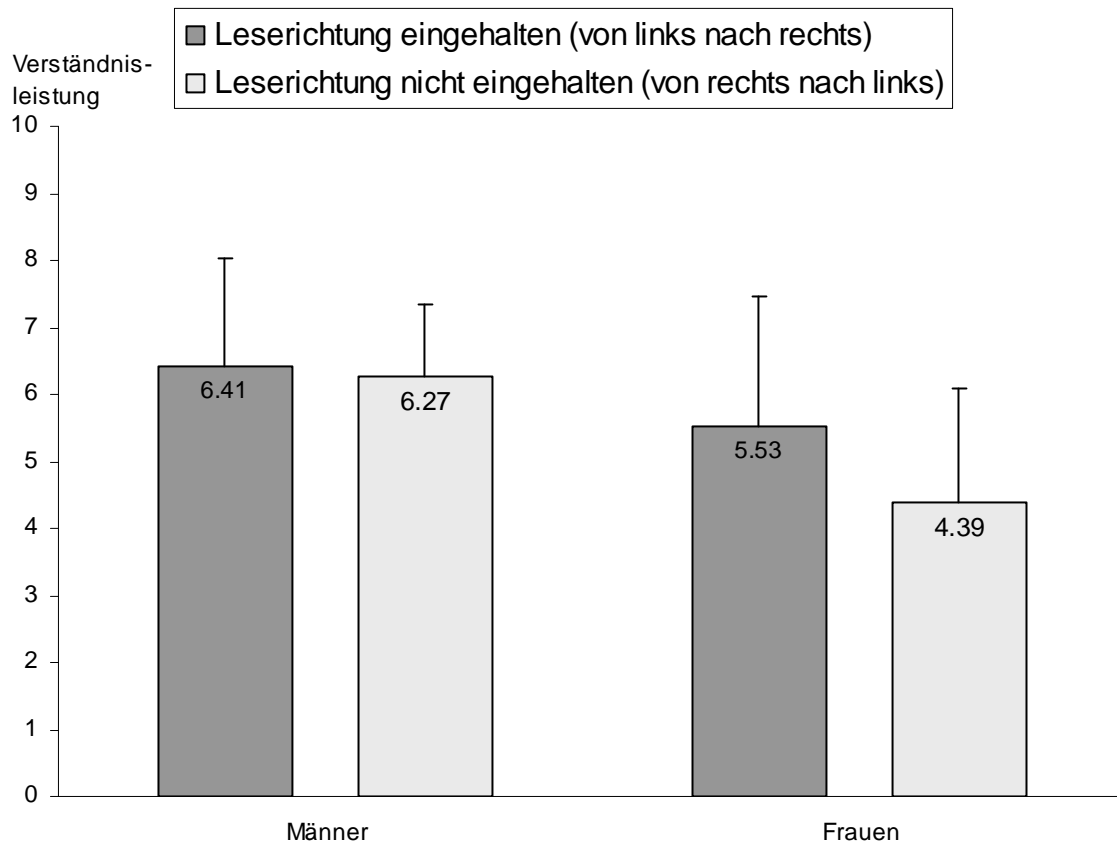


Abb. 11: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistung für die Faktoren Leserichtung und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Inferenzstatistisch lässt sich der Wechselwirkungseffekt zwischen Geschlecht und Leserichtung für die Behaltensleistung auf dem 5%-Niveau absichern ($F(1, 109) = 5.017$; $p = .027$). Für die Verständnisleistung wird das Signifikanzniveau hingegen verfehlt ($F(1, 109) = 1.470$; $p = .228$; $1 - \beta = .983$ für einen angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$); $1 - \beta = .225$ für den empirisch ermittelten Effekt und $\alpha = .05$). Die Berücksichtigung der Animationszeit als Kovariate in der Analyse führt nur zu marginalen Veränderungen der inferenzstatistischen Kennwerte ($p = .031$ statt $p = .027$ für die Behaltensleistungen; $p = .256$ statt $p = .228$ für die Verständnisleistungen).

Betrachtet man die Behaltensleistungen der Frauen unabhängig von jenen der Männer, so kann der deskriptivstatistisch gefundene mittlere Effekt von $d = 0.55$ auch inferenzstatistisch abgesichert werden ($F(1, 89) = 6.901; p = .010$). Die Effektstärke des Leserichtungseffektes für die Verständnisseleistungen der Frauen von $d = 0.63$ ist sogar auf dem 1%-Niveau signifikant ($F(1, 89) = 8.961; p = .004$).

Bei Einzelbetrachtung der Männer können die besseren Behaltensleistungen bei Nichteinhalten im Vergleich zum Einhalten der Leserichtung ($d = 0.60$) inferenzstatistisch nicht abgesichert werden ($F(1, 18) = 1.183; p = .291$). Selbiges trifft für den gefundenen, sehr schwachen ($d = 0.10$) Leserichtungseffekt der Verständnisseleistungen zu ($F(1, 18) = .026; p = .816$). Hierbei ist zu beachten, dass durch die geringe Anzahl an Männern in der Untersuchung ($n = 22$) die Power bei einem angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5% lediglich bei 40.52% liegt.

Der moderierende Einfluss des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt für die Behaltensleistung des dargebotenen Kausalzusammenhanges wurde a priori nicht vermutet und bedarf somit einer Prüfung an einem neuen Datensatz. Auch die extrem ungleiche Zellenbesetzung (vgl. Annahmeveraussetzungen der inferenzstatistischen Testung: Bortz, 2004; Stevens, 2001) bezüglich der Organismusvariable Geschlecht (91 Frauen zu 22 Männer) führt unweigerlich zur Notwendigkeit einer weiteren Untersuchung, bei der nach Möglichkeit der Anteil der teilnehmenden Männer zur Prüfung des Moderatoreffektes erhöht werden sollte. Zudem werden die Ergebnisse durch die relativ geringen Cronbachs α -Werte (s. Datenaggregation unter Abschnitt 1.2.2) in Frage gestellt (vergleiche jedoch Fußnote 3 auf Seite 91). Eine zweite Studie bietet sich daher u.a. zur Reliabilitätssteigerung durch den Austausch von Behaltens- und Verständnisitems unmittelbar an.

1.3. Experiment 2 (Leserichtungseffekt, moderierender Einfluss des Geschlechts & horizontale vs. vertikale Präsentation)

1.3.1. Einleitung

Die zweite Untersuchung befasst sich mit dem moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt für Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Dabei soll der im ersten Experiment gefundene Interaktionseffekt zwischen Geschlecht und Leserichtung für die Behaltensleistungen von Kausalzusammenhängen repliziert werden.

Des Weiteren soll der Frage nachgegangen werden, wie sich eine vertikale im Vergleich zu einer horizontalen Darstellung des Kausalzusammenhanges auf die Behaltens- und

Verständnisleistung auswirkt. Auch bei der vertikalen Darstellung kann unterschieden werden, ob die Leserichtung von oben nach unten eingehalten wird. Bei Einhalten der Leserichtung für den Kausalzusammenhang befindet sich die Ursache demnach oben, die Wirkung unten, bei Nichteinhaltung verhält es sich umgekehrt. Hierbei stellt sich wie bei der vorherigen Untersuchung die Frage, ob die unterschiedliche Positionierung von Ursache und Wirkung die Lernleistung beeinflusst. Dieser Frage wurde auch in anderen experimentellen Studien, allerdings noch nicht bei interaktiven, dynamischen Visualisierungen nachgegangen. So untersuchten beispielsweise Müller und Gehrke (2004) den Einfluss der vertikalen Leserichtung (Oben-Unten vs. Unten-Oben) bei Rechenaufgaben. In einer Bedingung wurden die Aufgaben als Ursache-Wirkungs-Beziehung in Form von Input- und Output-Werten eines Stromkreises präsentiert, in der anderen als neutrale Beziehung zwischen Zahlen. Als abhängige Variable wurden die Reaktionszeiten der Versuchsteilnehmer für die korrekte Berechnung der Aufgaben herangezogen. In der Hälfte der Aufgaben sollten die Probanden die Input-Werte berechnen, in der anderen die Output-Werte (in der neutralen Versuchsbedingung wurden diese Bezeichnungen nicht verwendet). Insgesamt erbringt die Beachtung der Leserichtung als Darbietung der Werte von oben nach unten keine signifikant kürzeren Reaktionszeiten. Jedoch findet sich u.a. eine Wechselwirkung zwischen Präsentationsreihenfolge, Aufgabentyp und Trainingsaufgabe. Genauer gesagt werden Aufgaben, in denen die Output-Werte zu berechnen sind (kausale Beziehung und Berechnung der „Wirkung“), signifikant schneller korrekt berechnet, wenn die Leserichtung von oben nach unten eingehalten wird, während sich bei Fragen zu den Input-Werten sowie bei Fragen im Kontext neutraler Beziehungen zwischen Zahlen kein statistisch bedeutsamer Unterschied ergibt.

Neben dieser Studie, die die verschiedenen Zahlenwerte den Probanden z.T. als kausal miteinander verbunden dargestellt hat, existieren auch Untersuchungen, die sich nicht auf Kausalzusammenhänge beziehen. So wurde in dem bereits aufgeführten Experiment von Winn (1982a) zur evolutionären Entwicklung von Dinosauriern (s. Abschnitt 1.1) neben der horizontalen auch die vertikale Leserichtung einbezogen. Dabei befand sich in der Bedingung, in der die Leserichtung von links nach rechts eingehalten wurde, der Zeitstrahl oberhalb der Visualisierung, in der Rechts-Links-Bedingung hingegen unterhalb der Grafik. Allerdings kann durch die entstehende Konfundierung zwischen horizontaler und vertikaler Leserichtung keine Aussage darüber getroffen werden, welche der beiden Anordnungen den lernförderlichen Effekt bedingt hat.

In der unter Abschnitt 1.1 bereits aufgeführten kulturübergreifenden Studie von Tversky et al. (1991) sollten Probanden statische Visualisierungen erstellen. Quantitative Zusammenhänge und Präferenzurteile wurden von englisch-, hebräisch- und arabischsprachigen Probanden in gleichem Maße in alle Richtungen mit Ausnahme der Richtung Oben-Unten dargestellt. Dies bedeutet konkret, dass beispielsweise bei quantitativen Zusammenhängen ansteigende Werte von den Versuchsteilnehmern nicht von oben nach unten visualisiert wurden. Ähnliche Befunde finden sich in der Sozialpsychologie. Hier wurde beispielsweise untersucht, wie sich die vertikale Positionierung von Begriffen auf die Wahrnehmung von Machtverhältnissen auswirkt. Dabei zeigt sich deskriptivstatistisch, dass Objekte, die auf dem Computerbildschirm oberhalb eines anderen Objektes präsentiert werden, als geringfügig mächtiger als das untere Objekt wahrgenommen werden (Schubert, 2005). In derselben Studie kann festgestellt werden, dass auch die Reaktionszeiten, die für die Identifikation des mächtigeren bzw. schwächeren Begriffes benötigt werden, von der vertikalen Anordnung abhängen. Wird beispielsweise der Begriff „Herr“ oberhalb des Begriffes „Diener“ dargeboten, erkennen die Probanden den mächtigeren bzw. schwächeren der beiden Begriffe signifikant schneller im Vergleich zur vertauschten Reihenfolge.

Die aufgeführten Studien lassen sich nur sehr bedingt auf die eigene Fragestellung der zweiten Untersuchung übertragen und liefern insofern nur einen allerersten Hinweis darauf, dass auch die vertikale Anordnung die Lernleistung in interaktiven Animationen beeinflussen könnte. Insbesondere unterscheiden sich die berichteten Experimente darin, dass zumeist keine Kausalzusammenhänge betrachtet werden und es sich beim Lernmaterial um Texte oder einfache graphische Objekte und nicht um dynamische, interaktive Visualisierungen handelt. Zudem wird oftmals nicht die Lernleistung als abhängige Variable erfasst. Des Weiteren berücksichtigt keine der aufgeführten Untersuchungen das Geschlecht als mögliche Moderatorvariable, was in diesem zweiten Experiment erfolgen soll.

Zunächst gilt es, den im ersten Experiment gefundenen behaltens- und verständnisförderlichen Effekt durch Einhalten der Leserichtung bei Frauen zu replizieren. Dabei wird der Begriff Leserichtung auf vertikale Anordnungen erweitert. Bei vertikaler Anordnung wird die Leserichtung eines dargebotenen Kausalzusammenhanges eingehalten, wenn dessen Ursache oberhalb der Wirkung präsentiert wird.

Die zweite Hypothese betrifft die Replikation des im ersten Experiment gefundenen moderierenden Einflusses des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt für die

Behaltensleistung. Zudem soll überprüft werden, ob sich der für die Behaltensleistung auftretende Interaktionseffekt zwischen Geschlecht und Leserichtung bei der Verständnisleistung wie im ersten Experiment nicht zeigt.

Fasst man die ersten beiden Hypothesen zusammen, so dienen sie zur Replikation und Erweiterung der Befunde aus dem ersten Experiment.

Die beiden folgenden Hypothesen beziehen sich hingegen auf einen Vergleich zwischen horizontaler und vertikaler Anordnung eines präsentierten Kausalzusammenhanges.

Aufgrund der Ergebnisse des ersten Experiments kann vermutet werden, dass die Lernleistungen von Frauen sich auch in Abhängigkeit einer horizontalen vs. vertikalen Anordnung voneinander unterscheiden. Welche der beiden Anordnungen vermutlich lernförderlicher ist, kann an dieser Stelle noch nicht postuliert werden, da hierzu keine Informationen aus dem ersten Experiment oder der Literatur zu entnehmen sind.

Die letzte Hypothese betrifft den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf die horizontale vs. vertikale Anordnung von Ursache und Wirkung in interaktiven Animationen. Man könnte aufgrund der Untersuchungsergebnisse des ersten Experiments vermuten, dass sich die unterschiedliche Positionierung der graphischen Objekte generell bei Frauen in stärkerem Maße auf die Behaltens- nicht aber auf die Verständnisleistungen auswirkt als dies bei Männern der Fall ist.

In diesem zweiten Experiment sollen die postulierten Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Anordnung des dargebotenen Kausalzusammenhanges nachgewiesen werden. Inwieweit sich die Positionierung der graphischen Objekte auf die Lernleistungen der Männer unabhängig von den Leistungen der Frauen auswirkt, wird in der dritten Untersuchung näher erörtert (s. Abschnitt 1.4). Eine Erklärung für den postulierten Einfluss des Geschlechts soll ebenfalls noch nicht erfolgen, sondern ist u.a. Gegenstand des vierten Experiments (s. Abschnitt 1.5).

1.3.2. Methode

Versuchsdesign

Der Untersuchung lag ein dreifaktorieller, je zweifach gestufter, vollständig gekreuzter, bivariater Versuchsplan zugrunde (siehe Tabelle 5).

Die erste unabhängige Variable stellte die auf zwei Stufen variierte Leserichtung dar. Auf der ersten Faktorstufe wurde die Leserichtung eingehalten, d.h. die Ursache wurde in der Animation entweder links oder oben, die Wirkung hingegen rechts oder unten platziert. Auf

der zweiten Faktorstufe wurde die Leserichtung nicht eingehalten. Die Ursache befand sich entweder rechts oder unten, die Wirkung wurde auf die linke Seite oder oben positioniert.

Die zweite unabhängige Variable umfasste die Präsentation in horizontaler oder vertikaler Anordnung. Auf der ersten Faktorstufe wurde der Kausalzusammenhang horizontal präsentiert (von links nach rechts oder von rechts nach links), auf der zweiten Faktorstufe hingegen vertikal (oben-unten oder unten-oben).

Die dritte unabhängige Variable stellte das Geschlecht als Organismusvariable dar.

Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig auf die vier verschiedenen Bedingungen der ersten beiden unabhängigen Variablen verteilt.

Die erste abhängige Variable erfasste die Behaltensleistung aller Probanden hinsichtlich der dynamischen, interaktiven Visualisierung, die zweite abhängige Variable bezog sich auf die Verständnisleistung der untersuchten Versuchspersonen.

Tabelle 5: 2x2x2-faktorieller, bivariater (Behalten und Verstehen) Versuchsplan.

		UV ₂ (Horizontal-Vertikal)							
		Horizontal		Vertikal					
UV ₃ (Geschlecht)		Männer	Frauen	Männer	Frauen				
UV ₁ (Leserichtung)	Leserichtung eingehalten	\bar{Y}_{1111}	\bar{Y}_{1112}	\bar{Y}_{1121}	\bar{Y}_{1122}	\bar{Y}_{1211}	\bar{Y}_{1212}	\bar{Y}_{1221}	\bar{Y}_{1222}
	Leserichtung nicht eingehalten	\bar{Y}_{2111}	\bar{Y}_{2112}	\bar{Y}_{2121}	\bar{Y}_{2122}	\bar{Y}_{2211}	\bar{Y}_{2212}	\bar{Y}_{2221}	\bar{Y}_{2222}

Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial konnte zu großen Teilen auf das Computerprogramm des ersten Experiments (s. Abschnitt 1.2.2) zurückgegriffen werden. Während der Lerntext gänzlich unverändert blieb, wurde die Animation nur marginal verändert. Dies war notwendig, da die Animationen der Versuchsbedingungen Oben-Unten und Unten-Oben in vertikaler Richtung keinen Platz gefunden hätten. Um dieses Problem zu lösen, wurde die – ursprünglich oberhalb der dynamischen, interaktiven Visualisierung befindliche – Instruktion auf einer separaten Seite platziert, die unmittelbar vor der Animation präsentiert wurde. Zudem

wurden die graphischen Elemente geringfügig verkleinert und die numerische Darstellung der Parameter, ursprünglich oberhalb der Thermometer platziert, nun links neben die Thermometer positioniert. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wurde auf die Skalierung der Thermometer verzichtet. Ansonsten blieb die dynamische Visualisierung jedoch unverändert und glich somit sehr stark dem Versuchsmaterial des ersten Experiments (s. Abb. 12). Dabei waren in allen Bedingungen richtungsanzeigende Pfeile und Beschriftungen enthalten, um die im ersten Experiment auftretende höhere Betrachtungszeit aufgrund fehlender Signalisierungen (s. Abschnitt 1.2.3) als Störvariable auszuschalten.

Die beschriebenen Veränderungen erfolgten für alle Versuchsbedingungen, sodass sich auch in diesem Experiment die Versuchsbedingungen lediglich hinsichtlich der oben aufgeführten drei unabhängigen Variablen unterschieden. Abb. 12 visualisiert beispielhaft die erste Versuchsbedingung des zweiten Experiments.

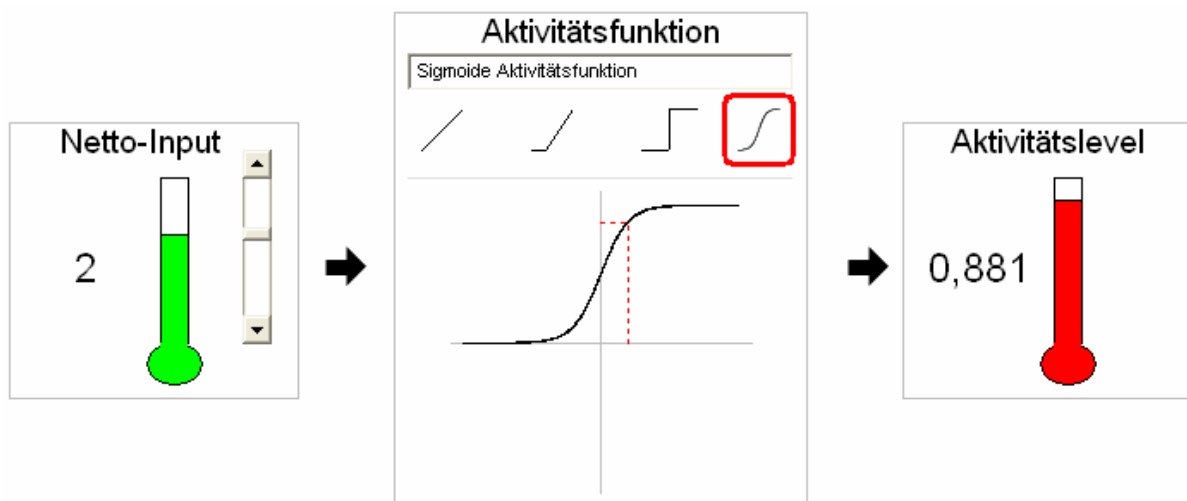


Abb. 12: Beispielhafte Darstellung der Animation für das zweite Experiment. Die Visualisierung repräsentiert die erste Versuchsbedingung mit eingehaltener Leserichtung und horizontaler Darstellung (Darbietung des Kausalzusammenhangs von links nach rechts).

Der Präsentation der Behaltens- und Verständnisfragen, der subjektiven Einschätzung zur Animation sowie der persönlichen Angaben erfolgte bis auf die zusätzliche Erhebung der Email-Adresse, die freiwillig angegeben werden konnte, analog zum ersten Experiment (s. Abschnitt 1.2.2). Lernfragen wurden in Abhängigkeit von Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und der Korrelation zum fremden Behaltens- oder Verständnisscore zum Teil aussortiert und durch neue Items ersetzt. Die neuen, selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang L zu entnehmen.

Versuchsablauf und Datenaggregation

Versuchsablauf und Datenaggregation waren identisch wie im Experiment 1. Durch den Austausch von Lernfragen geringer Trennschärfen durch neue Items konnte der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala von .450 auf .658, für die Verständnisskala von .517 auf .716 gesteigert werden (vgl. Abschnitt 1.2.2 u. 1.2.3). Diese Werte lassen viel eher eine Interpretation von Unterschieden in den Gruppenmittelwerten zu als jene der ersten Untersuchung (Vergleiche jedoch Fußnote 3 auf Seite 91).

Stichprobe

An dem zweiten Experiment nahmen insgesamt 95 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Gruppen verteilt wurden (25 Personen in der Bedingung eins, je 23 in den Bedingungen zwei und drei, 24 in der Bedingung vier).

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 22 Jahre (18-33 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im ersten Semester (Modalwert) befanden ($M = 3.1$; $SD = 2.9$).

Von den 95 Personen waren 61 weiblichen Geschlechts (64.2%).

68 Psychologiestudenten nahmen an dem PC-Experiment teil, sieben Probanden studierten Betriebs- oder Volkswirtschaftslehre, sechs Soziologie und weitere vierzehn Personen befanden sich in anderen Studiengängen.

67 der 95 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei Vorkenntnisse über neuronale Netze. Damit nahmen zwar auch im zweiten Versuch vornehmlich Novizen an der Studie teil, wobei jedoch der Anteil derer, die Vorkenntnisse durch Selbstauskunft vorgaben, höher ausfiel als im ersten Experiment (vgl. Abschnitt 1.2.2). Dennoch führte die Berücksichtigung der Variable „Vorkenntnisse“ als Kovariate innerhalb der durchzuführenden MANOVA (s. Abschnitt 1.3.3) wie schon im ersten Experiment nur zu ganz marginalen Veränderungen der deskriptiv- und inferenzstatistischen Befunde und wird daher im Ergebnisteil nicht weiter aufgegriffen. Gleiches gilt für die Animationszeit als weitere Kovariate.

Der Anteil der Linkshänder an der Untersuchung betrug laut Selbstauskunft 8.4%, der Anteil derer, die angaben eine Fremdsprache zu beherrschen, die sich von rechts nach links schreibt, lag bei 6.3%.

Tabelle 6 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale. Dabei erkennt man, dass die einzelnen Moderatorvariablen auf den vier Versuchsbedingungen ähnlich verteilt sind.

Einzig bei den Fremdsprachenkenntnissen bezüglich einer Sprache, die von rechts nach links geschrieben wird, scheint zunächst auffällig zu sein, dass die Versuchsbedingung Rechts-Links einen Prozentwert von 13.0% aufweist, während die Bedingung Oben-Unten keine einzige Versuchsperson mit derartigen Fremdsprachenkenntnissen enthält (siehe Tabelle 6). Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die Unterschiede in den absoluten Werten von drei und null sich nicht überzufällig voneinander unterscheiden ($p = .311$ bei Testung der vier verschiedenen Bedingungen; $1-\beta = .833$ bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Ganz ähnlich verhält es sich auch bei den anderen potentiell moderierenden Einflussgrößen wie „Geschlecht“, „Alter“, „Semester“, „Vorkenntnisse“ und „Händigkeit“ (p -Werte zwischen $.311$ und 1.000 ; $1-\beta = .687$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .888$ für die Variablen Alter und Semesterzahl bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Da keinerlei sonstige Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 6: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die vier Versuchsbedingungen der ersten beiden unabhängigen Variablen zur besseren Vergleichbarkeit mit dem ersten Experiment.

	Versuchsbedingung				Gesamt
	Links-Rechts	Rechts-Links	Oben-Unten	Unten-Oben	
N	25	23	23	24	95
Geschlecht	36.0%	34.8%	34.8%	37.5%	35.8%
Alter	23.0	21.6	22.7	22.5	22.5
Semester	3.1	3.0	2.6	3.3	3.1
Vorkenntnisse	28.0%	30.4%	26.1%	33.3%	29.5%
Linkshänder	8.0%	8.7%	8.7%	8.3%	8.4%
Fremdsprache	8.0%	13.0%	0.0%	4.2%	6.3%
	Studienfächer				
Psychologie	80.0%	69.6%	60.9%	75.0%	71.6%
BWL/VWL	0.0%	8.7%	13.0%	8.3%	7.4%
Soziologie	4.0%	4.3%	13.0%	4.2%	6.3%
Sonstige	16.0%	17.4%	13.0%	12.5%	14.7%

1.3.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die Prüfung der in Abschnitt 1.2.3 genannten Voraussetzungen für die MANOVA erbringt keine signifikanten Abweichungen, sodass die Annahmen beibehalten werden. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang M zu entnehmen.

Hypothese 1

Die erste, gerichtete Hypothese postuliert bei Frauen einen behaltens- und verständnisförderlichen Einfluss, wenn die Leserichtung für den Kausalzusammenhang in der interaktiven Animation eingehalten wird. Beim Einhalten der Leserichtung in

horizontaler Anordnung befindet sich die Ursache links, bei vertikaler Anordnung oberhalb der Wirkung.

Deskriptivstatistisch zeigt sich bei Frauen tatsächlich eine deutlich bessere Behaltensleistungen unter der Bedingung „Einhalten der Leserichtung“ ($M = 7.29$; $SD = 2.13$) als bei „Nichteinhalten der Leserichtung“ ($M = 6.10$; $SD = 2.29$). Dabei handelt es sich um einen mittleren Effekt (s. Cohen, J., 1977) mit einer Effektstärke von $d = 0.54$.

Auch für die Verständnisseleistungen erzielen Frauen unter der Bedingung, in der die Leserichtung eingehalten wird bessere Mittelwerte ($M = 6.71$; $SD = 2.38$) im Vergleich zur Bedingung ohne Einhaltung der Leserichtung ($M = 5.67$; $SD = 2.17$). Auch wenn die Effektstärke etwas schwächer als bei der Behaltensleistung ausfällt ($d = 0.46$), so kann nach Cohen (1977) immer noch von einem annähernd mittleren Effekt gesprochen werden.

Inferenzstatistisch lässt sich der Mittelwertsunterschied für die abhängige Variable Behalten absichern ($F(1, 57) = 4.741$; $p = .034$), wohingegen beim Verständnis das 5%-Signifikanzniveau knapp verfehlt wird ($F(1, 57) = 3.226$; $p = .078$; $1-\beta = .423$ bei $d = 0.46$ und $\alpha = .05$)⁴. Möglicherweise hat hier die Teststärke nicht ausgereicht, um den deskriptivstatistisch in Erscheinung tretenden Effekt auch inferenzstatistisch abzusichern. In Anbetracht der Teststärke für den empirischen Effekt ist die Schlussfolgerung, dass das Einhalten der Leserichtung die Verständnisseleistungen von Frauen nicht fördert, nicht statthaft.

Für die erste Hypothese gilt zusammengefasst, dass in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte von Frauen signifikant besser behalten, jedoch nur tendenziell besser verstanden werden, wenn die Leserichtung eines Kausalzusammenhanges eingehalten wird.

Hypothese 2

Die zweite Hypothese besagt, dass sich der in der ersten Hypothese bei Frauen auftretende Effekt bei Männern für die Behaltensleistung nicht oder in geringerem Maße einstellt, während sich für die Verständnisseleistung ein derartiger moderierender Einfluss des Geschlechts nicht zeigt.

Gemäß der Hypothese fällt deskriptivstatistisch zunächst auf, dass bei Männern die Behaltensleistungen in der Bedingung „Nichteinhalten der Leserichtung“ ($M = 7.65$; $SD =$

⁴ Die Fehlerfreiheitsgrade betragen sowohl für die Behaltens- als auch für die Verständnisseleistungen 57 und nicht 59, da die erste Hypothese zusammen mit der dritten inferenzstatistisch überprüft wird, um eine Alphafehlerkumulierung zu vermeiden.

1.87) höher ausfallen als bei Einhalten der Leserichtung ($M = 6.94$; $SD = 2.38$). Somit tritt bei Männern in der Stichprobe für die abhängige Variable Behalten ein umgekehrter Leserichtungseffekt auf, dessen Stärke $d = 0.33$ beträgt. Abb. 13 zeigt den gefundenen Interaktionseffekt für die Behaltensleistung (die genauen Mittelwerte und Standardabweichungen für Frauen sind der Hypothese 1 zu entnehmen).

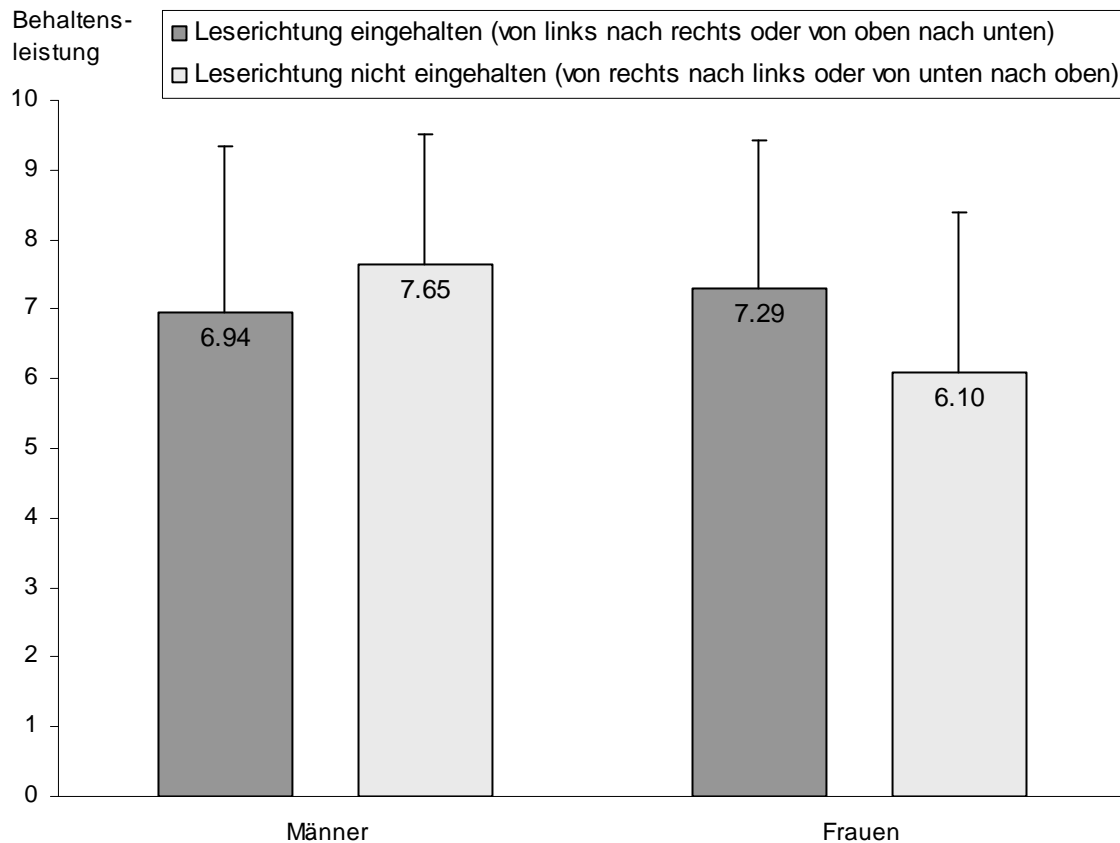


Abb. 13: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistung für die Faktoren Leserichtung und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Bei der Verständnisleistung hingegen schneiden die männlichen Probanden in der Stichprobe bei Darbietung des Kausalzusammenhanges in Leserichtung ($M = 7.06$; $SD = 2.36$) geringfügig besser ab als jene, in denen die Leserichtung nicht eingehalten wird ($M = 6.82$; $SD = 2.32$). Die Effektstärke liegt hier jedoch nur bei $d = 0.10$. Abb. 14 visualisiert den gefundenen Interaktionseffekt für die Verständnisleistung (die genauen Mittelwerte und Standardabweichungen für Frauen sind der Hypothese 1 zu entnehmen).

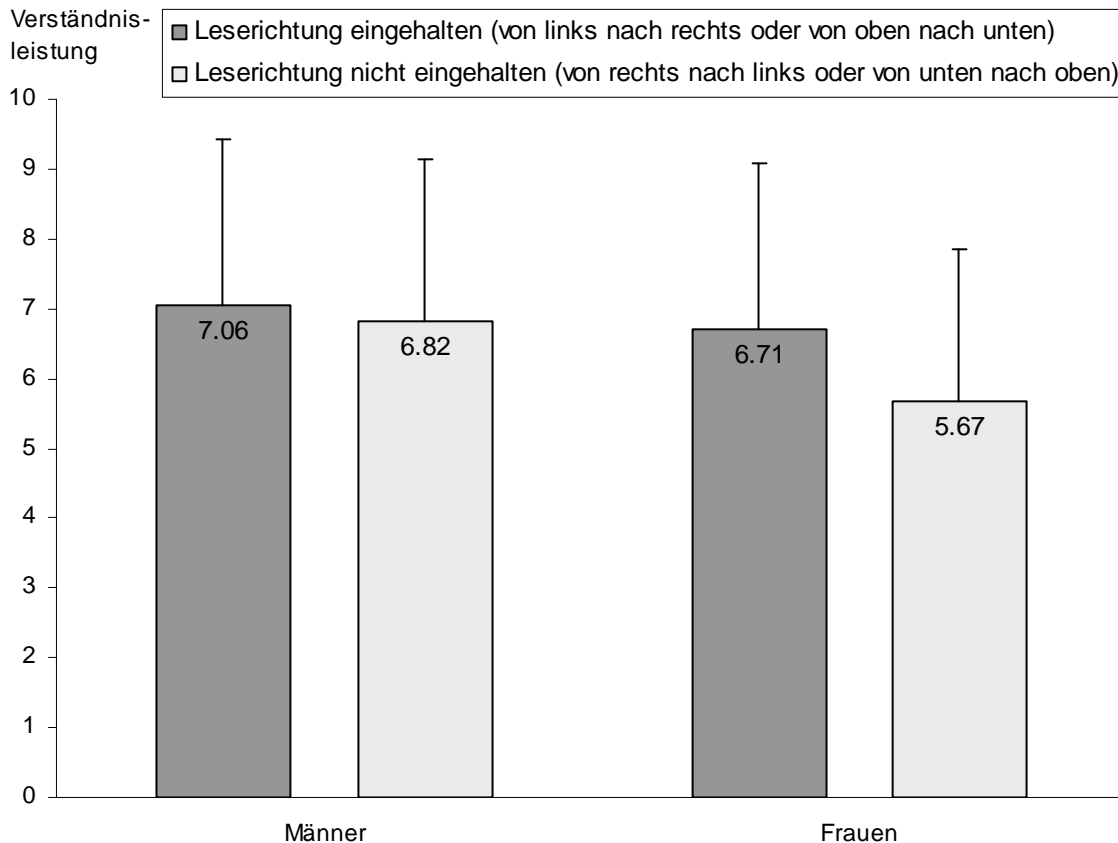


Abb. 14: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistung für die Faktoren Leserichtung und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Der in der zweiten Hypothese postulierte Interaktionseffekt für die Behaltensleistung lässt sich auch inferenzstatistisch absichern ($F(1, 87) = 4.141; p = .045$). Wie in der Hypothese vermutet verfehlt der Interaktionseffekt für die Verständnisleistung das 5%-Niveau ($F(1, 87) = .547; p = .461; 1-\beta = .962$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$)⁵.

Zusammengefasst lässt sich für die zweite Hypothese festhalten, dass sich bei Männern der Effekt aus Hypothese 1 für die Behaltensleistung nicht oder in geringerem Maße einstellt, während sich für die Verständnisleistung dieser moderierende Einfluss des Geschlechts nicht zeigt.

⁵ Die Fehlerfreiheitsgrade betragen sowohl für die Behaltens- als auch für die Verständnisleistungen 87 und nicht 91, da die zweite Hypothese zusammen mit der vierten inferenzstatistisch überprüft wird, um somit eine α -Fehler Kumulierung zu vermeiden.

Hypothese 3

In der dritten Hypothese wird die Vermutung geäußert, dass bei Frauen in Abhängigkeit von horizontaler oder vertikaler Präsentation des Kausalzusammenhanges unterschiedliche Behaltens- und Verständnisleistungen resultieren.

In der Stichprobe zeigt sich für die Behaltensleistungen, dass Frauen deutlich besser unter der horizontalen Versuchsbedingung ($M = 7.45$; $SD = 1.84$) abschneiden als unter der vertikalen ($M = 5.93$; $SD = 2.45$). Die berechnete Effektstärke liegt mit $d = 0.71$ zwischen einem mittleren und großen Effekt (s. Cohen, J., 1977).

Auch für die Verständnisleistungen erzielen Frauen unter horizontaler Anordnung bessere Mittelwerte ($M = 6.84$; $SD = 2.16$) als bei vertikaler Ausrichtung des Kausalzusammenhanges ($M = 5.53$; $SD = 2.33$). Die Effektstärke beträgt hier $d = 0.58$.

Inferenzstatistisch lassen sich die Mittelwertsunterschiede sowohl für die Behaltens- ($F(1, 57) = 7.819$; $p = .007$) als auch für die Verständnisleistungen ($F(1, 57) = 5.149$; $p = .027$) absichern.

Als Resümee für die dritte Hypothese lässt sich festhalten, dass in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte von Frauen besser behalten und verstanden werden, wenn der Kausalzusammenhang horizontal und nicht vertikal dargeboten wird.

Hypothese 4

Die vierte Hypothese geht davon aus, dass sich der in der dritten Hypothese bei Frauen auftretende Effekt bei Männern für die Behaltensleistung nicht oder in geringerem Maße einstellt, während sich für die Verständnisleistung ein derartiger moderierender Einfluss des Geschlechts nicht zeigt.

Deskriptivstatistisch fällt zunächst auf, dass bei Männern die Behaltensleistungen in der Bedingung „Horizontal“ ($M = 7.12$; $SD = 2.20$) geringfügig niedriger ausfallen als bei vertikaler Positionierung der graphischen Objekte ($M = 7.47$; $SD = 2.12$). In der Stichprobe schneiden Männer für die abhängige Variable Behalten demnach bei vertikaler Anordnung des Kausalzusammenhanges geringfügig besser ab. Die Effektstärke liegt bei $d = 0.16$.

Abb. 15 stellt den gefundenen Interaktionseffekt für die Behaltensleistung (die genauen Mittelwerte und Standardabweichungen für Frauen sind der Hypothese 3 zu entnehmen) dar.

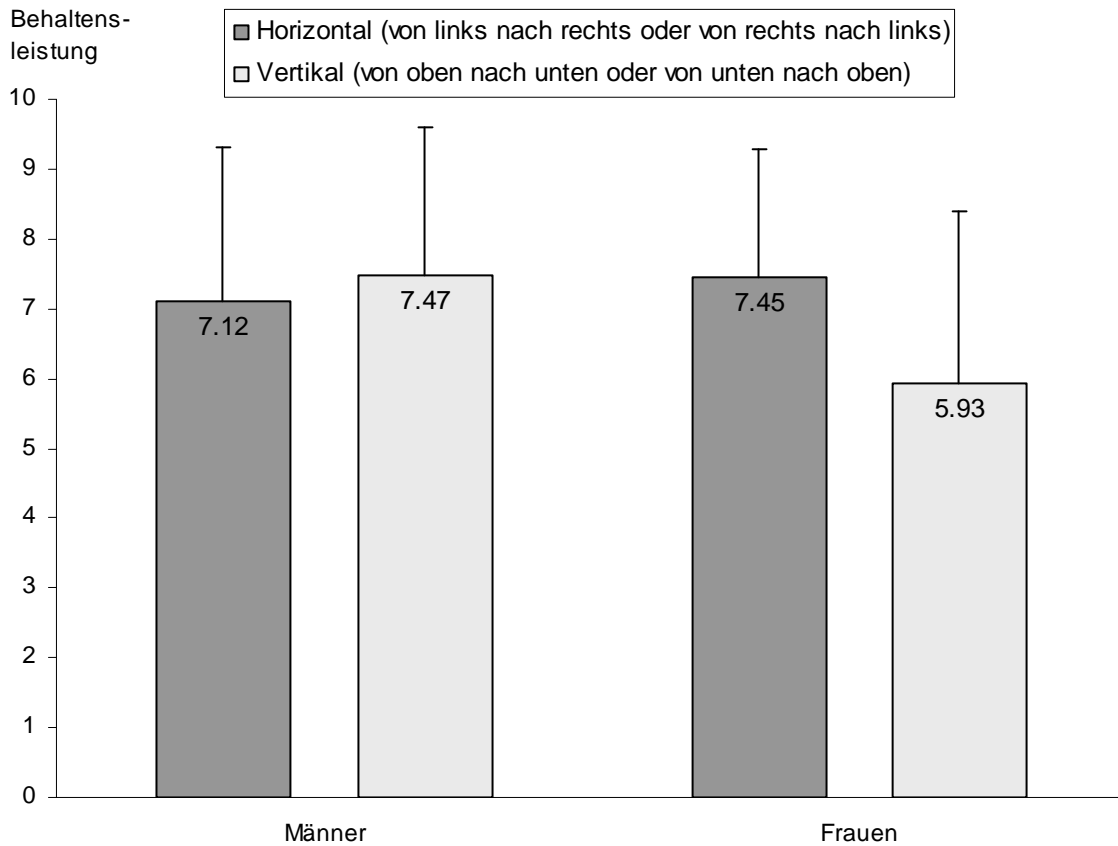


Abb. 15: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistung für die Faktoren Horizontal-Vertikal und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Betrachtet man die Verständnisleistungen von Männern, so zeigt sich erneut, dass bei horizontaler Darbietung des Kausalzusammenhanges die Mittelwerte niedriger ausfallen ($M = 6.41$; $SD = 2.21$) als bei vertikaler Präsentation ($M = 7.47$; $SD = 2.35$). Die Effektstärke beträgt hier $d = 0.46$ und stellt nach Cohen (1977) einen annähernd mittleren Effekt dar. Abb. 16 visualisiert den gefundenen Interaktionseffekt für die Verständnisleistung (die genauen Mittelwerte und Standardabweichungen für Frauen sind der Hypothese 3 zu entnehmen).

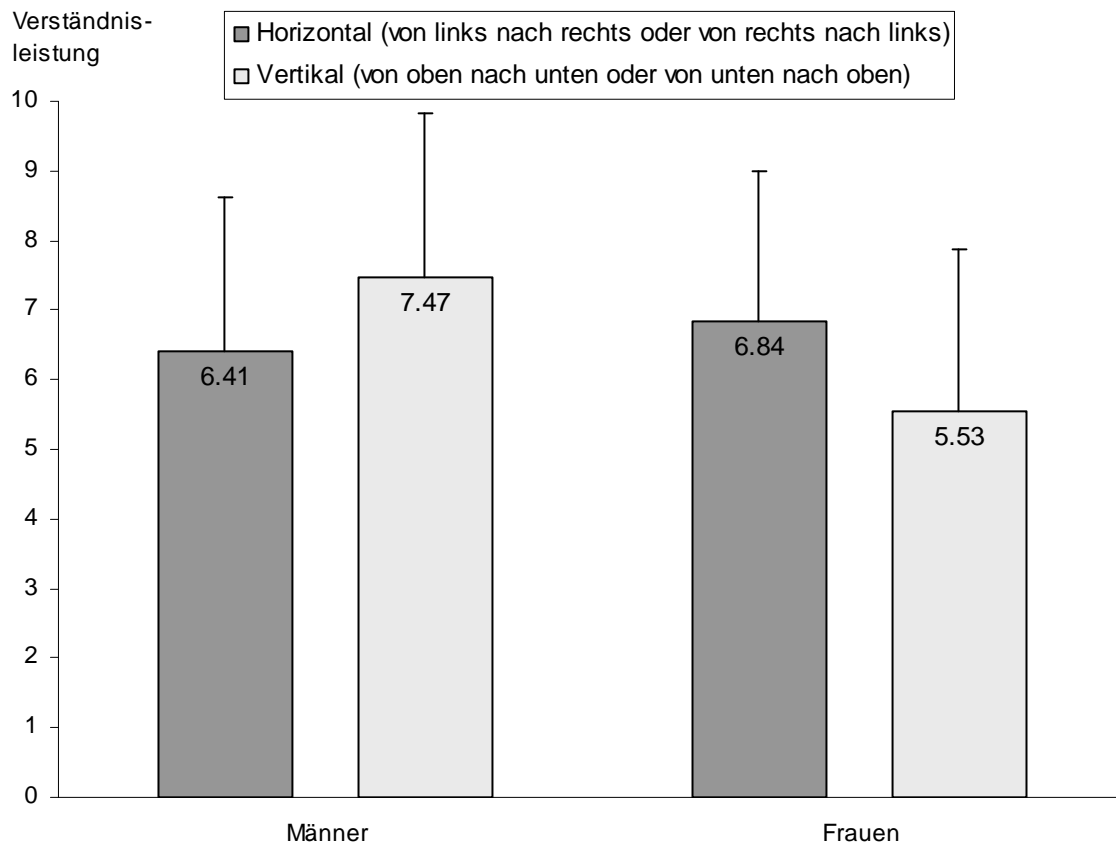


Abb. 16: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistung für die Faktoren Horizontal-Vertikal und Geschlecht. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Der in der vierten Hypothese postulierte Interaktionseffekt für die Behaltensleistung lässt sich auch inferenzstatistisch absichern ($F(1, 87) = 3.958; p = .050$). Entgegen der Hypothese findet sich jedoch auch ein überzufällig großer Interaktionseffekt für die Verständnisleistung ($F(1, 87) = 5.958; p = .017$).

Zusammengefasst lässt sich für die vierte Hypothese festhalten, dass sich bei Männern der Effekt aus Hypothese 3 sowohl für die Behaltens- als auch für die Verständnisleistung nicht oder in geringerem Maße einstellt.

Weitere Befunde

Neben den bereits aufgeführten hypothesenrelevanten Befunden soll an dieser Stelle auf diejenigen weiteren Ergebnisse der Untersuchung eingegangen werden, die Einfluss auf die Generierung der beiden nachfolgenden Experimente (s. Abschnitt 1.4 u. 1.5) besitzen.

Abb. 17 und Abb. 18 visualisieren die Behaltens- und Verständnisleistungen von Männern und Frauen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges.

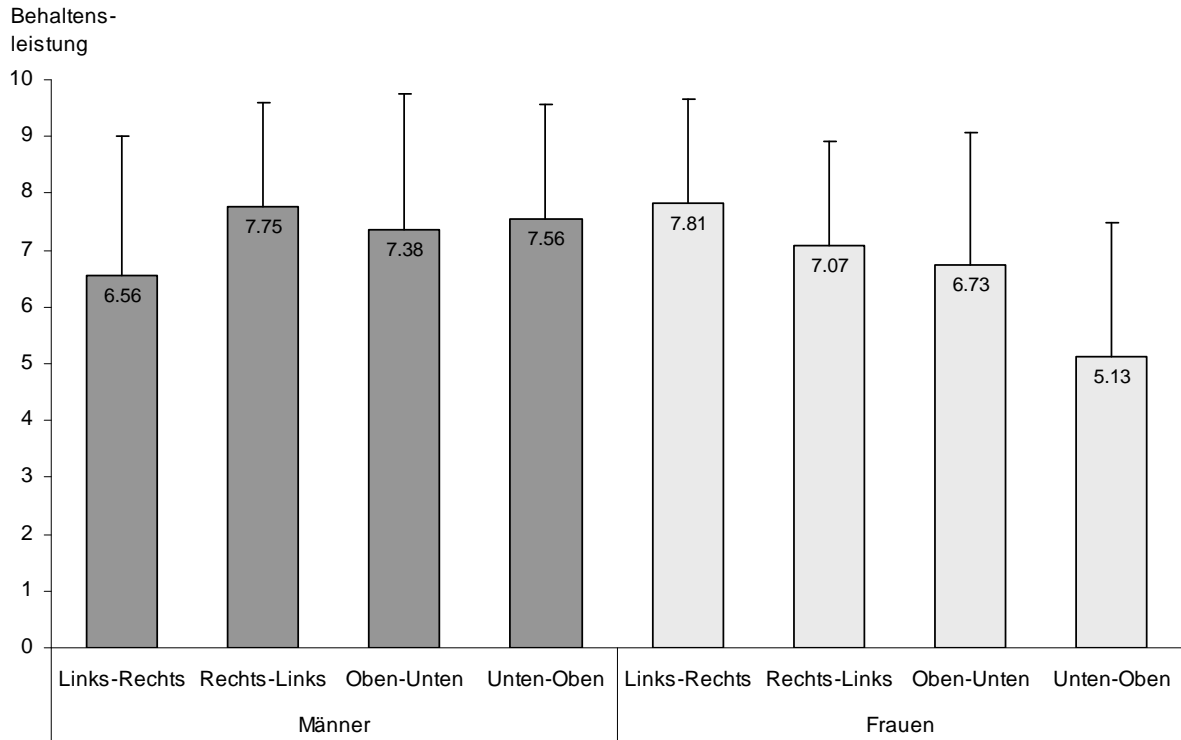


Abb. 17: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges getrennt für Männer und Frauen. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

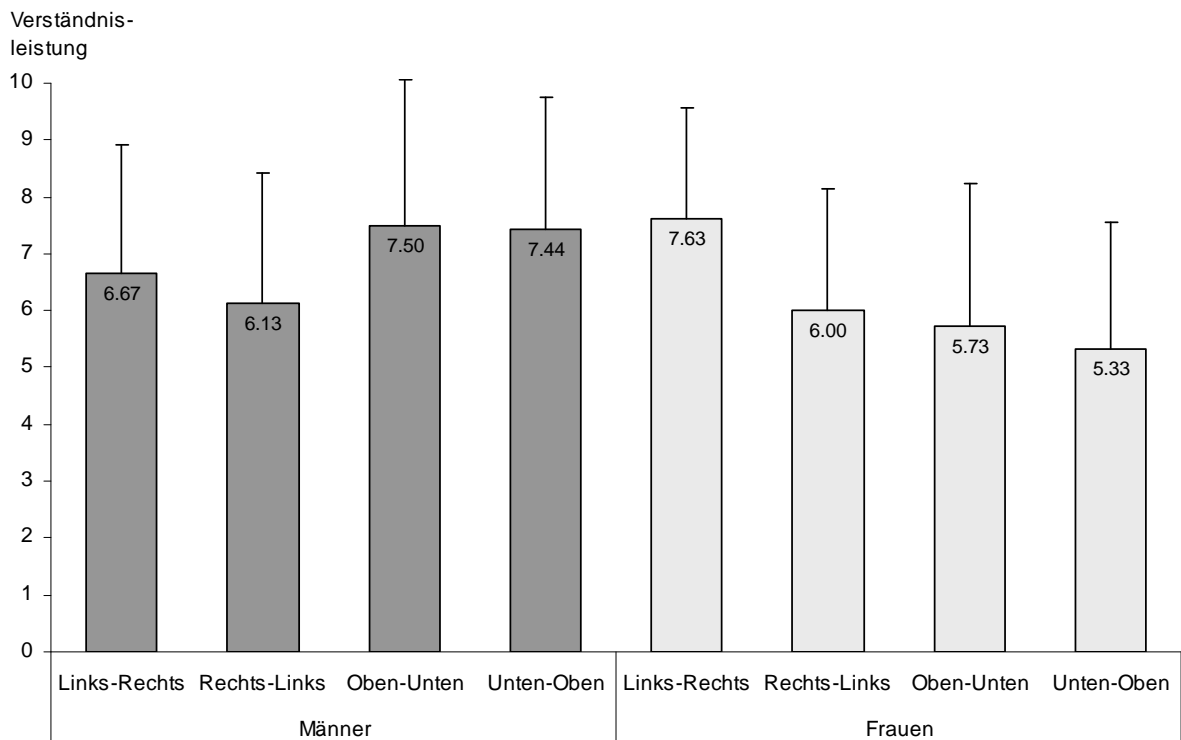


Abb. 18: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges getrennt für Männer und Frauen. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Bei Betrachtung der beiden Diagramme fällt auf, dass die Zuweisung der vier Versuchsbedingungen (Links-Rechts, Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben) auf die beiden unabhängigen Variablen „Leserichtung“ und „Horizontal-Vertikal“ sich nicht in allen Fällen – bezogen auf die gefundenen Mittelwertsdifferenzen der Behaltens- und Verständnisleistungen – als sinnvoll erweist.

So zeigt sich beispielsweise bei den Verständnisleistungen von Frauen auf der Faktorstufe „Horizontal“ (in Abb. 18 Links-Rechts gegen Rechts-Links bei den weiblichen Probanden) ein deskriptivstatistisch großer Leserichtungseffekt von $d = 0.80$ (entspricht einem großen Effekt). Auf der Faktorstufe „Vertikal“ (in Abb. 18 Oben-Unten gegen Unten-Oben bei den Frauen) fällt dieser Effekt mit $d = 0.17$ (entspricht einem kleinen Effekt) deutlich geringer aus. Hier könnte vermutet werden, dass der Leserichtungseffekt für die Verständnisleistung nur oder in stärkerem Ausmaß bei horizontaler im Vergleich zur vertikalen Anordnung graphischer Objekte auftritt.

Obwohl derartige Unterschiede prinzipiell auch durch Betrachtung des Interaktionseffektes zwischen den beiden unabhängigen Variablen sowie durch Aufstellung weiterer Einzelkontraste abgesichert werden können, bietet sich für die folgenden Experimente eine nähere Betrachtung dieser Effekte an. Dabei sind die vier oben genannten Versuchsbedingungen im Versuchsdesign getrennt voneinander zu berücksichtigen und nicht mehr den beiden unabhängigen Variablen „Leserichtung“ und „Horizontal-Vertikal“ zuzuordnen. Begründet werden kann dieses Vorgehen mit der Gewährleistung einer ausreichend großen Teststärke für die zu untersuchenden Hypothesen. Bei getrennter Berücksichtigung der vier Versuchsbedingungen wird eine höhere Anzahl an Versuchspersonen benötigt, um zu derselben Teststärke zu gelangen wie bei Zusammenfassung zu zwei, zweifachgestuften Variablen. So ergibt sich beispielsweise eine Teststärke von 80.32% (bei angenommenen $N = 55$, $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt), $\alpha = .05$ sowie univariater Testung), wenn die vier Bedingungen zu zwei Faktoren zusammengefasst werden. Betrachtet man die vier Bedingungen getrennt voneinander, so sinkt die Power bei gleicher Versuchspersonenanzahl, gleichem Effekt und α -Fehler auf 62.87% ab. Demzufolge wurde in der zweiten Untersuchung auf eine getrennte Analyse der vier Bedingungen verzichtet, da dies die Teststärke unnötig reduziert hätte und zur Überprüfung der aufgeführten Hypothesen (s. Abschnitt 1.3.1) diesbezüglich keinerlei Notwendigkeit bestand.

In dem nun folgenden dritten Experiment soll jedoch u.a. eine weitere Differenzierung der vier Versuchsbedingungen erfolgen. Der Versuchsplan ist daher dementsprechend

abzuändern und die Teststärke zu erhöhen. Um eine ausreichend große Teststärke – insbesondere für die Gruppe der Männer – zu gewährleisten, muss die Anzahl an (männlichen) Probanden deutlich erhöht werden. Dadurch soll auch eine Aussage darüber ermöglicht werden, ob bei Männern der Leserichtungseffekt in entgegengesetzter Richtung nicht oder im Vergleich zu Frauen lediglich in abgeschwächter Form auftritt und unter welcher Versuchsbedingung Männer die besten Lernleistungen erzielen.

1.4. Experiment 3 (Leserichtungseffekt in einer Online-Untersuchung)

1.4.1. Einleitung

Um eine fundierte Aussage darüber treffen zu können, wie sich die graphische Anordnung (Links-Rechts, Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben) bei der Darbietung eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhanges in interaktiven Animationen auf die Behaltens- und Verständnisleistungen von Männern auswirkt, bedarf es einer neuen Untersuchung mit einem deutlich höheren Männeranteil als in den ersten beiden Experimenten. Um einen höheren Anteil männlicher Probanden zu gewährleisten, wird das dritte Experiment als Online-Untersuchung konzipiert und durchgeführt (zur näheren Vorgehensweise der Online-Untersuchung s. Abschnitt 1.4.2).

In den beiden bisherigen Experimenten können für die männlichen Probanden inferenzstatistisch keine Unterschiede in den Behaltens- und Verständnisleistungen in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte detektiert werden (s. Anhang N). Es ist zu vermuten, dass zu geringe Teststärken (40.52% im ersten und 58.93% im zweiten Experiment, jeweils für einen angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5%) hierfür verantwortlich sind, was Indikation für die Durchführung dieser dritten Untersuchung war. Hinweise darüber, dass die Lernleistungen von Männern durch die Platzierung der graphischen Objekte, die die Ursache und Wirkung eines Kausalzusammenhanges repräsentieren, signifikant beeinflusst werden, liegen in den ersten beiden Studien nicht vor. Daher wird in der ersten Hypothese der dritten Untersuchung vermutet, dass sich die Behaltens- und Verständnisleistungen von Männern in den vier – bereits im zweiten Experiment (s. Abschnitt 1.3) aufgeführten – Bedingungen (Links-Rechts, Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben) in der Population nicht voneinander unterscheiden.

Im Gegensatz dazu können in den ersten beiden Experimenten bei Einzelbetrachtung der teilnehmenden weiblichen Probanden deutliche Unterschiede in den Behaltens- und Verständnisleistungen festgestellt werden, die sich nahezu ausnahmslos auch inferenzstatistisch absichern lassen (s. Abschnitt 1.2.3 u. 1.3.3). Zu vermuten ist daher als zweite Hypothese des Experiments, dass auch bei einer Online-Untersuchung bei Frauen sich Unterschiede in den Lernleistungen in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte ergeben, welche den Kausalzusammenhang in der interaktiven Animation repräsentieren.

1.4.2. Methode

Versuchsdesign

Der Untersuchung lag ein zweifaktorieller, vollständig gekreuzter, bivariater Versuchsplan zugrunde (siehe Tabelle 7).

Die erste unabhängige Variable stellte die auf vier Stufen variierte Anordnung graphischer Objekte dar. Auf der ersten Faktorstufe wurde die Leserichtung in horizontaler Richtung eingehalten, indem die Ursache in der Animation links und die Wirkung rechts platziert wurden. Auf der zweiten Faktorstufe wurde die horizontale Leserichtung dagegen nicht eingehalten. Die Ursache befand sich demnach rechts, die Wirkung wurde auf die linke Seite positioniert. Faktorstufe drei hielt die Leserichtung in vertikaler Richtung ein mit der Ursache oben und der Wirkung unten, Faktorstufe vier dagegen präsentierte die Ursache unten und die Wirkung oben.

Die zweite unabhängige Variable umfasste das Geschlecht als Organismusvariable.

Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig auf die vier verschiedenen Bedingungen der ersten unabhängigen Variablen verteilt.

Die erste abhängige Variable erfasste die Behaltensleistung aller Probanden hinsichtlich der dynamischen, interaktiven Visualisierung, die zweite abhängige Variable bezog sich auf die Verständnisleistung der untersuchten Versuchspersonen.

Tabelle 7: 4x2-faktorieller, bivariater (Behalten und Verstehen) Versuchsplan.

		UV ₂ (Geschlecht)			
		Männer		Frauen	
UV ₁ (Anordnung der graphischen Objekte)	Links-Rechts	\bar{Y}_{111}	\bar{Y}_{112}	\bar{Y}_{121}	\bar{Y}_{122}
	Rechts-Links	\bar{Y}_{211}	\bar{Y}_{212}	\bar{Y}_{221}	\bar{Y}_{222}
	Oben-Unten	\bar{Y}_{311}	\bar{Y}_{312}	\bar{Y}_{321}	\bar{Y}_{322}
	Unten-Oben	\bar{Y}_{411}	\bar{Y}_{412}	\bar{Y}_{421}	\bar{Y}_{422}

Versuchsmaterial

Das Versuchsmaterial der Online-Untersuchung glich dem Material des zweiten Experiments.

Auf der Einführungsseite, die in großen Teilen mit der ersten Seite der beiden ersten Experimente übereinstimmte (s. Abschnitt 1.2.2 u. 1.3.2), wurde explizit hervorgehoben, dass die Teilnahme an der Studie anonym sei und die Daten streng vertraulich behandelt würden. Es wurde darauf hingewiesen, dass die in der Untersuchung gefundenen Ergebnisse im Rahmen der vorliegenden Promotion Verwendung fänden und dazu dienten, empirisch fundierte Design- und Gestaltungsempfehlungen zu interaktiven Animationen zu ermitteln. Zudem sollten die aus dem Experiment gewonnenen Erkenntnisse die Homepage www.neuronalesnetz.de um evaluierte, interaktive Animationen ergänzen. Des Weiteren wurden die Teilnehmer gebeten, während der Darbietung der Lernfragen nicht zum Lerntext zurückzuspringen, wie dies z.B. durch Öffnen einer neuen Registerkarte möglich wäre, um die Untersuchungsergebnisse nicht zu verfälschen. Für Fragen zum Experiment wurde eine Email-Adresse aufgeführt.

Der in der Online-Untersuchung verwendete Lerntext ist ebenfalls unter der Web-Adresse www.neuronalesnetz.de (Folie 2 bis 7 ohne die mittlerweile dort verfügbaren, zusätzlichen interaktiven Animationen) abrufbar (Stand: 23.7.2007). Im Gegensatz zu den ersten beiden Untersuchungen wurde in der Online-Untersuchung auf das Herausnehmen einzelner Formeln zur Vereinfachung verzichtet. Zum einen wurde vermutet, dass Teilnehmer, die freiwillig an der Studie partizipierten, geringere Schwierigkeiten mit dem Umgang der

ausführlich erklärten Formeln aufweisen würden, zum anderen sollte das angebotene Lernmaterial auf der Webseite durch die Untersuchung für andere Internetnutzer nicht eingeschränkt werden.

Die interaktive Animation musste statt in Visual Basic 6 in Java (Java™ 2 SE Development Kit, v 5.0 für Java™ 2 Platform, Standard Edition, v 1.4.2) programmiert werden, damit eine möglichst breite Masse die Animation über das Internet abrufen konnte. Bei der Neuprogrammierung der Animation wurde darauf geachtet, diese so gut wie möglich an die dynamische Visualisierung aus dem zweiten Experiment anzugleichen. Abb. 19 visualisiert beispielhaft die erste Versuchsbedingung des dritten Experiments. Wie zu erkennen unterscheidet sich die Visualisierung nur marginal von der Animation des zweiten Experiments (s. Abb. 12).

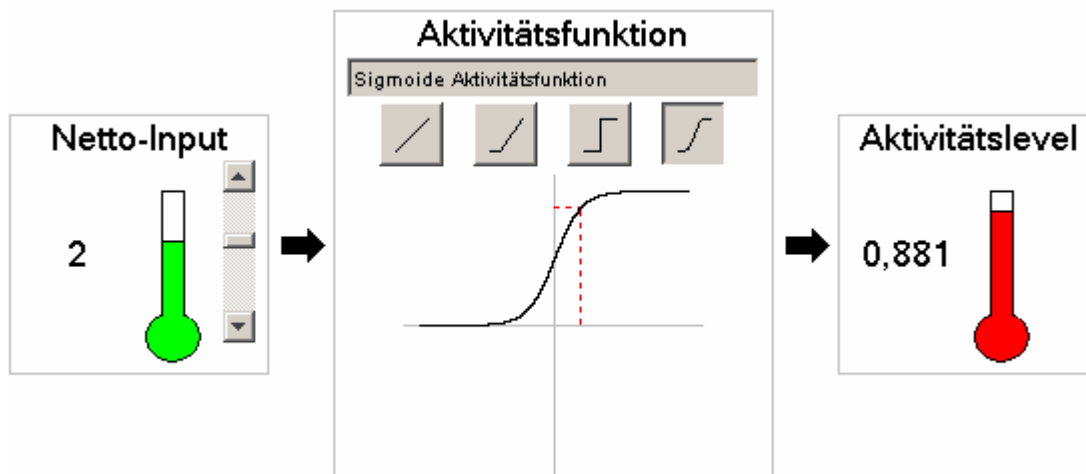


Abb. 19: Beispielhafte Darstellung der Animation für das dritte Experiment. Die Visualisierung repräsentiert die erste Versuchsbedingung, in der die Leserichtung eingehalten wurde und eine horizontale Darstellung erfolgte (Darbietung des Kausalzusammenhanges von links nach rechts).

Die Darbietung der Behaltens- und Verständnisfragen, die subjektiven Einschätzung zur Animation sowie die persönlichen Angaben erfolgten analog zu den ersten beiden Experimenten (s. Abschnitt 1.2.2 u. 1.3.2). Auch in der Online-Untersuchung wurden im Vorfeld der Studie die Lernfragen des zweiten Experiments in Abhängigkeit von Trennschärfe, Itemschwierigkeit und der Korrelation zu fremden Behaltens- oder Verständnisscore zum Teil aussortiert und durch neue Items ersetzt. Die neuen, selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang O zu entnehmen.

Die Behaltens- und Verstehensfragen der Online-Untersuchung wurden den Probanden Frage für Frage dargeboten, wobei die Online-Fragebogensoftware „Clipboard“ der Firma Pentri (www.pentri.com) zum Einsatz kam.

Mit Beenden des Experiments speicherte das Web-Programm alle von der Versuchsperson abgegebenen Angaben fortlaufend in eine von vier Textdateien auf dem Server der Universität Trier in Abhängigkeit der Versuchsbedingung, unter der die Person untersucht wurde.

Im Gegensatz zu den ersten beiden Experimenten konnte die zeitliche Beschäftigung der Lernenden mit Lerntext, Animation sowie Behaltens- und Verständnisfragen aus technischen Gründen nicht erfasst werden.

Versuchsablauf und Datenaggregation

Die Untersuchung wurde auf der Startseite der Webseite www.neuronalesnetz.de sowie auf der Seite www.neuronalesnetz.de/aktivitaet im Zeitraum vom 21.6.2006 bis zum 7.2.2007 beworben und verlinkt.

Wie das Versuchsmaterial glich auch der Versuchsablauf der Online-Studie den vorangegangenen beiden Experimenten. Nach Darbietung der Einführungsseite und der Lerntexte, die bei allen Probanden identisch waren, erfolgte die Präsentation der interaktiven Animation. Hierzu wurden die Versuchspersonen per Randomisierung einer der vier Bedingungen (Links-Rechts, Rechts-Links, Oben-Unten, Unten-Oben) zugewiesen. Im Anschluss an die dynamische, interaktive Visualisierung wurde abschließend um Beantwortung der Lernfragen, Fragen zur subjektiven Einschätzung sowie persönlicher Angaben gebeten. Hinsichtlich der Lernfragen betrug der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala .750 und für die Verständnisskala .619.

Stichprobe

An dem dritten Experiment nahmen insgesamt 212 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Gruppen verteilt wurden. Probanden, die die Online-Untersuchung zwar begannen, diese jedoch vorzeitig abbrachen, was zumeist nach den ersten dargebotenen Fragen geschah, wurden aus dem Datensatz aussortiert. Diese Personen verteilten sich nicht überzufällig häufig auf den Versuchsbedingungen ($\chi^2(3) = 1.156; p = .763; 1-\beta = .250$ bei $\omega = .3$ (entspricht einem mittleren Effekt) und $\alpha = .05$). Zu beachten ist hier die niedrige Teststärke. Nach Entfernung dieser Versuchspersonen verblieben insgesamt 182 Teilnehmer, die bei der weiteren Datenanalyse Berücksichtigung fanden. Das Durchschnittsalter der verbleibenden Versuchsteilnehmer betrug 27.5 Jahre (16-85 Jahre).

Wie im Vorfeld der Studie vermutet, nahmen deutlich mehr männliche (77.5%) als weibliche Probanden an der Online-Untersuchung teil. 120 der 182 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei Vorkenntnisse über neuronale Netze. Mit einem Prozentwert von

34.1% für die gesamte Stichprobe ist der Anteil an Probanden mit Vorkenntnissen somit deutlich höher als in den ersten beiden Experimenten, der bei 7.1% für das erste und 29.5% für das zweite Experiment lag. Wenngleich die Personen mit Vorkenntnissen sich unterschiedlich auf die vier Bedingungen verteilen (siehe Tabelle 8), kann inferenzstatistisch kein überzufälliges Muster nachgewiesen werden ($p = .384$; $1-\beta = .940$ bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Gleichwohl soll die Variable Vorkenntnisse als Kovariate bei der Auswertung der Hypothesen Berücksichtigung finden (s. Abschnitt 1.4.3), da Vorkenntnisse signifikant mit der Behaltensleistung korrelieren und bei der Verständnisleistung das 5%-Niveau nur knapp verfehlen ($r = .20$ ($p = .007$) zur Behaltensleistung und $r = .12$ ($p = .11$) zu Verständnisleistung). Die Teststärke liegt bei 99.51% für einen mittleren Effekt von $r = .3$ und 38.43% für einen kleinen Effekt von $r = .1$ (jeweils $\alpha = .05$). Der Anteil der Linkshänder an der Untersuchung betrug laut Selbstauskunft 9.3%, der Anteil derer, die angaben eine Fremdsprache zu beherrschen, die sich von rechts nach links schreibt, lag bei 8.2%.

Die Probanden wurden nicht in Form von Versuchspersonenstunden entlohnt, sondern nahmen freiwillig an der Online-Untersuchung teil. Denkbare Motive wären beispielsweise eine intrinsische Motivation an dem Thema oder die Vorbereitung für eine Prüfung zu dieser oder einer ähnlichen Thematik. Diese unterschiedliche Motivation reduziert zwar die Vergleichbarkeit zu den ersten beiden Experimenten, ermöglicht aber eine bessere Generalisierbarkeit der Befunde.

Tabelle 8 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale.

Betrachtet man die potentiell moderierenden Einflussgrößen wie „Alter“, „Linkshänder“, „Geschlecht“ und „Fremdsprache“, so zeigt die inferenzstatistische Analyse, dass sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied bezüglich der Verteilung auf die vier Stufen des ersten Faktors für die genannten Variablen nachweisen lässt (p -Werte zwischen .262 und .825; $1-\beta = .940$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .996$ für die Variable Alter bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Da keinerlei Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss weiterer Versuchsteilnehmer (siehe oben) gesprochen hätten, wurden alle 182 Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 8: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die vier Versuchsbedingungen der ersten unabhängigen Variablen (zur besseren Vergleichbarkeit mit dem ersten und zweiten Experiment).

	Versuchsbedingung				Gesamt
	Links- Rechts	Rechts- Links	Oben- Unten	Unten- Oben	
N	42	49	47	44	182
Geschlecht	73.8%	77.6%	85.1%	72,7%	77.5%
Alter	26.2	26.4	28.5	28.9	27.5
Vorkenntnisse	23.8%	40.8%	34.0%	36.4%	34.1%
Linkshänder	9.5%	6.1%	10.6%	11.4%	9.3%
Fremdsprache	7.1%	12.2%	8.5%	4.5%	8.2%

1.4.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die Prüfung der in Abschnitt 1.2.3 genannten Voraussetzungen für die MANOVA führt hinsichtlich der Unabhängigkeit der Beobachtungen sowie bezüglich der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen zu keinerlei Verletzungen (s. Anhang P). Auch bezüglich der Normalverteilungsannahme kann bei univariater Betrachtung sowohl für die abhängige Variable Behalten als auch für die Variable Verständnis bei Adjustierung des Alphafehlers mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (z.B. Bortz, 2004) keine statistisch bedeutsame Abweichung von der Normalverteilung detektiert werden. Aus diesem Grund werden die Annahmeveraussetzungen vorläufig beibehalten. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang P zu entnehmen.

Hypothese 1

Die erste Hypothese des dritten Experiments besagt, dass in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte von Männern in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte nicht unterschiedlich behalten und verstanden werden.

Tatsächlich zeigt die untersuchte Stichprobe, dass sich die Behaltensleistungen von Männern in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte nur geringfügig voneinander unterscheiden (s. Abb. 20). Die Standardabweichung der vier Mittelwerte

beträgt 0.31, während die durchschnittliche Standardabweichung innerhalb der Bedingungen fast achtmal so groß ausfällt ($M_{SD} = 2.47$). Betrachtet man die Effektstärke Cohen's d für den Unterschied zwischen der Bedingung mit dem höchsten (Unten-Oben) und dem niedrigsten Mittelwert (Links-Rechts), so kann in Übereinstimmung mit der Hypothese nur ein schwacher Effekt von $d = 0.29$ ermittelt werden. Zudem fällt bei Betrachtung der Abb. 20 auf, dass wie in den vorherigen Experimenten bei Männern in der Stichprobe ein schwacher, umgekehrter Leserichtungseffekt auftritt. Des Weiteren führen die beiden vertikalen graphischen Anordnungen durchschnittlich zu besseren Behaltensleistungen als eine horizontale Ausrichtung von Ursache und Wirkung.

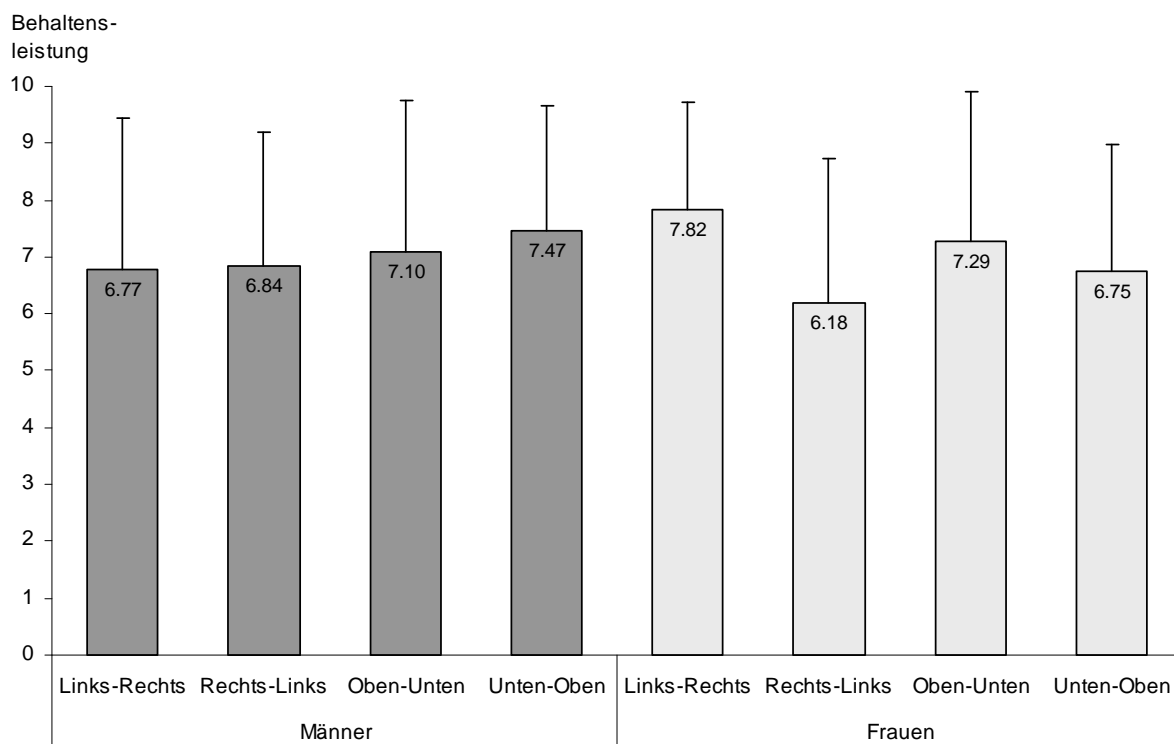


Abb. 20: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges getrennt für Männer und Frauen. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Die inferenzstatistische Analyse unter Berücksichtigung der Kovariate „Vorkenntnisse“ bestätigt den deskriptivstatistisch bereits dargelegten Befund. Für die unabhängige Variable „Anordnung der graphischen Objekte“ lässt sich kein signifikanter Einfluss auf die Behaltensleistung der Männer nachweisen. Das 5%-Niveau wird deutlich verfehlt ($F(3, 136) = 0.819; p = .485$). Da die Teststärke für einen mittleren Effekt ($f^2 = .15$ und einem Signifikanzniveau von 5%) 97.83% beträgt, kann auf Grundlage der Online-Untersuchung davon ausgegangen werden, dass auch in der Population der Männer die Behaltensleistungen

nicht oder höchstens unwesentlich (im Sinne eines Effektes, der kleiner als ein mittlerer Effekt ausfällt) von der Anordnung der graphischen Objekte beeinflusst werden.

Auch bei den Verständnisleistungen von Männern ist erkennbar (s. Abb. 21), dass die Durchschnittswerte der vier Bedingungen sich nicht beträchtlich voneinander unterscheiden. Vergleicht man die Standardabweichung der vier Mittelwerte ($SD = 0.29$) mit der durchschnittlichen Standardabweichung innerhalb der vier Bedingungen ($M_{SD} = 2.00$), so fällt ähnlich wie bei den Behaltensleistungen auf, dass letztere fast siebenmal so groß ist. Die Berechnung der Effektstärke Cohen's d für den Unterschied zwischen der Bedingung mit dem höchsten (Oben-Unten) und dem niedrigsten Mittelwert (Links-Rechts) führt zu einem schwachen bis mittleren Effekt ($d = 0.34$). Zudem kann deskriptivstatistisch festgehalten werden, dass sich bezüglich des Leserichtungseffektes für die Verständnisleistung von Männern kein eindeutiger Trend feststellen lässt. Während horizontal ein ganz marginaler umgekehrter Leserichtungseffekt detektierbar ist, verhält es sich bei vertikaler Anordnung der graphischen Objekte in der Stichprobe umgekehrt. Die Mittelwertsunterschiede fallen jedoch auch hier sehr gering aus (s. Abb. 21).

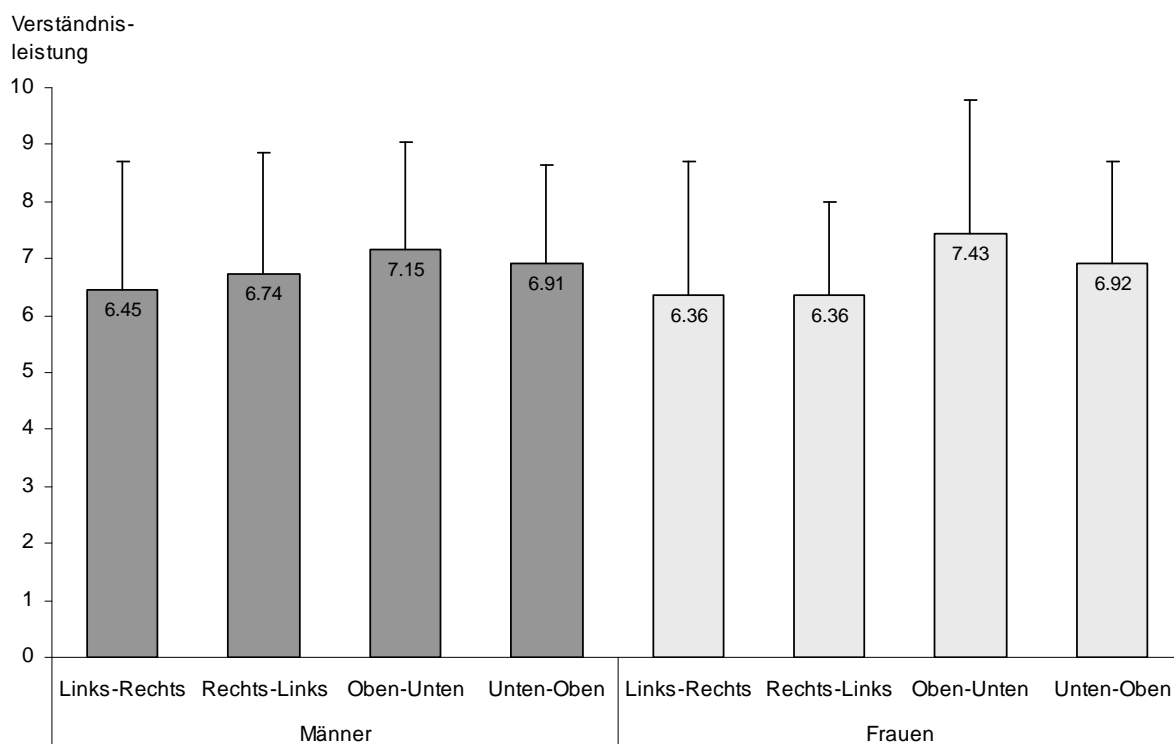


Abb. 21: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhangs getrennt für Männer und Frauen. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen.

Inferenzstatistisch lässt sich wie auch bei den Behaltensleistungen kein signifikanter Einfluss der ersten unabhängigen Variable unter Berücksichtigung der Kovariate „Vorkenntnisse“ auf die Verständnisseleistungen von Männern nachweisen ($F(3, 136) = 0.837$; $p = .476$). Aufgrund der hinreichend großen Teststärke von 97.83% (bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$) kann auf Grundlage der Online-Untersuchung die Hypothese angenommen werden, dass die Verständnisseleistungen von Männern nicht oder höchstens unwesentlich (im Sinne eines Effektes, der kleiner als ein mittlerer Effekt ausfällt) von der Anordnung der graphischen Objekte determiniert werden.

Hypothese 2

Die zweite Hypothese postuliert, dass in interaktiven Animationen dargebotene Lerninhalte von Frauen in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte unterschiedlich behalten und verstanden werden.

Im Vergleich zu den männlichen Probanden unterscheiden sich die Behaltensleistungen der Frauen in der Stichprobe tatsächlich stärker in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte (s. Abb. 20). Die Standardabweichung der vier Mittelwerte beträgt 0.70 und fällt damit mehr als doppelt so hoch wie bei den Männern aus (siehe oben). Dieser Unterschied kann nicht durch eine generell höhere Variation der Lernleistungen bei Frauen im Vergleich zu Männern begründet werden, da die durchschnittliche Standardabweichung innerhalb der Bedingungen bei Frauen ($M_{SD} = 2.32$) geringer als bei Männern ($M_{SD} = 2.47$; siehe oben) ist.

Während die Berechnung der Effektstärke Cohen's d für den Unterschied zwischen der Bedingung mit dem höchsten und dem niedrigsten Mittelwert bei männlichen Probanden nur einen schwachen Effekt ($d = 0.29$) aufweist (siehe oben), ergibt sich bei Frauen ein mehr als zweieinhalb Mal so großer Effekt ($d = 0.74$). Der höchste Behaltensmittelwert ($M = 7.82$) bei Frauen wird in der Stichprobe unter der Bedingung Links-Rechts erzielt, der niedrigste ($M = 6.18$) zeigt sich in der Bedingung Rechts-Links.

Bei Inspektion der Abb. 20 ist deutlich erkennbar, dass der Leserichtungseffekt wie im zweiten Experiment vornehmlich bei horizontaler Anordnung der graphischen Objekte in Erscheinung tritt ($d = 0.74$), während er sich bei vertikaler Anordnung in abgeschwächter Form zeigt ($d = 0.23$). Ebenfalls wie im zweiten Experiment führt eine horizontale ($M = 7.00$) im Vergleich zu einer vertikalen Ausrichtung ($M = 6.95$) in der Online-Untersuchung zu besseren Behaltensleistungen bei Frauen. Allerdings ist der Effekt verglichen mit dem zweiten Experiment (s. Abschnitt 1.3.3) nur sehr marginal vorhanden ($d = 0.02$).

Inferenzstatistisch lassen sich die deskriptivstatistisch skizzierten Befunde nicht absichern. Für die unabhängige Variable „Anordnung der graphischen Objekte“ kann kein signifikanter Einfluss auf die Behaltensleistung der Frauen unter Berücksichtigung der Kovariate „Vorkenntnisse“ nachgewiesen werden ($F(3, 36) = 0.830$; $p = .486$). Aufgrund der niedrigeren Versuchspersonenanzahl und der daraus resultierenden sehr geringen Teststärke von 48.17% (bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$) kann die Nullhypothese nicht angenommen werden. Sie besagt, dass die Behaltensleistungen von Frauen nicht von der Anordnung der graphischen Objekte beeinflusst werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die geringe Power nicht ausgereichte, um die oben aufgeführten deskriptivstatistischen Befunde inferenzstatistisch abzusichern.

Ergänzend zu den bereits berichteten statistischen Analysen wurde speziell für diesen Datensatz ein eigenes inferenzstatistisches Auswertungsverfahren auf der Grundlage von Bootstrap-Stichproben entwickelt. Das Grundprinzip des Verfahrens stellt dabei die Generierung einer Stichprobenkennwerteverteilung dar, die durch Simulation einer Population mit Hilfe der aktuellen Stichprobe zustande kommt. Genauer gesagt werden aus der aktuellen Stichprobe mit Hilfe von Zufallszahlen neue Stichproben generiert. Die in diesen Stichproben ermittelten Stichprobenkennwerte werden in einer Häufigkeitsverteilung abgetragen, aus der sich sodann Konfidenzintervalle ermitteln lassen, die als Grundlage für die inferenzstatistische Entscheidung dienen. Genauere Angaben zu dem entwickelten Verfahren sind dem Anhang Q zu entnehmen. Ein solches Verfahren kann den Vorteil einer höheren Teststärke im Vergleich zu herkömmlichen inferenzstatistischen Auswertungsmethoden wie beispielsweise einem t -Test bieten. Die Annahme der Normalverteilung ist hier nicht vonnöten (z.B. Efron & Tibshirani, 1993).

Interessanterweise vermag das eigenständig erstellte Verfahren z.T. tatsächlich signifikante Effekte zu detektieren, wo die entsprechenden Berechnungen von Einzelkontrasten im Rahmen der MANOVA keinerlei überzufälligen Einfluss für eine bestimmte Anordnung der graphischen Objekte ausfindig machen konnten. So kann beispielsweise der oben aufgeführte große, deskriptivstatistische Unterschied ($d = 0.74$) in den Behaltensleistungen von Frauen zwischen den Bedingungen Links-Rechts vs. Rechts-Links mittels Bootstrap-Stichproben auch inferenzstatistisch abgesichert werden ($p = .044$). Angemerkt werden kann, dass bei Verwendung dieser Auswertungsmethode für die untersuchten männlichen Probanden sich wie in der ersten Hypothese vermutet keinerlei Unterschiede zwischen den vier Bedingungen des ersten Faktors ergeben. Einschränkend sei

darauf hingewiesen, dass für den oben genannten p -Wert von .044 keine Alphafehleradjustierung vorgenommen wird. Bei entsprechender Adjustierung wird das Alpha-Niveau von 5% verfehlt. Zudem ist das selbst erstellte inferenzstatistische Verfahren im Gegensatz zu den traditionell gebräuchlichen Methoden keineswegs etabliert. Insofern sollten derartige Analysen mit aller Vorsicht betrachtet werden, wenngleich eine eigene Simulationsstudie mit generierten Datensätzen nachweist, dass das Verfahren eine höhere Treffsicherheit aufweist als ein gewöhnlicher zweiseitiger t -Test für unabhängige Stichproben (s. Anhang R), da sowohl weniger α - als auch β -Fehler produziert werden.

Bei der abhängigen Variable Verständnis zeigen Frauen in der untersuchten Stichprobe ebenfalls größere Leistungsunterschiede in Abhängigkeit von der Anordnung graphischer Objekte (s. Abb. 21). Während bei Männern die Standardabweichung der vier Mittelwerte bei 0.29 liegt (siehe oben), beträgt diese bei Frauen 0.51. Ähnlich wie bei den Behaltensleistungen kann auch dieser Unterschied nicht durch eine generell höhere Variation der Verständnisseleistungen bei Frauen im Vergleich zu Männern begründet werden, da die durchschnittliche Standardabweichung innerhalb der Bedingungen bei Frauen ($M_{SD} = 2.03$) nahezu identisch mit jenen der Männer ($M_{SD} = 2.00$) ist.

Ein weiterer Beleg für die höhere Variation der Verständnisseleistung von Frauen im Vergleich zu Männern durch die unterschiedliche graphische Anordnung liefert die Effektstärke Cohen's d für den Unterschied zwischen der Bedingung mit dem höchsten und dem niedrigsten Mittelwert. Beträgt diese bei Männern $d = 0.34$ (siehe oben), so ergibt sich bei Frauen ein Cohen's d von 0.56 beim Vergleich zwischen dem höchsten (Oben-Unten) und dem niedrigsten Mittelwert (Rechts-Links)⁶.

Trotz dieser stützenden Belege für die zweite Hypothese muss kritisch angemerkt werden, dass sich – im Gegensatz zu den ersten beiden Experimenten (s. Abschnitt 1.2.3 u. 1.4.3) – kein Leserichtungseffekt bei horizontaler, sondern lediglich bei vertikaler Anordnung der graphischen Objekte einstellt (s. Abb. 19; die Effektstärke liegt hier bei $d = 0.25$).

⁶ Deskriptivstatistisch fallen die Unterschiede zwischen Männern und Frauen – bezogen auf den Einfluss der Anordnung der graphischen Objekte – für die Verständnisseleistungen deutlich geringer aus als für die Behaltensleistungen. Dies war auf Grundlage der ersten beiden Experimente zu erwarten, da der Interaktionseffekt zwischen Männern und Frauen in diesen Experimenten nur für die Behaltens-, nicht aber für die Verständnisseleistungen auf einem 5%-Niveau abgesichert werden konnte. Da dieser Interaktionseffekt jedoch nicht Gegenstand der beiden Hypothesen des dritten Experiments ist, wird auf eine weitere inferenzstatistische Betrachtung dieses Unterschiedes verzichtet.

Ein weiterer Unterschied zu dem zweiten Experiment (s. Abb. 18 auf S. 114) stellt der geringere Mittelwert bei horizontaler ($M = 6.36$) im Vergleich zur vertikalen Anordnung ($M = 7.17$) dar.

Bei inferenzstatistischer Analyse der Verständnisleistungen unter Berücksichtigung der Kovariate „Vorkenntnisse“ von Frauen verfehlt die unabhängige Variable „Anordnung der graphischen Objekte“ das Signifikanzniveau ($F(3, 36) = 1.435; p = .248$). Auch das eigenständig mittels Bootstrap (siehe oben) erstellte inferenzstatistische Verfahren vermag an diesem Umstand nichts zu ändern. Jedoch gilt hier wie bei den Behaltensleistungen, dass die niedrigere Versuchspersonenanzahl und die daraus resultierende sehr geringe Teststärke von 48.17% (bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$) nicht erlaubt, die Nullhypothese anzunehmen. Diese besagt, dass die Verständnisleistungen von Frauen nicht von der Anordnung graphischer Objekte beeinflusst werden. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass die geringe Power nicht ausgereichte, um vorhandene deskriptivstatistische Unterschiede auch inferenzstatistisch abzusichern.

Weitere Befunde

Neben den bereits geschilderten quantitativen Analysen sind auch vereinzelt Anmerkungen von Versuchspersonen der Online-Untersuchung höchst aufschlussreich für die Anordnung graphischer Objekte in der dynamischen Visualisierung. So schlägt beispielsweise ein männlicher Versuchsteilnehmer vor, der unter der Bedingung Rechts-Links untersucht wurde, die Animation besser von links nach rechts zu gestalten, da dies dem Lesen und Realisieren der Visualisierung entspräche. Ein anderer männlicher Proband – ebenfalls unter der Bedingung Rechts-Links getestet – weist darauf hin, dass der Ablauf entgegen der Schreibrichtung irritiere und vermutet, dass dies offensichtlich beabsichtigt wurde.

Diese beiden ausgewählten Anmerkungen deuten an, dass auch Männer durch die fehlende Beachtung der Leserichtung zeitweilig verunsichert werden können, wenngleich die quantitativen Ergebnisse der ersten Hypothese deutlich zeigen, dass sich dies nicht oder nur in geringem Ausmaß nachteilig auf die durchschnittlichen Lernleistungen auswirkt.

Zwangsläufig stellt sich auf der Basis der bisherigen drei Studien die Frage, warum die Anordnung der graphischen Objekte und im Besonderen der Leserichtungseffekt die Behaltensleistungen im stärkeren Ausmaß Frauen als Männer zu beeinflussen scheint. Insbesondere ist zu klären, welche (kognitiven) Unterschiede zwischen Männern und Frauen existieren, die den dargestellten Geschlechtseffekt verursacht haben könnten. In diesem

Zusammenhang gilt es, weitere Moderatorvariablen ausfindig zu machen, die den Leserichtungseffekt beeinflussen. Diese sind Gegenstand des nächsten Experiments (s. Abschnitt 1.5).

Abschließend soll noch ein weiterer Kommentar eines männlichen Versuchsteilnehmers – ebenfalls unter der Bedingung Rechts-Links untersucht – aufgeführt werden, der als erste Vermutung für die nächste Studie nahe legt, dass das räumliche Vorstellungsvermögen und im Speziellen die mentale Rotationsfähigkeit den Leserichtungseffekt moderiert haben könnte:

„Im Test bin ich mir unsicher geworden, ob ich wirklich die Ursache manipuliert habe und die Wirkung beobachtet oder andersherum.“ „Ich habe mir den Graphen der Funktion vorgestellt und ihn (in 3d) so gedreht, dass x und y-Achse vertauscht sind. Spiegelung an der Winkelhalbierenden habe ich mir auch überlegt (hätte ja das gleiche Ergebnis gehabt), aber irgendwie fühle ich mich mit dem Drehen sicherer. Damit habe ich ja dann einen Graphen, bei dem auch Ursache und Wirkung vertauscht ist.“

1.5. Experiment 4 (Moderierende Einflussfaktoren auf den Leserichtungseffekt)

1.5.1. Einleitung

Das vierte Experiment befasst sich mit ausgewählten, moderierenden Einflussfaktoren auf den Leserichtungseffekt.

Ein potentieller Einflussfaktor könnte dabei das räumliche Vorstellungsvermögen und im Speziellen die mentale Rotationsfähigkeit der Versuchsteilnehmer spielen. Als räumliches Vorstellungsvermögen soll die Fähigkeit verstanden werden, „in der Vorstellung räumlich zu sehen und zu denken, d.h. im Gedächtnis gespeicherte (mehrdimensionale) Vorstellungsbilder zu reproduzieren und mit ihnen mental zu operieren“ (Quaiser-Pohl, Lehmann & Schirra, 2001). An dieser Stelle sei – in Übereinstimmung mit den Definitionen zahlreicher anderer Autoren (einen Überblick über verschiedene Definitionen liefert beispielsweise McGee, 1979) – betont, dass das räumliche Vorstellungsvermögen nicht auf dreidimensionale Objekte beschränkt bleiben soll, sondern auch zweidimensionale Vorstellungsbilder mit einschließt. Begründet werden kann dies u.a. mit Hilfe experimenteller Befunde und Studien zur funktionellen Kernspintomographie (fMRT), die darauf hindeuten, dass entgegen der landläufigen Meinung derartige Denkprozesse im Arbeitsgedächtnis räumlicher Natur sind (vgl. z.B. Knauff & Strube, 2002).

Man könnte die Vermutung hegen, dass der Leserichtungseffekt, allgemeiner die Anordnung graphischer Objekte, besonders dann einen großen Einfluss auf die Lernleistungen besitzt, wenn die Lernenden nur über ein geringes räumliches Vorstellungsvermögen verfügen. Nicht nur der im dritten Experiment (s. Abschnitt 1.4) zuletzt aufgeführte Kommentar eines Probanden ließe sich für diese Hypothese heranzuführen, sondern ebenso die bereits unter Abschnitt 1.1 zitierte Studie von William Winn (1982a) zum Thema Dinosaurierentwicklung. Winn kann in dieser Untersuchung nachweisen, dass sich der Einfluss der Leserichtung auf die Lernleistungen von Schülern nur bei jenen mit hohen verbalen und niedrigen räumlichen Fähigkeiten einstellt. Kritisch anzumerken ist, dass der Einfluss verbaler im Vergleich zu räumlichen Fähigkeiten deutlich ausgeprägter war. Ein moderierender Einfluss räumlicher – ohne Berücksichtigung verbaler – Fähigkeiten auf den Einfluss der Leserichtung konnte nicht nachgewiesen werden. Neben Winn (1982a) weist auch Rieber (1990a) darauf hin, dass Personen mit geringen räumlichen Fähigkeiten stärker vom Einsatz einer Animation profitieren als solche mit ausgeprägtem räumlichen Vorstellungsvermögen. Diese Vermutung wird durch mehrere Studien belegt (Blake, 1977; Cohen, A. C., 2005; Hays, 1996; Hegarty & Sims, 1994; Wardle, 1977).

Im Gegensatz zu diesen Befunden existieren in der Literatur mehrere Untersuchungen, die belegen, dass Lernende mit hohen räumlichen Fähigkeiten in stärkerem Ausmaß oder sogar ausschließlich von (adäquat gestalteten) multimedialen Lernumgebungen profitieren (ChanLin, 2000; Mayer & Sims, 1994; Moreno & Mayer, 1999b). Auch wenn diese Untersuchungen sich nicht unmittelbar auf den Leserichtungseffekt und die Anordnung graphischer Objekte beziehen, zeigen sie dennoch, dass sich bei Probanden mit hohen derartigen Kompetenzen eine adäquate Gestaltung der Multimediapräsentation besonders förderlich auf die Lernleistung auswirken kann. Untermauert wird diese Annahme auch in theoretischer Hinsicht. So postuliert die kognitive Theorie multimedialen Lernens von Mayer (s. Abschnitt I.2.2 im Theorieteil), dass Lernende mit ausgeprägten räumlichen Kompetenzen von den in der CTML beschriebenen Gestaltungsprinzipien (s. Abschnitt I.2.2.5 im Theorieteil) verstärkt profitieren. Begründet wird diese Annahme mit der besseren Möglichkeit für Lernende hoher räumlicher Expertise, Bilder im visuellen Teil des Arbeitsgedächtnisses zu behalten. Dadurch erhöhe sich für diese der Nutzen durch die Präsentation einer zusammenhängenden, multimedialen Botschaft.

Im Gegensatz zur CTML vermutet das Rahmenmodell für das Lernen mit Multimedia von Najjar (s. Abschnitt I.2.3.3 im Theorieteil), dass Personen mit hohen kognitiven

Fähigkeiten, wie beispielsweise dem räumlichen Vorstellungsvermögen weniger stark von multimedialen Instruktionmaterialien profitieren. Diese Lerner würden unabhängig von den Lernmaterialien gute Lernergebnisse erzielen (Najjar, 1997). Empirische Befunde stützen diese Annahme (Blake, 1977; Wardle, 1977).

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass das räumliche Vorstellungsvermögen eine bedeutsame Moderatorvariable für den Zusammenhang zwischen der Gestaltung und den resultierenden Lernleistungen in multimedialen Lernumgebungen zu sein scheint (vgl. Hegarty et al., 2003). Ob Lernende mit hohen oder niedrigen räumlichen Kompetenzen verstärkt von einer adäquaten Gestaltung – beispielsweise in Form der Beachtung der Leserichtung – profitieren, scheint ungeklärt. Die erste Hypothese der vierten Untersuchung nimmt daher lediglich an, dass das räumliche Vorstellungsvermögen einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte, im Speziellen den Effekt der Leserichtung, und den Behaltens- und Verständnisleistungen besitzt.

Das räumliche Vorstellungsvermögen und im Besonderen die Fähigkeit zur mentalen Rotation können des Weiteren auch herangezogen werden, um den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte und resultierender Lernleistungen aufzuklären. Zunächst erscheint diese Annahme unplausibel, da gezeigt werden kann, dass kognitive Geschlechtsunterschiede aufgrund von Geschlechtsstereotypen zumeist überschätzt werden. Die tatsächlichen Effektstärken zwischen Männern und Frauen fallen häufig sehr niedrig ($d \approx 0.10$ bis 0.20) aus (z.B. Asendorpf, 2003) und können somit kaum als Erklärungsgrundlage für den in den ersten drei Experimenten z.T. gefundenen Geschlechtseffekt herangezogen werden. Die mentale Rotation bildet jedoch eine Ausnahme. Metaanalysen konnten nachweisen, dass die Fähigkeit zur mentalen Rotation bei Männern deutlich ausgeprägter ist als bei Frauen ($d = 0.94$ nach einer Metaanalyse von Linn & Peterson, 1985; $d = 0.90$ nach einer Metaanalyse von Masters & Sanders, 1993).

Betrachtet man noch einmal den Kommentar des männlichen Probanden, der unter der Bedingung Rechts-Links im dritten Experiment untersucht wurde (s. Abschnitt 1.4.3), so könnte man vermuten, dass einzelne Lernende bei Nichteinhalten der Leserichtung bewusst oder unbewusst eine mentale Rotation zur Klärung des zu vermittelnden Sachverhaltes und Generierung einer mentalen Repräsentation des Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs durchführen. Dies dürfte Männern aufgrund der höheren mentalen Rotationsfähigkeiten durchschnittlich leichter gelingen als Frauen. Dies erklärte beispielsweise den gefundenen

Leserichtungseffekt, der sich bei Frauen in stärkerem Maße einstellte als bei Männern. Denkbar wäre auch, dass Frauen durch die durchzuführende mentale Rotation einer erhöhten kognitiven Belastung ausgesetzt sind (s. Abschnitt I.2.1.3 im Theorieteil), was den Aufbau einer mentalen Repräsentation des zu vermittelnden Kausalzusammenhanges beeinträchtigte (vgl. Hegarty, 1992; Sims & Hegarty, 1997). In diesem Zusammenhang ist eine Studie von Pillay (1994) zu nennen, in der nachgewiesen wird, dass dargebotene Zwischenschritte bei der Transformation von zwei- zu dreidimensionalen Repräsentationen in ausgearbeiteten Lösungsbeispielen die kognitive Belastung der Lernenden reduzieren helfen.

Gegen die Vermutung, das räumliche Vorstellungsvermögen, speziell die mentale Rotationsfähigkeit, verursache den gefundenen, moderierenden Geschlechtseffekt, sprechen Studien, in denen kein Geschlechtsunterschied hinsichtlich des räumlichen Vorstellungsvermögens nachgewiesen werden kann (Large, Beheshti, Breuleux & Renaud, 1996; Quaiser-Pohl et al., 2001). Krüger und Krist (2007) finden in ihrer Untersuchung gar, dass Jungen wesentlich schlechter als Mädchen bei mentalen Rotationsaufgaben abschneiden.

Dennoch kann aufgrund der oben aufgeführten Metaanalysen als zweite Hypothese vermutet werden, dass ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen von Männern im Vergleich zu Frauen den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung der graphischen Objekte des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisleistungen⁷ verursacht.

Ein weiterer moderierender Einflussfaktor auf den Leserichtungseffekt, allgemeiner auf die Anordnung der graphischen Objekte, könnte die Erfahrung mit Computern darstellen. Mutmaßlich beeinflusst die Vertrautheit mit diesem Medium, in welcher Stärke sich die Anordnung der graphischen Objekte auf die Lernleistungen der Versuchsteilnehmer auswirkt. Einerseits darf vermutet werden, dass Computer-Novizen noch keine spezifischen Erwartungen entwickelt haben, in welcher Form ein Kausalzusammenhang in interaktiven, dynamischen Visualisierungen am PC dargeboten wird. Folglich würden diese Novizen weniger anfällig auf das Nichteinhalten bestimmter Darstellungskonventionen, wie

⁷ Auf Grund der Ergebnisse der ersten Untersuchung (s. Abschnitt 1.2.3) hätte die Hypothese auch nur für die Behaltensleistungen postuliert werden können. Da sich jedoch in der zweiten Untersuchung ein moderierender Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen horizontaler vs. vertikaler Präsentation des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisleistungen zeigt (s. Abschnitt 1.3.3), wurde der Moderatoreffekt in der Hypothese auch für die Verständnisleistungen angenommen.

beispielsweise die Beachtung der Leserichtung reagieren. Andererseits könnte argumentiert werden, dass eine höhere Computererfahrung eine erhöhte Flexibilität mit dem Medium bereitstellt und dazu beiträgt, auch von der Konvention abweichende Darstellungen mental adäquat zu repräsentieren. Computerprogramme weichen zudem relativ häufig von der horizontalen Leserichtung ab, beispielsweise ist in Office-Anwendungen oder bei Internetbrowsern die Bildlaufleiste an der rechten Seite angebracht, die den Bildausschnitt in der Mitte des Bildschirms und damit links von der Bildlaufleiste bedingt.

Daher kann für die Computererfahrung der Lernenden schlüssig argumentiert werden, dass diese den Einfluss durch die Anordnung der graphischen Objekte auf die Lernleistungen sowohl verstärken als auch reduzieren kann. Folglich wird die dritte Hypothese unspezifisch formuliert. Sie nimmt für die Computererfahrung einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte, speziell des Effektes der Leserichtung und den Behaltens- und Verständnisseleistungen an.

Die Computererfahrung kann wie das räumliche Vorstellungsvermögen herangezogen werden, um den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt aufzuklären. Aufgrund empirischer Studien (z. B. Eysenbach, 1995; Wittmann, Süß & Oberauer, 1996) ist anzunehmen, dass Männer im Durchschnitt über größere Computerkenntnisse verfügen als Frauen. In einer Metaanalyse von Whitley (1997) können eine intensivere Nutzung ($d = 0.33$) und eine höhere Vorerfahrung ($d = 0.21$) mit Computern für Männer im Vergleich zu Frauen festgestellt werden, wobei die Effekte statistisch bedeutsam sind. Da die Anordnung graphischer Objekte nur bei Frauen, nicht jedoch bei Männern einen Einfluss auf die Lernleistungen besitzt, ist folglich nachzuweisen, dass die ungleiche Computererfahrung diese Unterschiede zwischen Männern und Frauen bewirkt. Zusammengefasst kann als vierte Hypothese postuliert werden, dass eine höhere Computererfahrung von Männern im Vergleich zu Frauen den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisseleistungen⁸ verursacht.

Neben den Hypothesen wären auch Boden- oder Deckeneffekte – insbesondere als Erklärungsansätze für den moderierenden Einfluss des Geschlechts – auf den Leserichtungseffekt denkbar. Im Anhang wird diese Möglichkeit diskutiert und entkräftet (Anhang U).

⁸ Vgl. Fußnote 7 auf Seite 132.

1.5.2. Methode

Versuchsdesign und Versuchsmaterial

Im Experiment 4 wurde dasselbe Computerprogramm mit vier verschiedenen interaktiven Animationen wie im zweiten Experiment (s. Abschnitt 1.3.2) verwendet. Der Versuchsplan weist große Gemeinsamkeiten mit der dritten Untersuchung auf. Im Unterschied zur zweiten und dritten Studie wurde unmittelbar vor Darbietung des Lernprogramms neben der Computererfahrung mittels Selbsteinschätzung auf einer siebenstufigen Likert-Skala das räumliche Vorstellungsvermögen der Probanden erfasst sowie deren Fähigkeit zum sprachgebundenen Denken.

In Gruppentests mit durchschnittlich 15 bis 20 Versuchsteilnehmern kamen dabei ausgewählte Subskalen des Strukturdiagnostikums „WILDE-Intelligenz-Test“ (WIT) von Jäger und Althoff (1983) zum Einsatz. Die Subskala „räumliches Vorstellen“ wurde im WIT mit Hilfe der zwei Subtests „Spiegelbilder“ und „Abwicklungen“ erhoben, während die Subskala „sprachgebundenes Denken“ im vierten Experiment durch die beiden Subtests „Sprichwörter“ und „Analogien“ ermittelt werden konnte.

Die Fähigkeit zum sprachgebundenen Denken wurde miterfasst zum einen, um eine bessere Vergleichbarkeit der vorliegenden Studie mit der Untersuchung von Winn (1982a) zu gewährleisten, zum anderen sollte sichergestellt werden, dass die Unterschiede sich speziell auf das räumliche Vorstellungsvermögen zurückführen ließen und nicht durch generelle Intelligenzunterschiede bedingt waren.

Bei allen vier aufgeführten Subtests kam von zwei zur Verfügung stehenden Parallelformen die zweite zum Einsatz, da diese sowohl hinsichtlich der durchschnittlichen Trennschärfen der verwendeten Items, als auch bezüglich der inneren Konsistenzen (berechnet nach Kuder-Richardson) und der ermittelten Split-half-Reliabilitäten (berechnet nach Rulon) höhere oder zumindest gleichhohe Kennwerte aufwiesen. Bis auf den Subtest „Spiegelbilder“, der in der Langform von 5 Minuten präsentiert wurde, fanden die drei anderen Subtests in ihrer Kurzform statt, die zwischen 3 und 5 Minuten betrug. Grund hierfür war eine Analyse der angegebenen Split-half-Reliabilitäten im Vorfeld der Studie, in der sich zeigte, dass sich in drei der vier Fälle die Kennwerte nicht oder nur minimal zwischen der Kurz- und Langform voneinander unterschieden. Lediglich bei den Split-half-Reliabilitäten des Subtests „Spiegelbilder“ hätte eine Reduktion der Korrelation zwischen der ersten und zweiten Testhälfte von .95 auf .84 durch den Einsatz der Kurzform in Kauf genommen werden müssen. Zudem hätte sich die Bearbeitungszeit durch Benutzung dieser

Kurzform nur um 2.5 Minuten reduziert. Tabelle 9 gibt Auskunft über die relevanten teststatistischen Kennwerte, die aus dem Manual zum Wilde-Intelligenz-Test entnommen wurden.

Tabelle 9: Darstellung der verwendeten Form, Testdauer, durchschnittlichen Trennschärfe der Items, Split-half-Reliabilität und inneren Konsistenz aufgeschlüsselt für die vier verschiedenen Subtests, die die Fähigkeiten „räumliches Vorstellen“ und „sprachgebundenes Denken“ erfassen sollen.

		Form	Test- dauer	Trenn- schärfen	Split- half	innere Konsistenz
räumliches	Spiegelbilder	lang	5	.52	.95	.96
Vorstellen	Abwicklungen	kurz	5	.48	.80	.86
sprachgebundenes	Sprichwörter	kurz	4.5	.42	.83	.88
Denken	Analogien	kurz	3	.45	.87	.92

Anmerkungen: Form: zeigt auf, ob die Kurz- oder Langform des Tests verwendet wurde; Testdauer: Dauer des Tests in Minuten; Trennschärfen: durchschnittliche Trennschärfen der verwendeten Items; Split-half: Split-half-Reliabilitäten nach Rulon für eine nach Schulbildung repräsentative Stichprobe von 300 17-jährigen Probanden; innere Konsistenz: innere Konsistenz berechnet nach Kuder-Richardson an derselben Stichprobe.

Im Gegensatz zu den ersten beiden Untersuchungen fand das vierte Experiment in einem Computerraum der Universität Trier statt, welcher mit insgesamt 21 PCs bestückt war. Die identisch ausgestatteten Rechner verfügten jeweils über Pentium D, Dual-Core 3 GHz-Prozessoren, 17 Zoll TFT-Flachbildschirmen (Eizo FlexScan M1700) sowie über überhandelsübliche Tastaturen und PC-Mäuse. Als Betriebssystem kam Windows XP zum Einsatz.

Versuchsablauf und Datenaggregation

Der Versuchsablauf war bis auf die vorherige Ermittlung der Intelligenzwerte und dem Einsatz anderer Versuchsleiter deckungsgleich mit den Experimenten eins und zwei (s. Abschnitte 1.2.2 u. 1.3.2). In den ersten beiden Studien wurde die Untersuchung eigenständig durchgeführt, das vierte Experiment wurde hingegen im Rahmen eines Empiriepraktikums unter meiner Aufsicht von fünf Studierenden realisiert.

Die Behaltens- und Verständnisitems waren zum direkten Vergleich identisch zu jenen des zweiten Experiments, in welchem sich der moderierende Einfluss des Geschlechts deskriptivstatistisch deutlich zeigte und problemlos inferenzstatistisch absichern ließ. Der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala betrug .570, für die Verständnisskala .738.

Die Datenaggregation erfolgte wie bereits in den ersten drei Untersuchungen deskriptivstatistisch mittels Microsoft Excel 2003 und inferenzstatistisch mit Hilfe von SPSS 13.0. Analysen mittels neuronaler Netze wurden in Visual-XSel 9.0 realisiert.

Stichprobe

An dem vierten Experiment nahmen insgesamt 96 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Gruppen verteilt wurden (24 Personen in jeder Bedingung).

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 22 Jahre (18-34 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im ersten Semester (Modalwert) befanden ($M = 2.6$; $SD = 2.9$).

Von den teilnehmenden Probanden war genau die Hälfte weiblichen Geschlechts.

46 Psychologiestudenten nahmen an dem PC-Experiment teil, zehn Probanden studierten Betriebs- oder Volkswirtschaftslehre, vier Soziologie und weitere 34 Personen befanden sich in anderen Studiengängen, zwei Teilnehmer studierten nicht (s. Anhang S).

Auffällig ist, dass der Anteil der Psychologiestudenten (47.9%) im Gegensatz zu den ersten beiden Studien (79.6% für das erste und 71.6% für das zweite Experiment) deutlich geringer ausfiel (siehe Tabelle 10). Dieser Unterschied wurde mutmaßlich durch die Stichprobenrekrutierung verursacht. Aufgrund der Probleme bei der Auswertung bedingt durch die ungleiche Anzahl an Männern und Frauen in den ersten drei Experimenten (s. Abschnitte 1.2.2, 1.3.2 u. 1.4.2) wurde in der vierten Studie darauf geachtet, in allen Bedingungen möglichst genauso viele Männer wie Frauen zu untersuchen. Dies gelang zwar (der Männeranteil betrug in allen vier Bedingungen exakt 50%, siehe Tabelle 10), jedoch mussten hierzu zahlreiche Nicht-Psychologiestudierende für das Experiment rekrutiert werden, da männliche Studierende im Fach Psychologie deutlich unterrepräsentiert sind. An dieser Stelle sei bereits darauf hingewiesen, dass sich hierdurch eine Konfundierung zwischen dem Geschlecht und dem Studienfach ergab. Weibliche Untersuchungsteilnehmerinnen studierten überwiegend Psychologie (75.0%), während sich männliche Probanden mehrheitlich in anderen Studienfächern befanden (Anteil männlicher Psychologiestudierender: 20.8%). Durch diese Konfundierung ist insbesondere eine Überprüfung der zweiten und vierten Hypothese des Experiments nicht statthaft (genauer hierzu siehe Abschnitt 1.5.3).

86 der 96 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei größere Vorkenntnisse über neuronale Netze. Der Anteil der Linkshänder an der Untersuchung betrug laut Selbstauskunft 4.2%, der Anteil derer, die angaben eine Fremdsprache zu beherrschen, die sich von rechts nach links schreibt, lag bei 6.3%.

Das durchschnittliche räumliche Vorstellungsvermögen betrug 109.5 IQ-Punkte ($SD = 10.0$), während das sprachgebundene Denken im Mittel 109.9 Punkte aufwies ($SD = 7.6$).

Für die selbsteingeschätzte Computererfahrung auf einer Likert-Skala von eins (keine Erfahrung) bis sieben (Computerexperte) ließ sich ein Mittelwert von 4.0 Punkten ($SD = 1.1$) berechnen. Eine Person gab keine Selbsteinschätzung zur Computererfahrung an.

Tabelle 10 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale.

Trotz der deskriptivstatistisch auftretenden Unterschiede zwischen den vier Gruppen, ergaben sich inferenzstatistisch keinerlei statistisch bedeutsamen Unterschiede bezüglich der Zellenverteilung für die Variablen „Händigkeit“, „Geschlecht“, „Alter“, „Semester“, „Vorkenntnisse“, „Fremdsprache“, „räumliches Vorstellen“, „sprachgebundenes Denken“ und „Computererfahrung“ (die p -Werte betragen zwischen .096 und 1.000; $1-\beta = .692$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .891$ für die Variablen Alter, Semesterzahl, räumliches Vorstellen, sprachgebundenes Denken und Computererfahrung bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Da keinerlei sonstige Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 10: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die vier Versuchsbedingungen.

	Versuchsbedingung				Gesamt
	Links- Rechts	Rechts- Links	Oben- Unten	Unten- Oben	
N	24	24	24	24	96
Geschlecht	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
Alter	21.0	21.3	22.0	22.0	21.6
Semester	2.0	2.4	2.7	3.3	2.6
Vorkenntnisse	16.7%	12.5%	4.2%	8.3%	10.4%
Linkshänder	4.2%	0.0%	0.0%	12.5%	4.2%
Fremdsprache	4.2%	4.2%	16.7%	0.0%	6.3%
Räumliches Vorstellen	108.4	112.3	110.5	106.9	109.5
Sprachgebundenes Denken	109.9	109.0	110.6	110.0	109.9
Computererfahrung	3.7	4.4	3.9	3.9	4.0
	Studienfächer				
Psychologie	58.3%	45.8%	54.2%	33.3%	47.9%
BWL/VWL	0.0%	12.5%	12.5%	16.7%	10.4%
Soziologie	4.2%	4.2%	4.2%	4.2%	4.2%
Sonstige	37.5%	37.5%	29.2%	45.8%	37.5%

1.5.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die Prüfung der in Abschnitt 1.2.3 genannten Voraussetzungen für die MANOVA erbrachte keine signifikanten Abweichungen, sodass die Annahmen beibehalten werden. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang T zu entnehmen.

Hypothese 1

Die erste, ungerichtete Hypothese behauptet, dass das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltens- und Verständnisleistungen von Lerninhalten moderiert, die in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargeboten werden.

Zur Überprüfung dieser Hypothese stehen mehrere statistische Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung. Denkbar und in der psychologischen Forschungsliteratur sehr häufig anzutreffen ist beispielsweise eine Dichotomisierung der erhobenen Variablen „räumliches Vorstellungsvermögen“ mittels Median-Split. Im Anschluss erfolgt eine varianzanalytische Betrachtung des Interaktionseffektes dieser neu erzeugten Variablen mit der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltens- und Verständnisleistungen der Lernenden. Das räumliche Vorstellungsvermögen innerhalb der beiden Vierergruppen (vier verschiedene graphische Anordnungen jeweils getrennt für Probanden mit niedrigem und hohem räumlichen IQ) kann sich voneinander unterscheiden. Um zu gewährleisten, dass diese Variationen nicht das Untersuchungsergebnis verzerren, bietet sich der Einsatz einer Kovarianzanalyse im Anschluss an den Median-Split an. Dabei ist diese Kovarianzanalyse getrennt für die Probanden mit hohem und niedrigem räumlichen Vorstellungsvermögen durchzuführen. Abb. 22 und Abb. 23 stellen das Ergebnis des Median-Splits ($Md = 110.5$) mit anschließender Kovarianzanalyse für die Behaltens- und Verständnisleistungen dar.

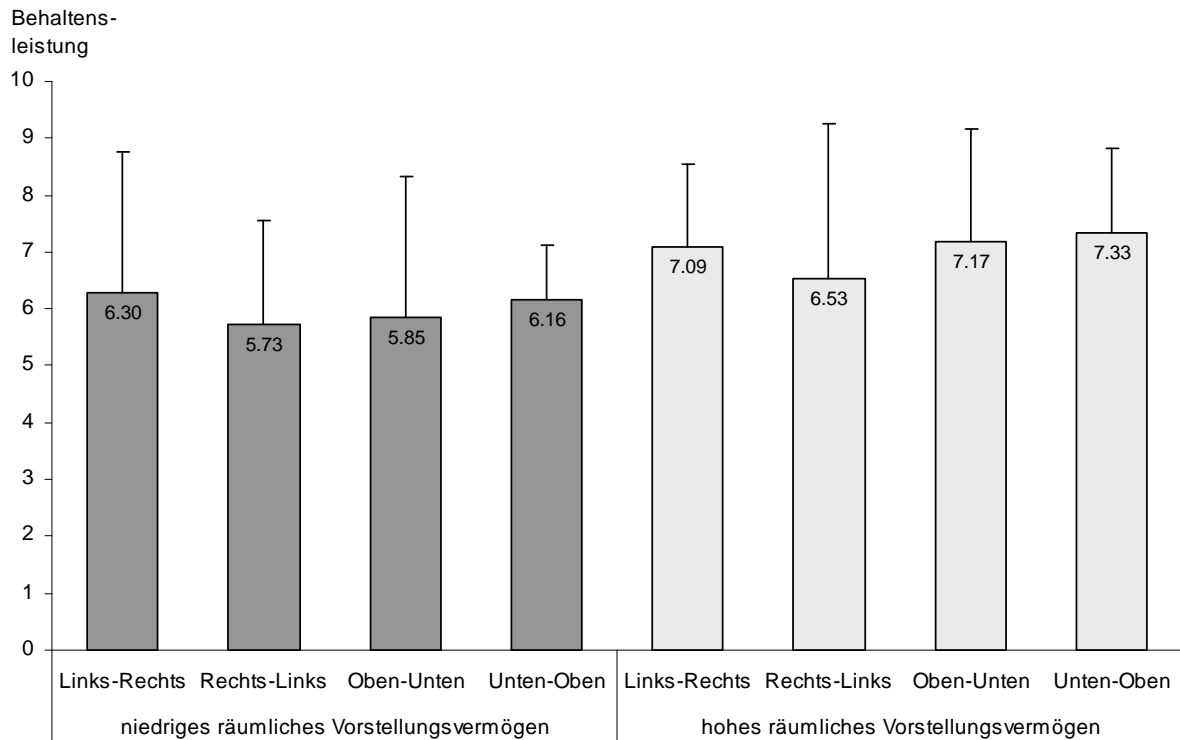


Abb. 22: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges getrennt für Probanden mit niedrigem und hohem räumlichen Vorstellungsvermögen (ermittelt durch Median-Split). Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen. Die durchgeführte Kovarianzanalyse hält bei niedrigem räumlichem Vorstellungsvermögen die entsprechenden IQ-Werte auf 101.6 konstant, während dieser Wert bei hohem räumlichen Vorstellungsvermögen 117.8 beträgt.

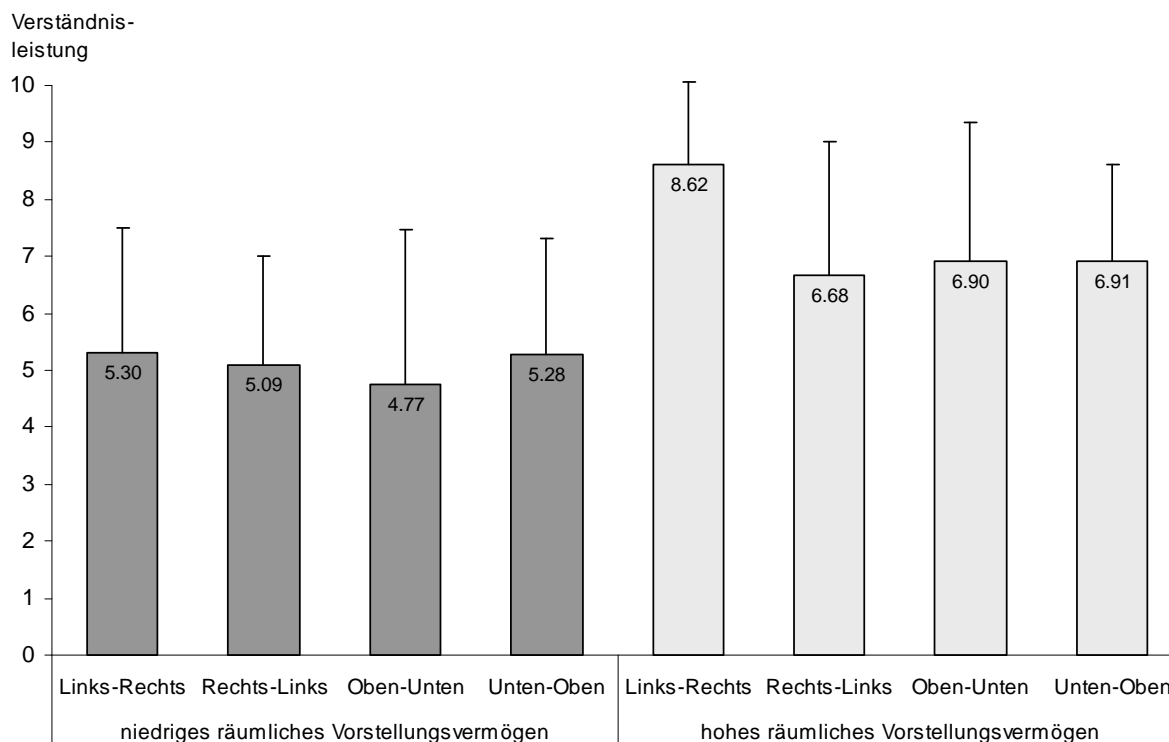


Abb. 23: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhangs getrennt für Probanden mit niedrigem und hohem räumlichen Vorstellungsvermögen (ermittelt durch Median-Split). Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen. Die durchgeführte Kovarianzanalyse hält bei niedrigem räumlichem Vorstellungsvermögen die entsprechenden IQ-Werte auf 101.6 konstant, während dieser Wert bei hohem räumlichen Vorstellungsvermögen 117.8 beträgt.

Für die Behaltensleistungen zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen den vier betrachteten Bedingungen nur marginal davon abhängen, ob die Lernenden einen hohen oder niedrigen räumlichen IQ aufweisen (s. Abb. 22). Für die Verständnisleistungen ist in Abb. 23 erkennbar, dass ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen mit deutlich höheren Leistungen einhergeht. Dennoch ist auch hier der moderierende Einfluss der räumlichen Kompetenzen auf den Zusammenhang zwischen den Anordnungen der graphischen Objekte und den Verständnisleistungen gering. Eine Ausnahme bildet die Gruppe von Probanden mit hohem räumlichen IQ, in der der Kausalzusammenhang horizontal und in Leserichtung (Links-Rechts) dargeboten wurde. Diese Versuchspersonen erzielten durchschnittlich deutlich höhere Verständniswerte ($M = 8.62$; $SD = 1.44$) als die verbleibenden sieben Gruppen. Von jener Gruppe abgesehen zeigen sich bei Versuchsteilnehmern mit hohem räumlichem Vorstellungsvermögen für die Bedingungen Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben ähnliche Verständnismittelwerte (M zwischen 6.68 und 6.91; SD zwischen 1.69 und 2.45). Auch für Lernende mit geringen ausgeprägten räumlichen Kompetenzen unterscheiden sich die Verständniswerte zwischen diesen drei Bedingungen sowie der

Bedingung Links-Rechts kaum. Die Mittelwerte für die Verständnisleistungen dieser vier Gruppen betragen zwischen 4.77 und 5.30 Punkten (*SD* zwischen 1.92 und 2.70).

Inferenzstatistisch bestätigt sich der deskriptivstatistisch skizzierte Befund. Sowohl hinsichtlich der Behaltensleistungen ($F(3, 88) = 0.165; p = .920$) als auch für die Verständnisleistungen ($F(3, 88) = 0.786; p = .505$) lässt sich bei akzeptabler Teststärke von 89.08% bei einem postulierten mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5% ein Moderatoreffekt statistisch nicht absichern. Auch der Einbezug weiterer Kovariaten wie der Computererfahrung oder dem sprachgebundenen Denken führt nur zu marginalen Veränderungen der berichteten *p*-Werte. Daher wird bei den weiteren Analysen zum räumlichen Vorstellungsvermögen auf diese Kovariaten verzichtet.

Betrachtet man das Ergebnis des durchgeführten Median-Splits mit anschließender Kovarianzanalyse für die Drittvariable „räumliches Vorstellungsvermögen“, so könnte man aufgrund der deskriptiv- und inferenzstatistischen Befunde zu dem Schluss gelangen, dass das räumliche Vorstellungsvermögen keinen (bzw. nur einen sehr geringen) moderierenden Effekt auf den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Lernleistungen besitzt. Aufgrund des zustandegekommenen Informationsverlusts durch die Dichotomisierung der Moderatorvariablen ist diese Schlussfolgerung jedoch unzulässig. Beispielsweise wäre denkbar, dass der Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltensleistungen bei Lernenden mit einem mittleren räumlichen Vorstellungsvermögen besonders stark (oder schwach) in Erscheinung tritt. Derartige Zusammenhänge vermag die Datenauswertung mittels Median-Split nicht zu erfassen, auch wenn sie in der psychologischen Forschungsliteratur oftmals die Methode der Wahl bei der Analyse von Moderatorvariablen wie dem räumlichen Vorstellungsvermögen darstellt (vgl. z.B. Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989; Renkl, 1997). Auch andere, komplexe Zusammenhänge zwischen räumlichem Vorstellungsvermögen, Anordnung graphischer Objekte und Lernleistungen der Probanden können mit Hilfe des Median-Splits nicht detektiert werden (weitere Kritikpunkte zum Median-Split finden sich u.a. bei Renkl, 1997).

Zur Erfassung komplexerer Zusammenhänge zwischen den Variablen bestünde die Möglichkeit, die Daten regressionsanalytisch auszuwerten. Jedoch ergibt sich hier das Problem, dass eine Regressionsanalyse zwar grundsätzlich mit Hilfe eines entsprechenden Modellterms (z.B. x^2 oder x^3) nonlineare Zusammenhänge wie den oben aufgeführten erfassen kann, jedoch nur bei vorheriger Festlegung eines solchen Parameters. Die erste Hypothese ist jedoch ungerichtet und unspezifisch formuliert, weil a priori nicht bekannt ist,

in welcher Art und Weise sich das räumliche Vorstellungsvermögen beispielsweise auf den Leserichtungseffekt auswirkt. Somit müssten man theoretisch unendlich viele Parametermöglichkeiten der Regressionsanalyse testen und im Hinblick auf die Varianzaufklärung miteinander vergleichen.

Statt einer solchen Datenauswertung bietet sich eine statistische Auswertung mittels neuronaler Netze an. Neuronale Netze besitzen den Vorteil, lineare wie nonlineare Abhängigkeiten in Datensätzen zu erfassen, ohne einen bestimmten Funktionstypus a priori festlegen zu müssen⁹.

Es wurde ein neuronales Netz mit den beiden Prädiktoren räumliches Vorstellungsvermögen und Anordnung graphischer Objekte als Input sowie der vorherzusagenden Behaltensleistung als Output und Zielwert konstruiert. Verwendet man in diesem Netz nur eine einzige Hidden-Unit (es handelt sich somit um ein äußerst sparsames Modell) zwischen den Ein- und Ausgabe-Einheiten sowie eine sigmoide Aktivitätsfunktion, so kann eine Varianzaufklärung von 22.1% (R^2 in Prozent; $df_E=91$; $RMS = 1.998$ ($RMS =$ Standardabweichung für das Gesamtmodell)) erzielt werden. Eine Regressionsanalyse mit linearem Modellterm und Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den beiden unabhängigen Variablen kommt dagegen lediglich auf eine Varianzaufklärung von 8.9% (bei $df_E=92$; $RMS = 1.975$). Abb. 24 stellt das Ergebnis des neuronalen Netzes für die Behaltensleistungen dar.

⁹ Trotz dieser Vorteile ergeben sich bei der Datenanalyse mittels neuronaler Netze auch diverse Schwierigkeiten, die an dieser Stelle jedoch nicht erörtert werden sollen. Stichwörter wären hier u.a. das Problem der lokalen Minima sowie das Problem des Overfittings. Datenanalysen mittels neuronaler Netze sind somit – wie andere statistische Auswertungsverfahren auch – mit aller Vorsicht zu betrachten.

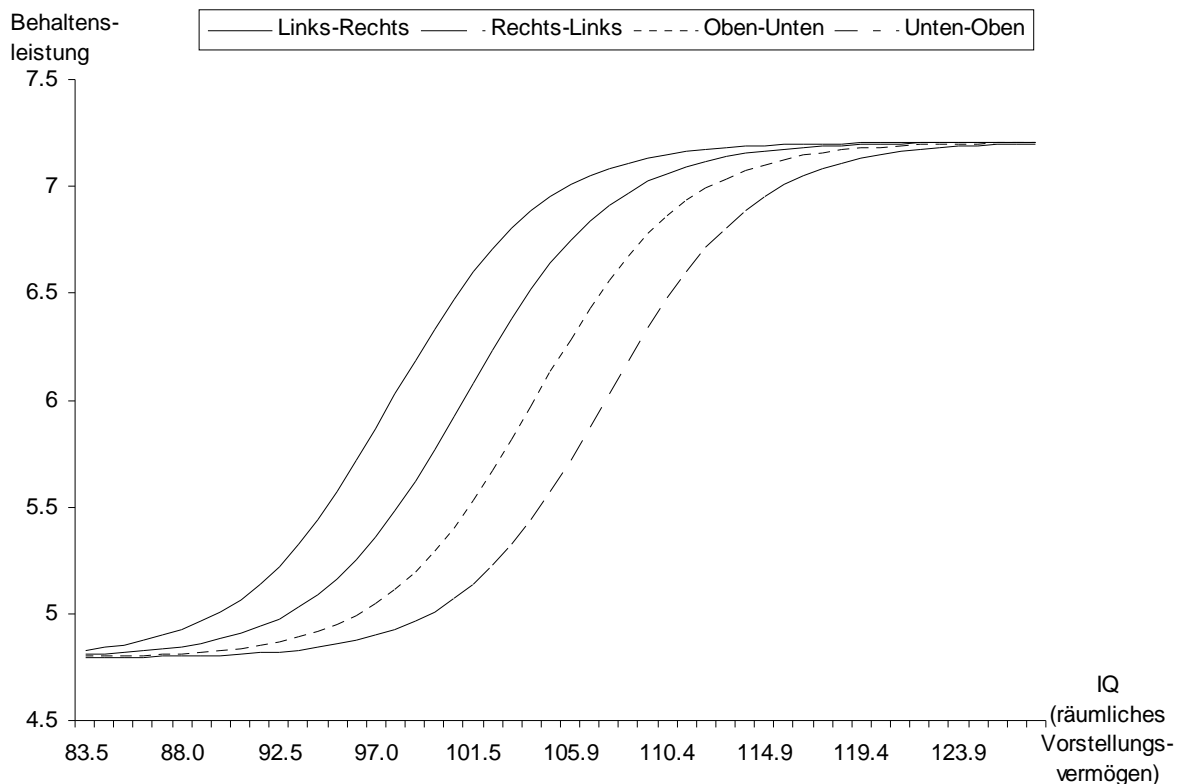


Abb. 24: Liniendiagramm zur Darstellung der vorhergesagten Behaltensleistungen durch das neuronale Netz mit Hilfe des räumlichen Vorstellungsvermögens für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges. Die durch die vorhergesagten Werte erzielte Varianzaufklärung der empirischen Werte beträgt 22.1% (R^2 in Prozent).

In der Abb. 24 ist erkennbar, dass sich die vorhergesagten Behaltensleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen vornehmlich im mittleren IQ-Bereich des räumlichen Vorstellungsvermögens voneinander unterscheiden. Die vier sigmoiden Kurvenverläufe, die die vier verschiedenen graphischen Anordnungen repräsentieren, verlaufen dabei nahezu parallel, jedoch um jeweils ca. 3.5 IQ-Punkte versetzt.

Bei niedrigen IQ-Werten – beginnend mit dem kleinsten gemessenen Wert in der Untersuchung von 83.5 – fallen die vorhergesagten Behaltensleistungen für die vier Bedingungen relativ ähnlich aus und liegen auf niedrigem Niveau knapp unter fünf Punkten. Der Anstieg auf ca. 7.2 Punkten, der mit zunehmenden IQ-Werten einhergeht, erfolgt zunächst für die Bedingung Links-Rechts, wobei hier die stärkste Steigung bei einem räumlichen Vorstellungsvermögen von ca. 98 Punkten und einer Behaltensleistung von 6 Punkten vorliegt (s. Abb. 24). Ein ganz ähnlicher Verlauf, nur um ca. 3.5 IQ-Punkte nach rechts versetzt kann für die Bedingung Rechts-Links beobachtet werden. Im Abstand von weiteren jeweils etwa 3.5 Punkten erfolgen dann die sigmoiden Kurvenverläufe für die Bedingungen Oben-Unten und Unten-Oben. Im oberen IQ-Bereich, der mit einem

gemessenen Wert von 127.5 Punkten endet, verlaufen die vier Kurven wieder zusammen (s. Abb. 24).

Für die Verständnisleistungen können unter Berücksichtigung des räumlichen Vorstellungsvermögens und der vier Bedingungen für die Anordnung graphischer Objekte keine zufrieden stellenden Varianzaufklärungen in Anbetracht von vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen erzielt werden. Dies gilt sowohl für eine regressionsanalytische als auch für eine Auswertung, die auf ein neuronales Netz zurückgreift.

Um dennoch eine derartige Analyse mit akzeptabler Varianzaufklärung durchzuführen wird der mit Hilfe des Median-Splits (siehe oben) sowie weiterer deskriptivstatistischer Analysen aufgedeckte Befund herangezogen, dass die Bedingungen Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben untereinander sehr ähnliche Verständnisleistungen aufweisen. Deren Leistungen hängen fast ausschließlich von dem räumlichen Vorstellungsvermögen, nicht aber von der Interaktion zwischen räumlichem IQ und graphischer Anordnung ab. Daher wird eine Zusammenfassung dieser drei Gruppen vorgenommen. Durch diese Zusammenfassung gelingt es mit Hilfe eines neuronalen Netzes eine Varianzaufklärung von 38.2% (R^2 in Prozent; $df_E=91$; $RMS = 2.194$ ($RMS =$ Standardabweichung für das Gesamtmodell)) zu erzielen. Das Netz wird dabei mit den zwei Prädiktoren räumliches Vorstellungsvermögen und Anordnung graphischer Objekte (Links-Rechts im Vergleich zu den anderen drei Bedingungen) als Input gefüttert und besitzt eine einzige Hidden-Unit sowie eine normalverteilte Aktivitätsfunktion. Als Output und Zielwert kommt die Variable Verständnis zum Einsatz.

Das Vorgehen mit der abschließend ermittelten hohen Varianzaufklärung zeigt, dass ein Median-Split durchaus gewinnbringend als Voranalyse zur Datenauswertung mittels neuronaler Netze eingesetzt werden kann. Eine Regressionsanalyse mit linearem Modellterm und Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den beiden unabhängigen Variablen kann dagegen lediglich 25.6% (bei $df_E=92$; $RMS = 2.107$) der Varianz durch die Prädiktoren aufklären. Bei der Regressionsanalyse verfehlt das β -Gewicht für den Interaktionseffekt zwischen den beiden Prädiktoren das 5%-Signifikanzniveau mit einem p -Wert von .091 knapp. Abb. 25 stellt das Ergebnis des neuronalen Netzes für die Verständnisleistung dar.

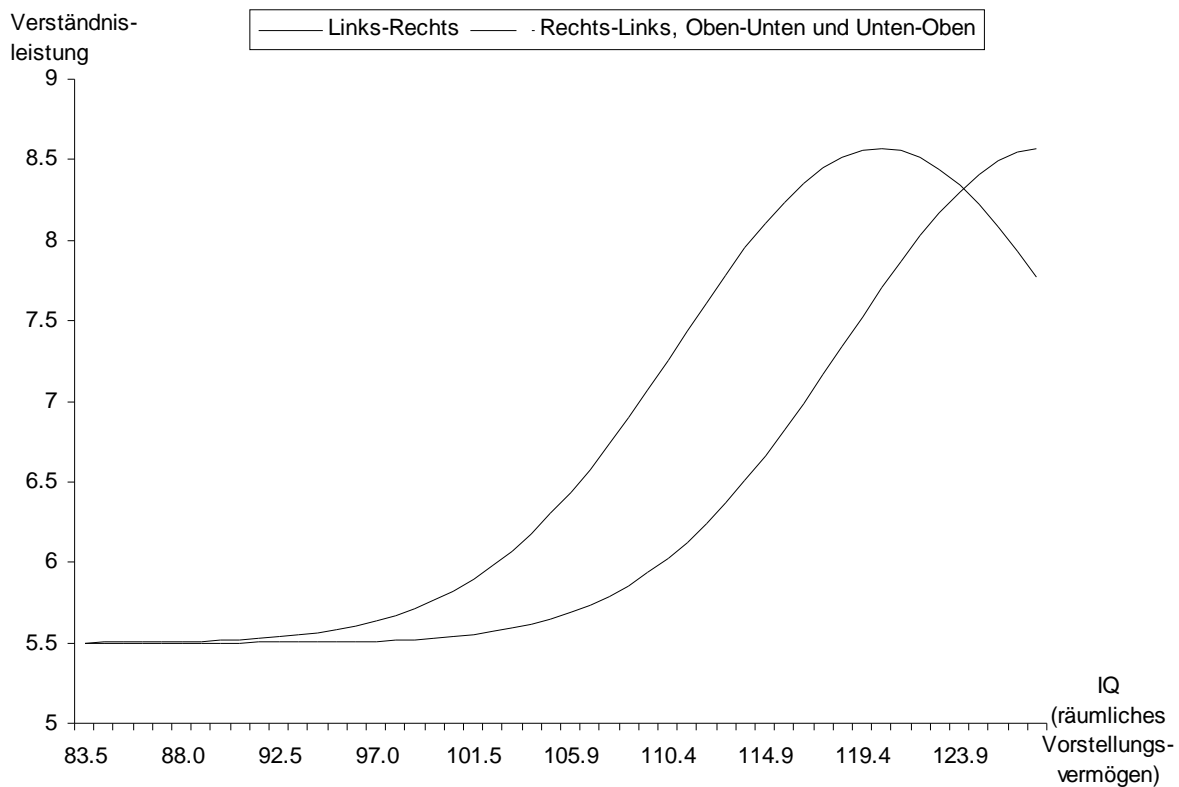


Abb. 25: Liniendiagramm zur Darstellung der vorhergesagten Verständnisleistungen durch das neuronale Netz mit Hilfe des räumlichen Vorstellungsvermögens für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges. Die durch die vorhergesagten Werte erzielte Varianzaufklärung der empirischen Werte beträgt 38.2% (R^2 in Prozent).

In der Abb. 25 wird deutlich, dass sich die vorhergesagten Verständnisleistungen zwischen der Versuchsbedingung Links-Rechts und den anderen drei, zusammengefassten Versuchsbedingungen in Abhängigkeit des räumlichen Vorstellungsvermögens voneinander unterscheiden. Bis zu ca. 95 IQ-Punkten liegen die vorhergesagten Verständnisleistungen für die vier Bedingungen gleich auf und sagen Verständniswerte von ca. 5.5 Punkten voraus.

Mit zunehmendem räumlichem Vorstellungsvermögen steigen die Werte der abhängigen Variable – ähnlich einer sigmoiden Kurve – auf knapp unter 8.6 Verständnispunkte für die Bedingung an, in der die Leserichtung in horizontaler Richtung eingehalten worden ist. Dieser Gipfel, der bei einem IQ-Wert von ca. 120 erreicht wird, wird bei weiter ansteigendem räumlichem Vorstellungsvermögen wieder verlassen und sinkt auf etwa 7.8 Verständnispunkte ab (bei einem IQ-Wert von 127.5).

Einen ähnlichen Kurvenverlauf prognostiziert das neuronale Netz für die drei anderen Versuchsbedingungen. Allerdings ist der Verlauf bei diesen um ca. 7.6 IQ-Punkte verschoben, so dass der maximal anzutreffende Verständniswert von knapp unter 8.6 Punkten bei dem höchsten IQ-Wert von 127.5 anzutreffen ist. Folglich unterscheiden sich

die beiden Kurvenverläufe aufgrund ihrer Verschiebung vornehmlich darin, dass bei letztgenanntem kein Rückgang der Verständnisleistungen mehr bei hohem räumlichem Vorstellungsvermögen zu verzeichnen ist.

Interpretiert und auf andere Gestaltungsmöglichkeiten von interaktiven Animationen generalisiert werden könnten die für die Behaltens- und Verständnisleistungen gefundenen Muster wie folgt: Personen mit einem niedrigen räumlichen Vorstellungsvermögen erzielen unabhängig von der Gestaltung der interaktiven Animation niedrige Lernleistungen, während Lernende mit höherem räumlichen Vorstellungsvermögen bessere Leistungen erzielen. Darüber hinaus profitieren diese beispielsweise auch von der Beachtung der Leserichtung und können im Vergleich zu Probanden mit gleichem räumlichem IQ bessere Verständnisleistungen erzielen. Die Gestaltung der Animation hat insbesondere bei Personen mit mittleren bis hohen räumlichen Kompetenzen einen Einfluss. Für diese scheint eine gut gestaltete, interaktive Visualisierung kompensatorisch im Hinblick auf das räumliche Vorstellungsvermögen zu wirken. Beispielsweise kann ein geringfügig niedrigeres räumliches Vorstellungsvermögen der Lernenden im mittleren bis hohen IQ-Bereich räumlicher Kompetenzen vermutlich durch die Beachtung der Leserichtung in horizontaler Anordnung kompensiert werden.

Während die Behaltensleistungen von Lernenden mit einem sehr hohen räumlichen Vorstellungsvermögen unabhängig von der Anordnung graphischer Objekte zu sein scheinen, könnte man bei den Verständnisleistungen einen paradoxen Effekt vermuten. Lernenden, die ein räumliches Vorstellungsvermögen über einem Wert von 120 Punkten besitzen, würden nach Abb. 25 unter den Versuchsbedingungen Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben besser abschneiden als unter der Bedingung Links-Rechts. Diese Vermutung erscheint jedoch äußerst gewagt, da lediglich zwei Personen unter der Bedingung Links-Rechts untersucht worden sind und ein räumliches Vorstellungsvermögen von über 120 Punkten erreicht haben. Diese beiden Personen haben beide einen IQ-Wert von 122 Punkten erzielt sowie eine Verständnisleistung von sechs und neun Punkten. Es ist anzunehmen, dass der in der Abb. 25 dargestellte Rückgang ausreißerbedingt zustande gekommen sein könnte, obgleich man in einer weiteren Untersuchung dieser Vermutung auch nachgehen könnte.

Folgende, naheliegende zusammenfassende Interpretation aus den Untersuchungsergebnissen zur ersten Hypothese kann vorgenommen werden: „Sehr gute“ (bezogen auf das räumliche Vorstellungsvermögen) Lerner erzielen unabhängig vom

Lernmaterial (hier: die Anordnung graphischer Objekte) sehr gute Lernleistungen. „Schlechte“ (bezogen auf den räumlichen IQ) Lerner erreichen selbst dann nur unterdurchschnittliche Lernleistungen, wenn ihnen gut gestaltete Lernmaterialien, die beispielsweise die Leserichtung in horizontaler Richtung einhalten, zur Verfügung stehen. Lediglich Lerner mit mittlerem bis hohem räumlichem Vorstellungsvermögen profitieren von einer „adäquaten“ Gestaltung der multimedialen Lernumgebung.

Die skizzierte Interpretation bietet sich an, die uneinheitliche empirische Befundlage in der Literatur zum moderierenden Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens aufzulösen (vgl. a. Abschnitt I.2.2.5 u. I.2.3.3 im Theorieteil). Insbesondere könnte damit auch die Diskrepanz zwischen den Positionen der CTML (s. Abschnitt I.2.2 im Theorieteil) und des Rahmenmodells für das Lernen mit Multimedia von Najjar (s. Abschnitt I.2.3.3 im Theorieteil) teilweise integriert werden. Lernende mit geringer räumlicher Expertise können laut CTML auch aus einer „adäquat“ gestalteten interaktiven Animation keinen Nutzen ziehen, da bei ihnen die Fähigkeit, Bilder im visuellen Teil des Arbeitsgedächtnisses zu behalten nicht ausgeprägt genug sei. Für Personen mit sehr hohem räumlichem Vorstellungsvermögen spiele laut des Rahmenmodells von Najjar die Gestaltung der multimedialen Instruktionmaterialien keine Rolle, da sie unabhängig von den Lernmaterialien gute Lernergebnisse erreichen würden.

In Untersuchungen zur Moderatorvariable räumliches Vorstellungsvermögen wird typischerweise ein Median-Split durchgeführt (z.B. Blake, 1977; Mayer & Sims, 1994), um Lernende mit niedrigem räumlichen Vorstellungsvermögen jenen mit hohen räumlichen Kompetenzen gegenüberzustellen. In anderen Studien wird die genaue Vorgehensweise der Dichotomisierung nicht näher spezifiziert (z.B. ChanLin, 2000). Bei der Durchführung eines Median-Splits können drei mögliche Ergebnisse auftreten. Entweder wirkt sich bei einer der beiden gebildeten Gruppen die Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen in stärkerem Maße aus als bei der anderen oder es findet sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied. Alle drei Ergebnisse finden sich in der Literatur (s. Abschnitt 1.5.1).

Denkbar wäre, dass in diesen Studien vornehmlich Lernende mit einem mittleren räumlichen IQ von einer adäquaten Gestaltung des Lernmaterials profitieren. Durch den Median-Split kann ein entsprechendes Untersuchungsergebnis jedoch a priori nicht erreicht werden.

Stattdessen bestünde die Möglichkeit, dass sich in Experimenten, in denen scheinbar Lernende mit niedrigem räumlichem Vorstellungsvermögen von einer adäquaten Gestaltung

einen höheren Nutzen ziehen, die Stichprobe im Durchschnitt aus Probanden mit einem hohen räumlichen Vorstellungsvermögen besteht. In diesem Fall werden durchschnittlich intelligente Versuchsteilnehmer durch den Median-Split nämlich in die Gruppe derer mit niedrigem räumlichen Vorstellungsvermögen zugeordnet. Dies führt dazu, dass sich in dieser Gruppe verstärkt Leistungsunterschiede in Abhängigkeit von der Gestaltung des Lernmaterials zeigen, obgleich hierfür nicht Lernende mit niedrigen räumlichen Kompetenzen, sondern jene mit durchschnittlichem räumlichem Vorstellungsvermögen maßgeblich verantwortlich sind.

Genau umgekehrt könnte es sich möglicherweise bei Befunden verhalten, in denen Versuchspersonen mit hohem räumlichen Vorstellungsvermögen verstärkt von einer adäquaten Gestaltung der Lernumgebung profitieren. Hier könnte durch eine Stichprobe, in der sich geringfügig weniger intelligente Probanden als in der Population vorfinden, und aufgrund des Median-Splits der Eindruck entstehen, dass vornehmlich Lernende mit hohen räumlichen Kompetenzen von der zweckmäßigen Gestaltung des Lernmaterials profitieren. Bei einer entsprechenden Stichprobenszusammensetzung besteht diese Gruppe jedoch vornehmlich aus Probanden mit einem – bezogen auf die gesamte Population – durchschnittlichen räumlichen Intelligenzquotienten.

Im dritten Fall zeigt sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen den durch Median-Split gebildeten Gruppen. Dieser Befund – der auch im vorliegenden vierten Experiment auftritt – könnte darauf hindeuten, dass die Stichprobe aus annähernd durchschnittlich intelligenten (bezogen auf das räumliche Vorstellungsvermögen) Probanden besteht. Tatsächlich können für das räumliche Vorstellungsvermögen, aber auch hinsichtlich des sprachgebundenen Denkens nur leicht überdurchschnittliche Intelligenzleistungen ermittelt werden (s. Abschnitt 1.5.2).

Neben dem in der Literatur häufig anzutreffenden Median-Split, der die uneinheitliche Befundlage zum Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens bedingt haben könnte, sind auch unberücksichtigte Boden- oder Deckeneffekte denkbar, die eine Quelle für Methodenartefakte darstellen. Beispielsweise könnten Lernunterschiede in Abhängigkeit von der Gestaltung des Lernmaterials vornehmlich bei Probanden mit niedrigen räumlichen Vorstellungsvermögen auftreten, weil bei Versuchsteilnehmern mit hohem räumlichen IQ verstärkt Deckeneffekte in Erscheinung treten. Umgekehrt verhält es sich bei Bodeneffekten. Im vierten Experiment können derartige Effekte im Gegensatz zu den meisten Studien in der

Literatur weitgehend ausgeschlossen werden. Eine detaillierte Erörterung hierzu ist im Anhang U zu finden.

Zusammengefasst lässt sich für die erste Hypothese festhalten, dass das räumliche Vorstellungsvermögen der Lernenden den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltens- und Verständnisleistungen von Lerninhalten moderiert, die in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargeboten werden. Dabei profitieren mutmaßlich vor allem Lernende im mittleren bzw. hinsichtlich des Verständnisses im hohen, jedoch nicht sehr hohen IQ-Bereich des räumlichen Vorstellungsvermögens von einer „adäquaten“ Anordnung graphischer Objekte.

Trotz der Plausibilität des Befundes (siehe oben) und der unmittelbaren Möglichkeit, hierdurch die inkonsistente Befundlage zum moderierenden Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens aufzulösen, sollte der gefundene, a priori jedoch in dieser Form nicht vermutete Zusammenhang, in zukünftigen Untersuchungen überprüft und stärker theoretisch eingebettet werden. Dabei zum Einsatz gelangende Datenanalysen mittels neuronaler Netze sollten – wie andere statistische Auswertungsverfahren auch – mit aller Vorsicht verwendet werden.

Hypothese 2

In der zweiten Hypothese wird die Vermutung geäußert, dass ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen von Männern im Vergleich zu Frauen den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisleistungen verursacht.

Wie im Methodenteil (s. Abschnitt 1.5.2) bereits angedeutet, ist die Möglichkeit einer sinnvollen Überprüfung dieser Hypothese aufgrund der starken Konfundierung zwischen Geschlecht und Studienfach nicht gewährleistet. Während die weiblichen Probanden überwiegend Psychologie studieren (75.0%), befinden sich die männlichen vornehmlich in anderen Studienfächern (Anteil männlicher Psychologiestudierender: 20.8%). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse sind daher nur als erste Hinweise zur zweiten Hypothese zu verstehen. Das skizzierte Problem der Konfundierung kann nicht entkräftet werden.

Vergleicht man das räumliche Vorstellungsvermögen zwischen den Geschlechtern, so zeigt sich, dass Männer gegenüber Frauen in der vorliegenden Untersuchung nur über geringfügig höhere räumliche Kompetenzen verfügen. Der Mittelwert beträgt 110.7 ($SD = 10.0$) bei den Männern, während Frauen einen Durchschnittswert von 108.3 ($SD = 10.0$)

erreichen. Dieser geringe Unterschied ($d = 0.24$) verfehlt dabei das Signifikanzniveau von 5% ($t(94) = 1.169$; $p = .246$; $1-\beta = .784$ bei $d = 0.5$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Neben diesem Befund sprechen auch die Ergebnisse des Einflusses der Anordnung graphischer Objekte auf die Lernleistungen gegen die zweite Hypothese. Entgegen der Hypothese zeigt sich, dass in der Stichprobe die unterschiedliche Anordnung bei Männern einen stärkeren Einfluss besitzt als bei Frauen. Für die Behaltenleistungen lässt sich für die männlichen Probanden eine Standardabweichung der vier Mittelwerte von 0.41 ermitteln, wobei die durchschnittliche Standardabweichung innerhalb der Bedingungen $M_{SD} = 1.84$ beträgt. Im Vergleich dazu liegt die Standardabweichung der vier Mittelwerte bei den weiblichen Probanden nur bei 0.18, während die durchschnittliche Standardabweichung innerhalb der Bedingungen mit $M_{SD} = 2.16$ jene der Männer übertrifft. Dieser im Vergleich zu den vorangegangenen drei Experimenten kontrastierende Befund tritt bei den Verständnisleistungen noch deutlicher zutage. Hier liegt die Standardabweichung für die vier Bedingungen der Anordnung graphischer Objekte bei den Männern bei 1.08 ($M_{SD} = 2.34$), bei den Frauen jedoch nur bei 0.32 ($M_{SD} = 2.36$).

Eine inferenzstatistische Analyse erübrigt sich aufgrund der hypothesenkonträren, deskriptivstatistischen Befundlage. Der Vollständigkeit halber sei jedoch angemerkt, dass weder die Behaltens- ($F(3, 88) = 0.427$; $p = .734$), noch die Verständnisleistungen ($F(3, 88) = 1.892$; $p = .137$) signifikant von dem Interaktionseffekt zwischen Geschlecht und Anordnung graphischer Objekte beeinflusst werden. Die Teststärke für einen mittleren Effekt beträgt hier 89.08% bei einem angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5%.

Zusätzlich zu den bisher aufgeführten Analysen kann auch auf die Ergebnisse der ersten Hypothese zurückgegriffen werden. Die Datenanalyse mittels neuronaler Netze deutet darauf hin, dass vornehmlich Personen mit mittlerem (bis hohem) räumlichem Vorstellungsvermögen von der Anordnung graphischer Objekte in ihren Lernleistungen beeinflusst werden. Die ursprüngliche Vermutung, dass die Anordnung graphischer Objekte besonders stark auf die Lernleistungen von Probanden niedriger räumlicher Kompetenzen wirke und somit den moderierenden Geschlechtseffekt bedinge, widerspricht zunächst den Ergebnissen zum räumlichen IQ (siehe Hypothese 1). Hinsichtlich der mathematischen Kompetenz, die eine Korrelation hoher Effektstärke ($r = 0.50$, s. Asendorpf, 2003) mit der mentalen Rotationsfähigkeit aufweist, ist jedoch bekannt, dass männliche Probanden in den Extrembereichen der Verteilung deutlich überrepräsentiert sind. Das bedeutet, dass es

besonders viele männliche Hoch- und Niedrigbegabte gibt, wenngleich der Geschlechtsunterschied nur bei den Hochbegabten substantiell ist (s. Hyde, Fennema & Lamon, 1990). Somit sollte sich beispielsweise bei (hochbegabten) universitären Stichproben wie in der vorliegenden Untersuchung eher ein Unterschied zwischen Männern und Frauen zeigen. Folglich könnte man argumentieren, dass der Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Lernleistungen deshalb in den ersten drei Untersuchungen besonders bei Frauen in Erscheinung tritt, weil diese im mittleren räumlichen Vorstellungsvermögen verstärkt repräsentiert sind. Genau in diesem Bereich scheint der größte Einfluss der Anordnung graphischer Objekte – zumindest auf die Behaltensleistungen – vorzuliegen (s. Hypothese 1).

Die Befunde zu der ersten Hypothese würden zudem erklären, warum vor allem bei den Behaltens- und weniger bei den Verständnisseleistungen Unterschiede zwischen den Geschlechtern vorliegen (s. Abschnitt 1.2.3 und 1.3.3). Hinsichtlich der Verständnisseleistungen ist laut Auswertung mittels neuronalem Netz der Einfluss der graphischen Anordnung im mittleren bis hohen räumlichen IQ besonders stark ausgeprägt. Somit sollten im Vergleich zu den Behaltensleistungen Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Positionierung der graphischen Objekte weniger stark anzutreffen sein.

Dass das räumliche Vorstellungsvermögen für den moderierenden Einfluss des Geschlechts verantwortlich gemacht werden kann, stellt allerdings nur eine allererste Vermutung dar. Letztlich ist auch diese Mutmaßung auf Grundlage der vorliegenden Untersuchung durch die Konfundierung zwischen Geschlecht und Studienfach nicht zu klären und bedarf somit weiterer Experimente zu ihrer Überprüfung.

Für die zweite Hypothese kann zusammenfassend nicht abschließend beantwortet werden, ob ein höheres räumliches Vorstellungsvermögen von Männern im Vergleich zu Frauen den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte des Kausalzusammenhanges und den Lernleistungen verursacht.

Hypothese 3

Die dritte, ungerichtete Hypothese postuliert, dass die Computererfahrung der Lernenden den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltens- und Verständnisseleistungen von Lerninhalten moderiert, die in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargeboten werden.

Auch hier sind zur Überprüfung der Hypothese mehrere Auswertungsoptionen möglich. Zunächst soll analog zur ersten Hypothese ein Median-Split mit anschließender

Kovarianzanalyse getrennt für die Versuchspersonen mit hoher und niedriger Computererfahrung durchgeführt werden (zur Begründung: siehe oben). Abb. 26 und Abb. 27 stellen die Ergebnisse der Median-Splits ($Md = 4$) mit anschließenden Kovarianzanalysen für die Behaltens- und Verständnisleistungen dar.

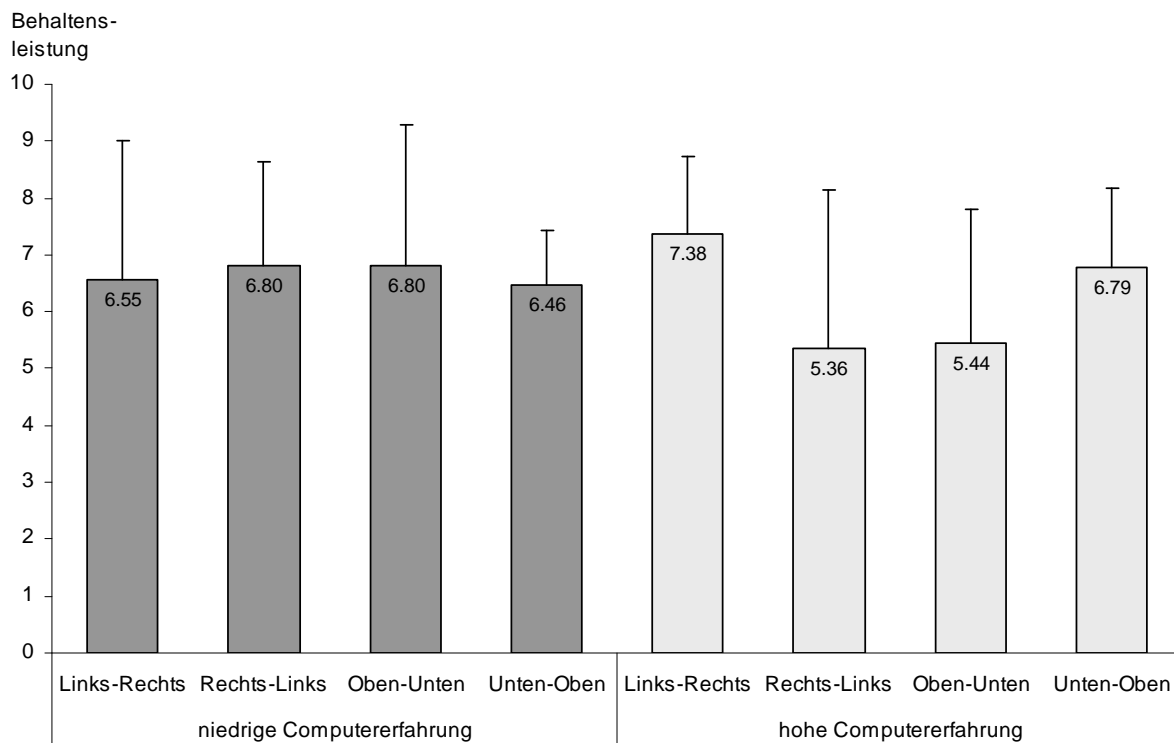


Abb. 26: Säulendiagramm zur Darstellung der Behaltensleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhangs getrennt für Probanden mit niedriger und hoher Computererfahrung ermittelt durch Median-Split. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen. Die durchgeführte Kovarianzanalyse hält bei niedriger Computererfahrung die entsprechenden Werte auf 3.35 konstant, während dieser Wert bei hoher Computererfahrung 5.15 beträgt.

Bei Betrachtung der Behaltensleistungen (s. Abb. 26) fällt zunächst auf, dass die durchschnittlichen Leistungen der vier untersuchten Gruppen für Probanden mit niedriger Computererfahrung relativ ähnlich ausfallen. Die Mittelwerte betragen hier zwischen 6.46 und 6.80 Punkten (SD zwischen 0.96 und 2.48). Im Gegensatz dazu schneiden bei hoher Computererfahrung deskriptivstatistisch die Bedingungen Links-Rechts ($M = 7.38$; $SD = 1.35$) und Unten-Oben ($M = 6.79$; $SD = 1.39$) deutlich besser ab als die Gruppen Rechts-Links ($M = 5.36$; $SD = 2.77$) und Oben-Unten ($M = 5.44$; $SD = 2.37$).

Inferenzstatistisch kann dieser skizzierte Moderatoreffekt nicht abgesichert werden ($F(3, 87) = 1.498$; $p = .220$; $1-\beta = .887$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Selbst der Einbezug weiterer Kovariaten wie das räumliche Vorstellen und sprachgebundene Denken führt nicht zu einem signifikanten Befund, wengleich der ermittelte p -Wert auf .141 sinkt.

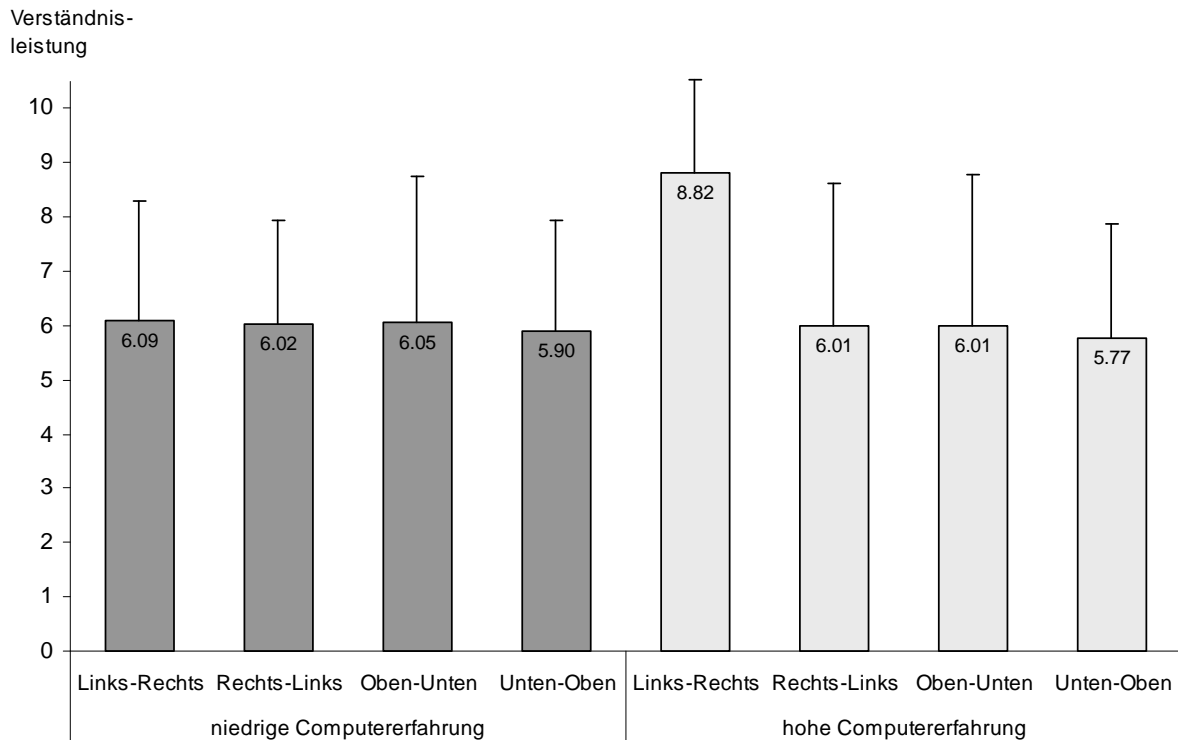


Abb. 27: Säulendiagramm zur Darstellung der Verständnisleistungen für die vier verschiedenen graphischen Anordnungen des dargebotenen Kausalzusammenhanges getrennt für Probanden mit niedriger und hoher Computererfahrung ermittelt durch Median-Split. Die nach oben abgetragenen Fehlerindikatoren der Säulen repräsentieren die Standardabweichungen der Gruppen. Die durchgeführte Kovarianzanalyse hält bei niedriger Computererfahrung die entsprechenden Werte auf 3.35 konstant, während dieser Wert bei hoher Computererfahrung 5.15 beträgt.

Für die Verständnisleistungen zeigt die Abb. 27, dass die Lernleistungen mit Ausnahme der Gruppe Links-Rechts bei hoher Computererfahrung nahezu gleich groß ausfallen. Sie betragen für die sieben Gruppen durchschnittlich zwischen 5.77 und 6.09 Punkten (SD zwischen 1.92 und 2.77). Die Gruppe Links-Rechts bei den Probanden mit hoher Computererfahrung kann hingegen einen deutlich höheren Verständnismittelwert von 8.82 Punkten ($SD = 1.70$) erzielen. Die Berechnung der Effektstärke für die Differenz des Mittelwerts dieser Gruppe zu dem gewichteten, arithmetischen Mittel ($M = 5.98$) der verbleibenden sieben Gruppen lässt einen sehr großen Effekt ($d = 1.25$) erkennen.

Auch für die Verständnisleistung verfehlt der Moderatoreffekt der Computererfahrung auf den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte das 5%-Niveau ($F(3, 87) = 1.498$; $p = .156$; $1-\beta = .887$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Wie bei der Behaltensleistung vermag die Berücksichtigung der weiteren Kovariaten räumliches Vorstellungsvermögen und sprachgebundenes Denken an diesem Umstand nichts zu ändern. Der p -Wert verändert sich nur marginal von .156 auf .128.

Betrachtet man das Ergebnis des durchgeführten Median-Splits mit anschließender Kovarianzanalyse für die Drittvariable Computererfahrung, so könnte man aufgrund der insignifikanten Befunde und der ausreichenden Teststärke den Schluss ziehen, dass die Computererfahrung keinen (bzw. nur einen sehr geringen) moderierenden Effekt auf den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Behaltens- und Verständnisleistungen besitzt. Wie beim räumlichen Vorstellungsvermögen (s. Hypothese 1) ist diese Schlussfolgerung jedoch aufgrund des zustandegewonnenen Informationsverlusts durch die Dichotomisierung der Moderatorvariablen unzulässig (zur näheren Begründung siehe Hypothese 1).

Folglich bietet sich auch hier eine Datenauswertung mittels neuronaler Netze an.

Jedoch kann für die Behaltensleistungen weder mit Hilfe eines neuronalen Netzes noch mit einer herkömmlichen Regressionsanalyse eine befriedigende Varianzaufklärung erzielt werden. Eine Regressionsanalyse mit linearem Modellterm und Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den beiden unabhängigen Variablen kann beispielsweise nur 0.02% (R^2 in Prozent; $df_E=91$; $RMS = 2.044$) der Varianz durch die Prädiktoren aufklären. Dabei erreicht keines der β -Gewichte das 5%-Signifikanzniveau. Auch mittels neuronaler Netze ist es nicht gelungen, substantielle Varianzanteile durch das Modell vorherzusagen. Ebenso führt die Zusammenfassung einzelner Gruppen nicht zu einer Verbesserung der Varianzaufklärung.

Für die Verständnisleistungen können bei Berücksichtigung der Computererfahrung und der vier Bedingungen für die Anordnung graphischer Objekte sowohl mit Hilfe der Regressionsanalyse als auch durch Einsatz eines neuronalen Netzes in Anbetracht von vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen ebenfalls keine zufrieden stellenden Varianzaufklärungen erzielt werden.

Um dennoch eine derartige Analyse mit akzeptabler Varianzaufklärung durchzuführen wird der mit Hilfe des Median-Splits (siehe oben) sowie weiterer deskriptivstatistischer Analysen aufgedeckte Befund herangezogen, dass die Bedingungen Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben untereinander sehr ähnliche Verständnisleistungen aufweisen. Deren durchschnittliche Leistungen werden dabei kaum durch die Computererfahrung moderiert, so dass eine Zusammenfassung dieser drei Gruppen vorgenommen wird. Durch diese Zusammenfassung gelingt es mit Hilfe eines neuronalen Netzes eine Varianzaufklärung von 25.6% (R^2 in Prozent; $df_E=86$; $RMS = 2.376$ ($RMS =$ Standardabweichung für das Gesamtmodell)) zu erzielen. Das Netz wird dabei mit den zwei Prädiktoren

Computererfahrung und Anordnung graphischer Objekte (Links-Rechts im Vergleich zu den anderen drei Bedingungen) als Input gefüttert und besitzt zwei Hidden-Units. Der Output und Zielwert des Netzes wird mit Hilfe der Variable Verständnis gebildet. Zudem kommt eine sigmoide Aktivitätsfunktion zum Einsatz.

Wie in der ersten Hypothese kann der Median-Split somit gewinnbringend im Vorfeld der Datenauswertung mittels neuronaler Netze eingesetzt werden. Eine Regressionsanalyse mit linearem Modellterm und Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen den beiden unabhängigen Variablen kann dagegen lediglich 12.4% (bei $df_E=91$; $RMS = 2.261$) der Varianz durch die Prädiktoren aufklären. Bereits bei dieser Analyse ist das β -Gewicht für den Interaktionseffekt zwischen den beiden Prädiktoren auf dem 1%-Niveau signifikant.

Abb. 28 stellt das Ergebnis des neuronalen Netzes für die Verständnisleistung dar.

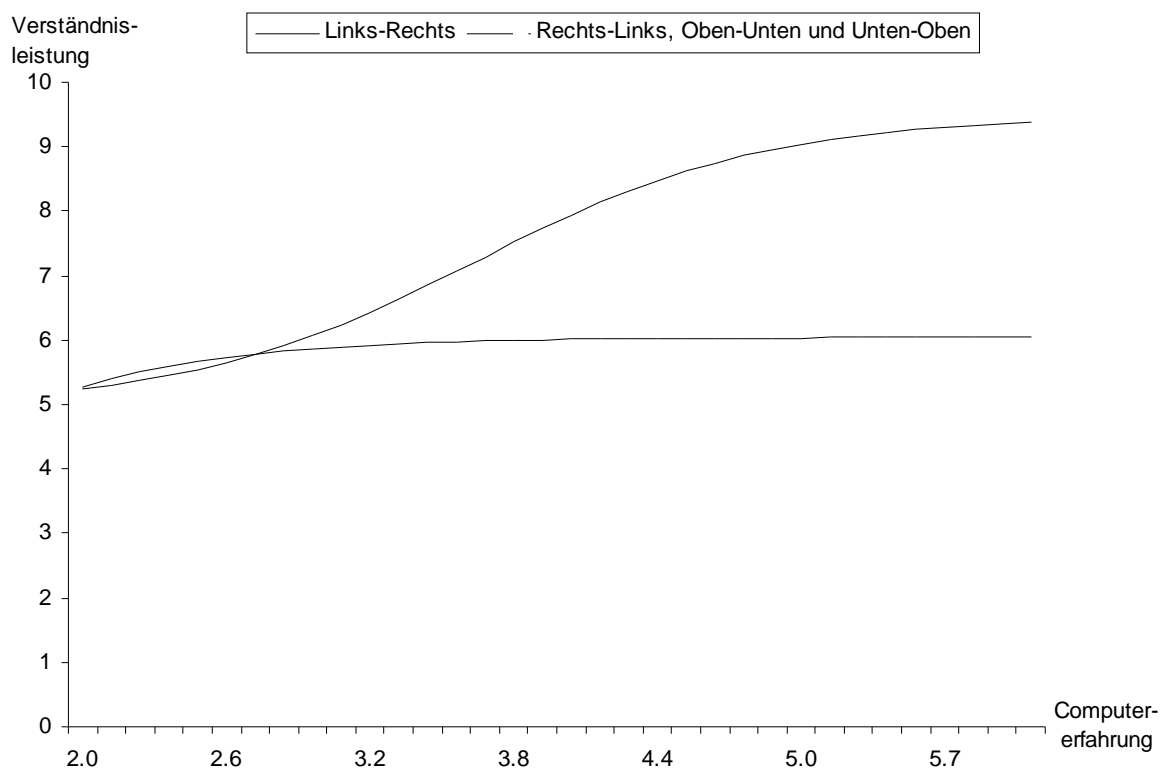


Abb. 28: Liniendiagramm zur Darstellung der vorhergesagten Verständnisleistungen durch das neuronale Netz mit Hilfe der Computererfahrung für die graphischen Anordnungen Links-Rechts und der zusammengefassten Gruppe, die die Bedingungen Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben beinhaltet. Die durch die vorhergesagten Werte erzielte Varianzaufklärung der empirischen Werte beträgt 25.6% (R^2 in Prozent).

Die Abbildung sagt für die drei zusammengefassten Bedingungen Links-Rechts, Oben-Unten und Unten-Oben nahezu unabhängig von der Computererfahrung einen Verständniswert von knapp um 6 Punkten voraus. Dieser Wert ist nur leicht verschieden zu dem zuvor ermittelten gewichteten, arithmetischen Mittel ($M = 5.98$) für die drei Gruppen.

Im Gegensatz dazu werden die Verständniswerte der Gruppe, in der die Leserichtung horizontal eingehalten worden ist, durch die Computererfahrung sehr deutlich moderiert. Der Kurvenverlauf gleicht dabei einer sigmoiden Kurve. Bei niedriger angegebener Computererfahrung von zwei Punkten (in der Versuchsbedingung Links-Rechts gab kein Proband eine niedrigere Computererfahrung an) wird eine geringe Verständnisleistung von ca. 5.3 Punkten vorhergesagt. Dieser Wert steigt mit größer werdender Computererfahrung stetig an und erreicht bei einer Computererfahrung von sechs Punkten (kein Proband gab in dieser Bedingung eine Computererfahrung von sieben Punkten an) einen sehr hohen Verständniswert von 9.4. Dieser Wert übertrifft noch jenen sehr hohen Wert, der mit Hilfe des Median-Splits unter der Bedingung Links-Rechts bei Versuchsteilnehmern mit hoher Computererfahrung ermittelt worden ist ($M = 8.82$; $SD = 1.70$). Die stärkste Steigung nimmt die sigmoid aussehende Kurve bei einer Computererfahrung von ca. 4 Punkten an.

Interpretiert und verallgemeinert werden könnte der durch das neuronale Netz prognostizierte Zusammenhang wie folgt: Sehr niedrige Kenntnisse mit dem Medium Computer führen dazu, dass Probanden nicht von einer adäquaten Gestaltung interaktiver, am PC dargebotener Visualisierungen (z.B. die Beachtung der Leserichtung) profitieren. Eine höhere Computererfahrung der Probanden geht nur dann mit einem besseren Verständnis der multimedial präsentierten Lerninhalte einher, wenn diese Darstellungskonventionen wie beispielsweise die Leserichtung einhalten. Bei Kombination dieser beiden Faktoren (Einhalten der Leserichtung und hohe Computererfahrung) können sehr hohe Verständnisleistungen erzielt werden (s. Abb. 28). Damit stimmen die gefundenen Ergebnisse mit Hilfe des Median-Splits tendenziell mit jenen der Datenauswertung mittels eines neuronalen Netzes überein.

Möglicherweise haben Personen mit hoher Computererfahrung bereits spezifische Erwartungen entwickelt, in welcher Form ein Kausalzusammenhang am PC dargeboten wird. Diese Erwartungshaltung scheint jedoch nur die Verständnisleistung zu beeinflussen und nicht die – kognitiv vermutlich weniger anspruchsvolle – Behaltensleistung. Weitere Untersuchungen müssten klären, ob unterschiedliche Erwartungen diesen Moderatoreffekt verursachen und warum hiervon lediglich die Verständnisleistungen betroffen sind.

Zusammengefasst lässt sich für die dritte Hypothese festhalten, dass die Computererfahrung der Lernenden lediglich den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Verständnisleistungen von Lerninhalten moderiert, die in dynamischen, interaktiven Visualisierungen dargeboten werden. Diesbezüglich zeigt sich, dass mit

ansteigender Computererfahrung der Unterschied zwischen der Einhaltung der Leserichtung in horizontaler Richtung im Vergleich zu den drei anderen Anordnungen zunimmt. Dieses Ergebnis ergibt sich sowohl durch die Analyse mittels Median-Splits als auch aufgrund der neuronalen Netze Auswertung.

Hypothese 4

Die vierte Hypothese geht davon aus, dass eine höhere Computererfahrung von Männern im Vergleich zu Frauen den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisleistungen verursacht.

Wie für die zweite Hypothese (siehe oben) ist auch hier die Möglichkeit einer sinnvollen Überprüfung nicht gewährleistet, da eine deutliche Konfundierung zwischen Geschlecht und Studienfach vorliegt (s. Abschnitt 1.5.2). Die im Folgenden berichteten Ergebnisse verstehen sich daher lediglich als erste Hinweise, die für die Hypothese relevant sind. Das Problem der Konfundierung wird nicht entkräftet.

In der zweiten Hypothese wurde bereits ausführlich dargelegt, dass der Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Lernleistungen bei Frauen nicht größer ausfällt als bei Männern (siehe oben). Dieser Befund, der im Widerspruch zu den vorangegangenen Untersuchungen steht, könnte als Beleg gegen die vierte Hypothese angeführt werden.

Des Weiteren spricht auch das Ergebnis zu der dritten Hypothese gegen die Behauptung der vierten Hypothese. Dort zeigt sich, dass die Computererfahrung lediglich den Einfluss der Anordnung graphischer Objekte auf die Verständnisleistungen, nicht auf die Behaltensleistungen moderiert. Dies steht nicht nur im Widerspruch zur vierten Hypothese, sondern auch zu den Ergebnissen aus den ersten drei Untersuchungen (s. Abschnitte 1.2.3, 1.3.3 u. 1.4.3), in der insbesondere bei den Behaltensleistungen ein moderierender Einfluss des Geschlechts detektiert werden konnte. Selbst bei Betrachtung der Verständnisleistungen zeigt sich, dass Probanden mit hoher Computererfahrung verstärkt vom Einhalten der Leserichtung in horizontaler Richtung profitieren (siehe oben). Nur wenn man von mehr Computererfahrung bei Frauen als bei Männern ausginge, könnte die Computererfahrung für den moderierenden Einfluss des Geschlechts verantwortlich gemacht werden. In der vorliegenden Untersuchung geben Männer jedoch eine höhere Selbsteinschätzung ihrer Computerkenntnisse ($M = 4.23$; $SD = 1.03$) im Vergleich zu Frauen ab ($M = 3.73$; $SD = 1.12$). Dieser deskriptivstatistisch gefundene Unterschied ($d = 0.47$) mittlerer Effektstärke lässt sich auch inferenzstatistisch absichern ($t(93) = 2.284$; $p = .025$).

Zusammengefasst kann aufgrund der anfänglich angesprochenen Konfundierung zwischen Studienfach und Geschlecht nicht abschließend beantwortet werden, ob eine höhere Computererfahrung von Männern im Vergleich zu Frauen vorliegt. Selbiges gilt für die darauf aufbauende Vermutung, dass die unterschiedliche Computererfahrung den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Zusammenhang zwischen der Anordnung graphischer Objekte des Kausalzusammenhanges und den Behaltens- und Verständnisleistungen verursacht. Zu vermuten ist aber aufgrund der skizzierten Ergebnisse, dass die Computererfahrung nicht ursächlich für den moderierenden Einfluss des Geschlechts verantwortlich ist.

1.6. Diskussion

In der ersten Experimentalserie ist die Positionierung und Organisation einzelner graphischer Objekte in multimedialen Lernumgebungen untersucht worden.

Dabei tritt der Leserichtungseffekt bei horizontaler Anordnung graphischer Objekte in interaktiven Animationen bei Frauen, nicht bei Männern in Erscheinung. Die Befundlage für den Vergleich zwischen horizontaler und vertikaler Positionierung eines Kausalzusammenhanges ist über die vier Experimente hinweg uneinheitlich. Während Frauen im zweiten Experiment signifikant bessere Lernleistungen unter der Bedingung der horizontalen Beachtung der Leserichtung erzielen können, zeigen sich im dritten Experiment bei den Verständnisleistungen deskriptivstatistisch leichte Leistungsvorteile bei vertikaler Anordnung der Ursache-Wirkungs-Beziehung. Eine endgültige Erklärung für den moderierenden Einfluss des Geschlechts auf den Leserichtungseffekt kann die vierte Untersuchung aufgrund der auftretenden Konfundierung zwischen Geschlecht und Studienfach nicht erbringen.

Die Ergebnisse des vierten Experiments deuten jedoch darauf hin, dass der Moderatoreffekt des Geschlechts vermutlich nicht auf unterschiedliche Computererfahrung zwischen Männern und Frauen zurückzuführen sein dürfte. Bezüglich dieser zeigt sich für die Behaltensleistung der Probanden kein substantieller Zusammenhang. Für die Verständnisleistungen ergibt sich folgendes Bild: Je höher die selbsteingeschätzte Computererfahrung der Lernenden, desto stärker profitieren diese von der Einhaltung der Leserichtung von links nach rechts im Vergleich zu den anderen drei Anordnungsmöglichkeiten. Die Computererfahrung scheint im Gegensatz zur Bedingung

Links-Rechts die Verständnisleistungen unter den drei anderen Positionierungsoptionen (Rechts-Links, Oben-Unten und Unten-Oben) nicht zu beeinflussen.

Neben der Computererfahrung wird im vierten Experiment versucht, das räumliche Vorstellungsvermögen als Erklärungsmodell für den Geschlechtseffekt im Zusammenhang mit dem Einfluss der graphischen Anordnung und den Lernleistungen heranzuziehen. Bezüglich der Behaltensleistungen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass vornehmlich Probanden mit mittleren räumlichen Kompetenzen von einer „adäquaten“ Anordnung graphischer Objekte profitieren. Für die Verständnisleistungen ist der IQ-Bereich, in dem die Probanden von der Anordnung Links-Rechts im Vergleich zu den drei anderen Darstellungsmöglichkeiten des Kausalzusammenhanges profitieren, in den mittleren bis hohen Wertebereich hin verschoben. Bezogen auf den Geschlechtseffekt ist beispielsweise denkbar, dass dieser aufgrund der unterschiedlichen Verteilung des räumlichen Vorstellungsvermögens zustande gekommen sein könnte. Männer profitieren möglicherweise deshalb nicht von der Beachtung der Leserichtung, da sie im Vergleich zu Frauen im mittleren IQ-Bereich des räumlichen Vorstellungsvermögens leicht unterrepräsentiert sind. Wie bei der Computererfahrung kann aufgrund der Konfundierung zwischen Geschlecht und Studienfach diese Fragestellung nicht abschließend beantwortet werden. Zur Klärung sind weitere Untersuchungen notwendig, in denen nach Möglichkeit weitere Erklärungsansätze für den gefundenen Geschlechtseffekt herangezogen werden sollten. So wäre beispielsweise die Erfassung motivationaler Prozesse denkbar, die sich zwischen den Geschlechtern unterscheiden könnten.

Neben dem Geschlechtseffekt wird in dem ersten Experiment dieser Untersuchungsserie das Signalisierungsprinzip (s. Abschnitt I.2.2.5 im Theorieteil) der CTML von Mayer (2005d) in interaktiven Animationen bestätigt. Signalisierungen fördern die Verständnisleistung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in interaktiven Animationen. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass Probanden, die keine leserichtungsanzeigenden Signalisierungen erhalten, die interaktive Animation länger betrachten, was sowohl ihre ungünstigere Ausgangslage als auch den Leserichtungseffekt für die Behaltensleistung kompensiert.

Als praktische Implikation für die Gestaltung von interaktiven Animationen lässt sich festhalten, dass Kausalzusammenhänge in interaktiven Animationen von links nach rechts und mit leserichtungsanzeigenden Signalisierungen dargeboten werden sollten. Hierbei ist zu bedenken, dass nicht jede Personengruppe von einer derartigen Anordnung der Ursache-

Wirkungs-Beziehung profitiert. Jedoch kann in keinem der vier Experimente inferenzstatistisch nachgewiesen werden, dass eine solche Anordnung für bestimmte Gruppen negative Auswirkungen auf die Lernleistungen im Vergleich zu anderen Positionierungsmöglichkeiten mit sich bringt. Somit spricht zumindest nichts dagegen, Kausalzusammenhänge für alle Personen horizontal und in Leserichtung anzuordnen.

In den vier vorgestellten Untersuchungen zum Leserichtungseffekt in interaktiven Animationen wird primär der Frage nachgegangen, ob und bei welchen Personengruppen (z.B. Männer oder Frauen) sich eine unterschiedliche räumliche Anordnung graphischer Objekte auf die Lernleistungen auswirkt. Zukünftige Arbeiten sollten sich verstärkt der Frage widmen, warum der Leserichtungseffekt bei diesen Personengruppen in unterschiedlichem Ausmaß in Erscheinung tritt. Das letzte Experiment der vorliegenden Untersuchungsserie stellt lediglich einen ersten Schritt in diese Richtung dar, indem hier mögliche moderierende Einflüsse des räumlichen Vorstellungsvermögens und der Computererfahrung in Betracht gezogen werden. Warum sich diese in der dargestellten Art und Weise auf den Leserichtungseffekt auswirken, sollte Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten sein. Zudem sollte in weiteren Arbeiten zum Leserichtungseffekt besonderes Augenmerk auf die theoretische Einbettung des Effektes gelegt werden.

2. Reset-Button & seductive details

Die zweite Untersuchungsserie beschäftigt sich mit ausgewählten interaktiven Elementen in Animationen und deren Einfluss auf Lernleistungen ihrer Benutzer. Im fünften Experiment (s. Abschnitt 2.1) wird geprüft, wie sich die Existenz eines Reset-Buttons und interaktiver seductive details in dynamischen Visualisierungen auf die Behaltens- und Verständnisseleistungen der Probanden auswirken. Zwischen der Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons und den Lernleistungen sowie zwischen der mit der Animation verbrachten Zeit und den Behaltensleistungen der Lernenden zeigen sich korrelative Zusammenhänge. Diese a priori nicht vermuteten Korrelationen werden in der sechsten Untersuchung (s. Abschnitt 2.2) aufgegriffen und an einem neuen Datensatz überprüft. Das abschließende siebte Experiment (s. Abschnitt 2.3) untersucht, welche Instruktionshinweise die Nutzungshäufigkeit und Lernleistungen in interaktiven Animationen positiv beeinflussen.

2.1. Experiment 5 (Reset-Button & seductive details)

2.1.1. Einleitung

Im fünften Experiment soll geprüft werden, inwieweit Reset-Button und interaktive seductive details, die in einer interaktiven Animation eingebettet werden, die Lernleistungen der dargebotenen Inhalte beeinflussen.

Empirische Untersuchungen zur Fragestellung, ob und wie sich ein Reset-Button in interaktiven Animationen auf die Leistungen der Lernenden auswirkt, sind bislang nicht zugänglich. Ein in einer interaktiven Visualisierung enthaltener Reset-Button soll in der vorliegenden Arbeit allgemein als Taste definiert werden, deren Betätigung dazu führt, dass entweder alle veränderbaren Parameter und/oder die Visualisierung selbst auf den Ausgangszustand zurückgesetzt werden. In der interaktiven Animation des fünften Experimentes dient der Reset-Button lediglich dazu, die Visualisierung auf ihren Ausgangszustand zurückzusetzen. Eine detailliertere Beschreibung zur Funktionsweise des Reset-Knopfes ist dem Methodenteil (s. Abschnitt 2.1.2) zu entnehmen. Vermutet wird, dass der Reset-Button als eine spezifische Form der Lernerkontrolle in der dynamischen Visualisierung zu einer besseren Vergleichsmöglichkeit verschiedener Parameterzustände beiträgt (vgl. z.B. Rößling & Naps, 2002). Durch diesen einfacheren Vergleich können Lernende Hypothesen über die Auswirkungen unterschiedlicher Parameterzustände möglicherweise leichter generieren und überprüfen. Der Schemaerwerb (vgl. Abschnitt I.2.1.2 des Theorieteils) über den in der Visualisierung dargebotenen Sachverhalt sollte begünstigt werden. In Ermangelung theoretischer und empirischer Arbeiten zu kognitiven Effekten eines Reset-Buttons stellen die genannten Auswirkungen lediglich erste Überlegungen dar, die in dieser zweiten Untersuchungsserie noch eingehender zu überprüfen sind. Für das fünfte Experiment wird auf Grundlage der oben ausgeführten Überlegungen vermutet, dass in dynamischen interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte besser verstanden werden, wenn dort ein Reset-Button enthalten ist.

Seductive details können als interessante, aber für das eigentliche Thema irrelevante oder unwichtige Zusätze definiert werden. Als seductive details Effekt bzw. als Kohärenzprinzip bezeichnet man den lernhinderlichen Effekt, der durch das Hinzufügen derartiger Lernmaterialien zustande kommt. Beispiele für solche Zusätze können Hintergrundmusik aber auch interessante Geschichten oder Bilder in einer multimedialen Lernumgebung sein, die für das Verständnis des eigentlichen Lernstoffes entbehrlich sind. Anders als beim Reset-

Buttons finden sich zu diesem Themenbereich zahlreiche Untersuchungen (s. Abschnitt I.2.2.5 des Theorieteils).

Als Erklärung für den seductive detail Effekt wird in der CTML (s. Abschnitt I.2.2 des Theorieteils) derzeit das begrenzte Arbeitsgedächtnis herangeführt, das durch die ergänzenden Inhalte leicht überlastet werden kann. Die dadurch fehlenden kognitiven Ressourcen für die Beschäftigung mit den Kerninhalten reduzieren in der Folge deren Verständnis. Um diesen lernbeeinträchtigenden Effekt zu verhindern, sollte auf derartige Zusatzmaterialien verzichtet werden. Dies erleichtere nach Mayer und Moreno (2003) zugleich den Prozess, relevante Informationen aus dem Lernstoff herauszufiltern.

Wie im Theorieteil ausführlich dargelegt (vgl. Abschnitt I.2.2.5) ist die Befundlage zum seductive detail Effekt höchst uneinheitlich (Interessanterweise vermutete Vernon bereits 1953, dass seductive details - damals noch nicht unter dieser Bezeichnung bekannt - konträre Effekte verursachen könnten). Daher sollen in dieser fünften Untersuchung interaktive seductive details näher betrachtet werden. In Abgrenzung zu herkömmlich untersuchten seductive details werden hier unter interaktiven seductive details interessante, aber für die eigentlichen Lerninhalte irrelevante oder unwichtige Zusätze verstanden, mit denen der Lernende interagieren kann, beispielsweise wäre die Veränderung des Farbschemas einer Visualisierung zu nennen.

In Anlehnung an die CTML (s. Abschnitt I.2.2 des Theorieteils) wird für das fünfte Experiment angenommen, dass interaktive seductive details die Lernleistungen von Inhalten reduzieren, die in interaktiven Animationen dargeboten werden.

2.1.2. Methode

Versuchsdesign

Der Untersuchung lag ein zweifaktorieller, je zweifach gestufter, vollständig gekreuzter, bivariater Zufallsversuchsplan zugrunde (siehe Tabelle 11).

Die erste unabhängige Variable bezog sich auf das Vorhandensein eines Reset-Buttons in der interaktiven Animation, so dass auf der ersten Faktorstufe ein Reset-Button dargeboten wurde, auf der zweiten nicht. Die zweite unabhängige Variable umfasste die Existenz von seductive details. Auf der ersten Faktorstufe waren interessante, aber für das eigentliche (Lern-)Thema irrelevante bzw. unwichtige Zusätze in der Visualisierung nicht vorhanden, die zweite Stufe enthielt derartige seductive details.

Die Versuchsteilnehmer wurden zufällig auf die vier verschiedenen Bedingungen verteilt.

Die erste abhängige Variable erfasste die Behaltensleistung aller Probanden hinsichtlich der dynamischen, interaktiven Visualisierung, die zweite abhängige Variable bezog sich auf deren Verständnisleistung.

Tabelle 11: 2x2-faktorieller, bivariater (Behalten und Verstehen) Zufallsversuchsplan.

		UV ₂ (seductive details)			
		nicht vorhanden		vorhanden	
UV ₁ (Reset-Button)	mit Reset-Button	\bar{Y}_{111}	\bar{Y}_{112}	\bar{Y}_{121}	\bar{Y}_{122}
	ohne Reset-Button	\bar{Y}_{211}	\bar{Y}_{212}	\bar{Y}_{221}	\bar{Y}_{222}

Versuchsmaterial

Zur Überprüfung der aufgeführten Hypothesen (s. Abschnitt 2.1.1) kam ein speziell für diese Untersuchung konzipiertes Computerprogramm zum Einsatz.

Wie in der ersten Untersuchungsserie (s. Abschnitt 1) konnte auf die in Visual Basic 6 programmierte multimediale Lernumgebung „Neuronale Netze – Eine Einführung“ zurückgegriffen werden. Der verwendete Lerntext ist mit Ausnahme der ersten Lerntextseite unter der Web-Adresse www.neuronalesnetz.de (Folie 29 bis 33) abrufbar (Stand: 23.7.2007).

Die Entwicklung des Computerprogramms für die zweite Untersuchungsserie mit den darin enthaltenen Behaltens- und Verständnisfragen glich in großen Teilen der des ersten Experiments der ersten Untersuchungsserie (s. Abschnitt 1.2.2).

Das Computerprogramm umfasste insgesamt acht, teilweise illustrierte Textseiten, eine Seite, auf der die interaktive Animation präsentiert wurde sowie vier weitere Bildschirmseiten, die die Behaltens- und Verstehensfragen enthielten (s. Anhang V bis Anhang BB). Die letzten drei Seiten beinhalteten Fragen des NASA-TLX (s. a. Abschnitt I.2.1.4 des Theorieteils) von Hart und Staveland (1988), Fragen zur subjektiven Einschätzung der dynamischen, interaktiven Visualisierung und zu persönlichen Angaben (s. Anhang CC bis Anhang EE). Die vier verschiedenen Versuchsbedingungen unterschieden sich ausschließlich in der interaktiven Animation.

Auf der Einführungsseite wurde dem Probanden wie in der ersten Experimentalserie (s. Abschnitt 1.2.2) nach einer kurzen Begrüßung und Danksagung für die Versuchsteilnahme ein Überblick über die Versuchsdurchführung verschafft. Es wurde explizit darauf hingewiesen, den Lehrtext sorgfältig zu studieren, die interaktive Animation genau zu betrachten und eigenständig damit zu experimentieren (zur Begründung s. Abschnitt 1.2.2). Die Versuchsperson wurde ferner darauf aufmerksam gemacht, dass weder für Lehrtext und interaktive Animation noch für die anschließenden Fragen eine Zeitbegrenzung existiere. Auf der Einführungsseite wurde außerdem betont, dass das Anfertigen von Notizen nicht gestattet und ein Zurückspringen zu einer vorangegangenen Folie nicht möglich sei. Nach dem Hinweis, dass der Versuchsleiter bei Rückfragen jederzeit zur Verfügung stünde, konnte die Versuchsperson durch Betätigen der „Weiter-Taste“ die erste Lerntextseite aufrufen.

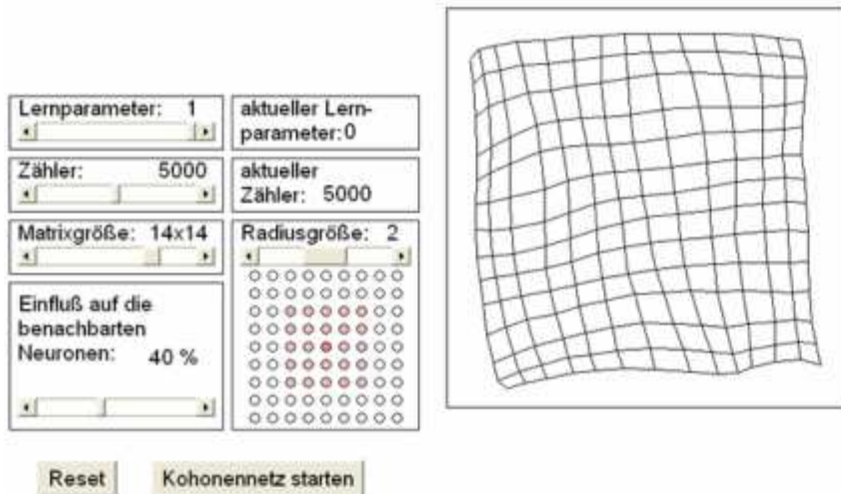
Es folgten sechs der insgesamt sieben Lerntextseiten, in denen auf der ersten Seite eine komprimierte Einführung in die Grundlagen neuronaler Netze dargeboten wurde. Auf den folgenden fünf Lerntextseiten wurden bestimmte Arten neuronaler Netze, nämlich kompetitive Netze und Kohonennetze, näher erörtert (eine Untersuchung zu einem ähnlichen Themengebiet findet sich im vierten Experiment von Goldstone & Sakamota, 2003). Der Versuchsteilnehmer konnte dabei selbstständig die nächste Seite durch Betätigung der „Weiter-Taste“ aufrufen.

Unmittelbar vor Darbietung der interaktiven Animation wurde auf einer separaten Seite erneut auf die Wichtigkeit der dynamischen Abbildung für die im Anschluss gestellten anspruchsvollen Fragen verwiesen. Der Proband wurde angehalten, durch ausgiebiges Verändern der zur Verfügung stehenden Schieberegler selbst aktiv zu werden und die resultierenden Auswirkungen auf das sich ausbildende Kohonennetz genauestens zu beobachten. Zudem wurde auf die Variationsmöglichkeit der meisten Parameter auch während der Ausbildung des Kohonennetzes hingewiesen. Im Anschluss folgte die Präsentation der dynamischen, interaktiven Visualisierung, deren Ziel es war, dem Lernenden ein tieferes Verständnis zu den im Text bereits aufgeführten und beschriebenen Parametern eines Kohonennetzes zu vermitteln.

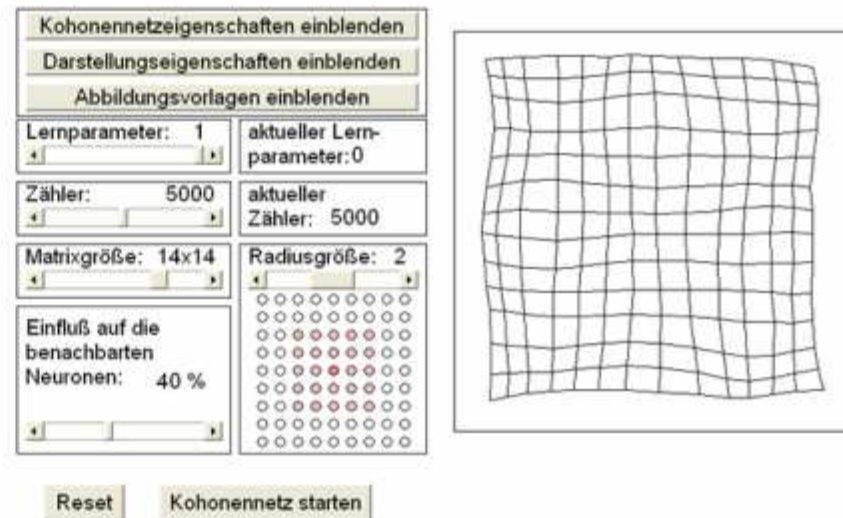
Die Animation bestand aus mehreren, auf der linken Seite befindlichen Parametern, die der Lernende mit Hilfe von Schiebereglern verändern konnte (s. Abb. 29). Die Schieberegler waren beschriftet, wobei den Probanden Veränderungen nicht nur durch den Regler selbst, sondern auch numerisch angezeigt wurden.

Modifiziert werden konnte der Lernparameter (der Regler konnte Werte zwischen 0.1 und 1 annehmen) des Kohonennetzes, der Zähler des Netzes, der die Anzahl an Trainingsdurchläufen bestimmte und dessen Werte von 1 bis 10000 reichten sowie die Matrixgröße (entspricht der Anzahl an Outputneuronen), wobei quadratische Matrizen der Größe 8 bis 16 mit Hilfe des Reglers ausgewählt werden konnten. Darüber hinaus ließ sich der Einfluss der Gewinner-Unit auf die benachbarten Neuronen im Rahmen von 0% bis 100% einstellen sowie die Radiusgröße (= Größe der ausgewählten Nachbarschaft), die von 1 bis 3 reichte. Die Radiusgröße wurde außerdem in Form einer Punktematrix visualisiert (s. Abb. 29).

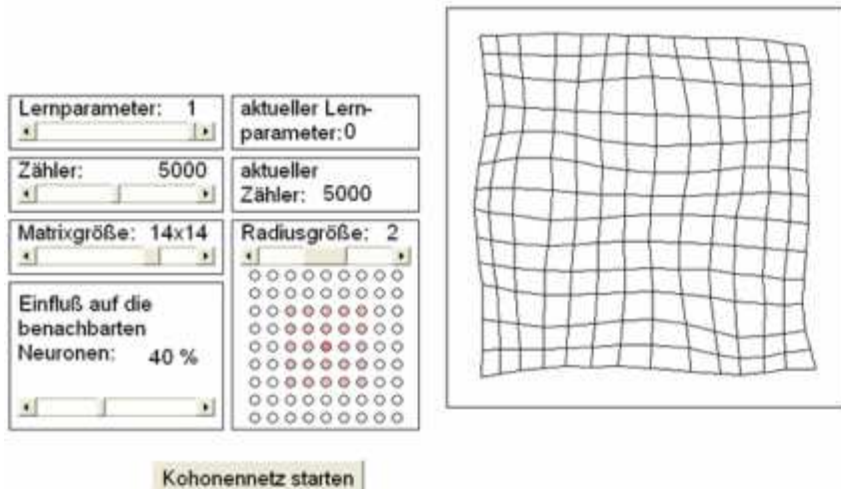
Durch Betätigen des Buttons „Kohonennetz starten“ wurde das neuronale Netz – als Gitterstruktur in einem Quadrat auf der rechten Seite neben den Parametereinstellungen visualisiert – zur Entfaltung gebracht. Neben dem Kohonennetz selbst veränderten sich auch der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler, die in einem beschrifteten Kasten numerisch dargestellt wurden.



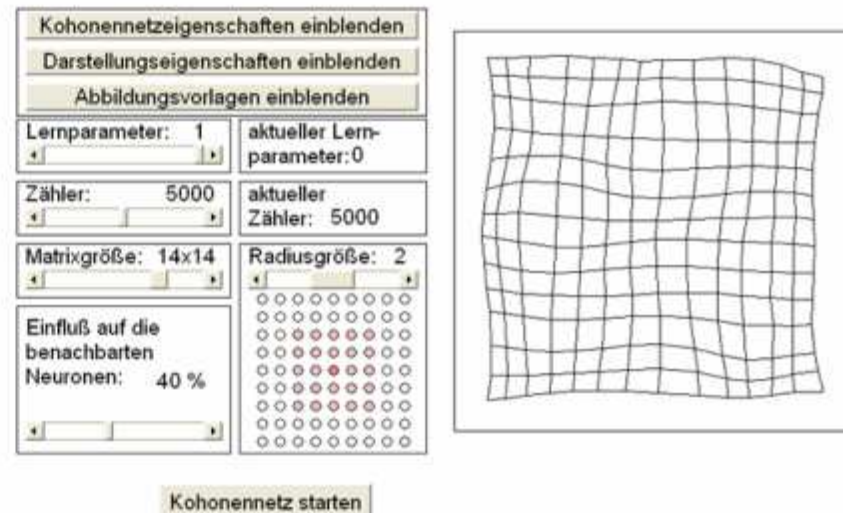
Bedingung 1: Mit Reset-Button und ohne seductive details



Bedingung 2: Mit Reset-Button und mit seductive details



Bedingung 3: Ohne Reset-Button und ohne seductive details



Bedingung 4: Ohne Reset-Button und mit seductive details

Abb. 29: Vergleich der vier verschiedenen Untersuchungsbedingungen. Die genaue Beschreibung der interaktiven Animation ist dem Text zu entnehmen.

Die vier verschiedenen Versuchsbedingungen unterschieden sich lediglich hinsichtlich des Vorhandenseins eines Reset-Buttons sowie der Existenz von seductive details.

In den beiden Bedingungen „Vorhandensein eines Reset-Buttons“ befand sich dieser unmittelbar links vom Knopf, mit dem das Kohonennetz gestartet werden konnte.

Die Reset-Taste diente dazu, die Gewichte des Kohonennetzes wieder auf Null zurückzusetzen, so dass neue Startgewichte für das Kohonennetz generiert wurden, die Werte annahmen, die geringfügig um den Wert Null herum variierten. Der Wert Null befand sich in der interaktiven Animation exakt in der Mitte des Quadrates, welches das Kohonennetz visualisierte. Die geringe Variation der Gewichte um den Wert Null war bei Initiierung der Startgewichte notwendig, da ansonsten alle Neuronen die gleiche Ähnlichkeit zu jedem beliebigen Inputmuster aufweisen würden. Folglich hätte man kein spezifisches Neuron mehr als Gewinner-Unit ermitteln können und die charakteristische Gitterstruktur des Kohonennetzes hätte sich nicht mehr ausgebildet. Der Reset-Knopf setzte somit das Kohonennetz selbst auf den Ausgangszustand zurück, während sämtliche Parameter unabhängig vom Betätigen des Buttons ihre Werte beibehielten.

Wurde das Kohonennetz gestartet, so bildete sich die Gitterstruktur von der Mitte des Quadrates aus, sofern der Reset-Button zuvor betätigt wurde oder der Benutzer das Netz zum ersten Mal berechnen ließ. In allen anderen Fällen entwickelte sich eine neue Gitterstruktur aus der bereits bestehenden heraus.

Der zweite Faktor „Existenz von seductive details“ wurde durch die Möglichkeit zur Manipulation verschiedener Darstellungseigenschaften und Abbildungsvorlagen realisiert.

Auf der ersten Faktorstufe, in der keine seductive details enthalten waren, fehlten die Buttons „Darstellungseigenschaften einblenden“ und „Abbildungsvorlagen einblenden“ (s. Abb. 29). Auf der zweiten Faktorstufe, welche die Existenz von seductive details vorsah, konnten die beiden Optionen angeklickt werden.

Bei Betätigen des Knopfes „Darstellungseigenschaften einblenden“ verschwanden die Einstellmöglichkeiten für die oben aufgeführten Parameter, die Schieberegler konnten jedoch jederzeit durch Drücken des Buttons „Kohonennetzeigenschaften einblenden“ wieder aufgerufen werden. An ihrer Stelle konnte der Benutzer drei seductive details abrufen: die Bildgröße für das visualisierte Kohonennetz, sowie die Bildfarbe und Liniendicke des Gitternetzes. Bildgröße und Liniendicke konnte mit Hilfe von Schiebereglern manipuliert werden, während die Auswahl der 12 zur Verfügung stehenden Bildfarben mit Hilfe von Radio-Buttons erfolgte. Anhang Y zeigt das Untermenü dieser Darstellungseigenschaften.

Auch beim Drücken des zweiten Knopfes „Abbildungsvorlagen einblenden“ verschwanden die Parametereinstellungen zeitweilig. An ihrer Stelle bestand für den Lernenden die Möglichkeit zwischen acht verschiedenen Abbildungsvorlagen zu wählen (s. Anhang Z), die das Kohonennetz anpassen sollte. Die einzelnen Vorlagen wurden dem Benutzer mit Hilfe von Tooltips – kleinen Informationsfenstern, die angezeigt werden, wenn der Mauszeiger eine gewisse Zeit über dem entsprechenden Objekt verbleibt – näher erläutert.

Sämtliche andere Elemente waren in allen vier Versionen identisch. Die Unterschiede der vier Versuchsbedingungen werden in Abb. 29 dargestellt. Im Anschluss an die dynamische, interaktive Visualisierung erfolgte die Präsentation der letzten Lerntextseite, in der die diversen Anwendungsmöglichkeiten von Kohonennetzen aufgeführt wurden (s. Anhang AA).

Auf den nachfolgenden vier Bildschirmseiten befanden sich insgesamt zehn Fragen zum Behalten und sieben weitere zum Verständnis des dargebotenen Kausalzusammenhanges im Multiple-Choice Format (s. a. Anhang BB). Die Anzahl der Antwortmöglichkeiten pro Frage variierte dabei wie schon in der ersten Experimentalserie (s. Abschnitt 1.2.2) zwischen zwei und fünf, wobei immer nur eine der vorgegebenen Antworten richtig war. Die sieben Multiple-Choice Fragen zum Verständnis wurden um drei weitere Fragen mit offenem Antwortformat ergänzt, bei dem die Probanden als Antwort Zahlen in dafür bereitgestellte Textfelder eintragen sollten. Die selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang BB zu entnehmen. Beispielhaft sei an dieser Stelle die Behaltensfrage "In welchem Bereich konnten Sie den Einfluss auf die benachbarten Neuronen variieren?" aufgeführt. Zur Beantwortung dieser Frage ist es ausreichend, die entsprechende Information, die in der Animation dargeboten wurde, zu speichern und die korrekte Antwort der Multiple-Choice Aufgabe wieder erkennen zu können. Im Gegensatz dazu ist z.B. für die Verständnisfrage "Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 50% auf -50% setzen würde?" eine Schlussfolgerung aus den präsentierten Informationen zu ziehen, da in der Visualisierung der Einfluss auf die benachbarten Neuronen nicht auf -50% gesetzt werden konnte (zur genaueren Unterscheidung von Behalten und Verstehen vgl. auch Abschnitt I.1.1 des Theorieteils).

Nach diesen Lernfragen sollten die sechs Fragen des NASA-TLX (s. Anhang CC) beantwortet werden. Dabei wurden lediglich die sechs Fragen mit ihren 20-stufigen Likert-Skalen dargeboten. Auf die zweite Phase des Fragebogens wurde bewusst verzichtet. Diese

besteht aus 15 Paarvergleichen, in denen die Versuchspersonen beurteilen sollen, welche Dimension für sie im Hinblick auf die Beanspruchungsbewertung bei der beurteilten Aufgabe wichtiger ist. Durch diese Paarvergleiche kann eine Rangreihe der Dimensionen gebildet werden, dessen Werte als Gewichtskoeffizienten für die individuellen Skalenwerte dienen. Eine Untersuchung von Pfendler (1991) zeigt jedoch, dass mit der ungewichteten Mittelwertbildung der sechs Skalen eine bessere Differenzierung und bessere Testgütekriterien erzielt werden als mit dem gewichteten Verfahren. Zudem korrelieren gewichtete und ungewichtete Werte zu $r = .94$. Folglich wurde aus Gründen der Testgüte und -ökonomie auf die Durchführung der 15 Paarvergleiche verzichtet.

Auf der vorletzten Seite wurden dieselben fünf selbstkonstruierten Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation wie in der ersten Untersuchungsreihe (s. Abschnitt 1.2.2) präsentiert. Abschließend bat man die Probanden auf der letzten Seite wie gewohnt um Abgabe persönlicher Angaben, wobei diesmal auf die Fragen zur Händigkeit und zu Fremdsprachenkenntnissen in Sprachen entgegen unserer Leserichtung verzichtet wurde. Hier konnten die Versuchsteilnehmer zudem Anmerkungen, Kommentare und Verbesserungsvorschläge insbesondere zur Animation stichpunktartig in ein Textfeld schreiben. Des Weiteren wurde den Probanden für die Versuchsteilnahme erneut gedankt. Mit Beenden des Experiments speicherte das Programm alle Angaben der Versuchsperson fortlaufend in eine Textdatei mit Zuordnung der entsprechenden Versuchsbedingung eins bis vier, unter der die Person untersucht worden war. Außerdem wurde die jeweils in Anspruch genommene Zeit für den gesamten Lerntext, die Animation, die der Animation folgende Textseite sowie die für die Behaltens- und Verständnisfragen beanspruchte Zeit auf eine Zentelsekunde genau erfasst.

Als Hardwarekomponenten standen wie in den ersten beiden Experimenten (s. Abschnitt 1.2.2 u. 1.3.2) vier identisch ausgestatteten Personal Computer zur Verfügung, die alle unter dem Betriebssystem Windows XP arbeiteten. Des Weiteren wurden 17 Zoll Röhrenmonitore sowie handelsübliche Tastaturen und PC-Mäuse für den Versuch verwendet.

Versuchsablauf

Auch der Versuchsablauf erfolgte analog zu den ersten beiden Experimenten der ersten Untersuchungsserie (s. Abschnitt 1.2.2 u. 1.3.2).

Das Experiment wurde per Aushang bekannt gegeben und fand in den Räumlichkeiten der Universität Trier statt, wobei den Probanden für die ca. 45-minütige Versuchsteilnahme eine Versuchspersonenstunde im Rahmen ihres Studiums angerechnet wurde. Die

Teilnehmer konnten sich dabei entweder zu den vorgegebenen Terminen von 8:00 bis 18:00 Uhr eintragen oder direkt vor Ort erscheinen und den Versuch beginnen, sofern Rechnerkapazitäten zur Verfügung standen.

Der Versuchsleiter begrüßte die Probanden und wies ihnen einen der vier Personalcomputer zu. Diese befanden sich alle in demselben Raum und waren durch Trennwände voneinander abgeschirmt. Alle vier PCs enthielten die vier Programmversionen für den Versuch. Nachdem sich die Versuchsperson gesetzt hatte, erklärte der Versuchsleiter, dass es sich um ein PC-Experiment handele, welches selbsterklärend sei. Jeder Teilnehmer wurde darauf hingewiesen, dass der Versuchsleiter bei Rückfragen jederzeit zur Verfügung stünde. Anschließend wurde per Randomisierung eine der vier Versionen am Computer durch den Versuchsleiter gestartet.

Nachdem die Versuchsperson den Versuch beendet hatte, wurde außerhalb des Raumes die Versuchspersonenstunde eingetragen. Auf Wunsch erfolgten eine detaillierte Versuchsaufklärung sowie die Angabe über die vom Probanden erzielte Leistung, die der Versuchsleiter aus der generierten Textdatei entnehmen konnte.

Daraufhin bedankte sich der Versuchsleiter für die Teilnahme und verabschiedete sich mit der Bitte, den noch folgenden Versuchsteilnehmern nichts über den Versuch zu verraten.

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 107 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Bedingungen verteilt wurden (je 27 Personen in den Bedingungen eins, zwei und vier, 26 für die Bedingung drei).

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 21.9 Jahre (18-32 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im zweiten Semester (Modalwert) befanden ($M = 2.7$; $SD = 2.1$).

Von den 107 Personen waren 81 weiblichen Geschlechts (75.7%).

90 Psychologiestudenten nahmen an dem PC-Experiment teil, vier Probanden studierten Betriebswirtschaftslehre, drei Soziologie und weitere zehn Personen befanden sich in anderen Studiengängen (siehe Tabelle 12).

103 der 107 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei Vorkenntnisse über den dargebotenen Lerninhalt, lediglich vier Personen schätzten ihre Vorkenntnisse als gering ein. Das dieser Anteil deutlich geringer als in der vorangegangenen Untersuchungsserie war, verwundert nicht, da im Gegensatz zu den ersten vier Experimenten keine allgemeine Einführung zu neuronalen Netzen als Lerninhalt verwendet, sondern mit kompetitiven Netzen und Kohonennetzen ein Spezialgebiet neuronaler Netze präsentiert wurde.

Tabelle 12 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale. Dabei ist zu erkennen, dass die meisten Moderatorvariablen auf den vier Versuchsbedingungen relativ gleich verteilt sind. Inferenzstatistisch zeigt sich folglich auch kein statistisch bedeutsamer Unterschied bezüglich der Zellenverteilung für die Variablen „Geschlecht“, „Alter“, „Semester“ und „Vorkenntnisse“ (die p -Werte liegen zwischen .070 und 1.000; jeweils $1-\beta = .744$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .925$ für die Variablen Alter und Semester bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Lediglich bei den Studienfächern fällt auf, dass in der zweiten Untersuchungsbedingung der Anteil an Psychologiestudierenden mit 66.7% deutlich geringer ausfiel als der Durchschnitt (84.1%). In dieser zweiten Versuchsbedingung stellte sich zufällig ein erhöhter Anteil an Probanden ein, die andere Studienfächer als Psychologie, BWL, VWL oder Soziologie studierten (25.9% im Gegensatz zu 9.3% über alle vier Bedingungen hinweg). Diese unterschiedliche Verteilung auf die vier Versuchsbedingungen lässt sich auch inferenzstatistisch auf dem 5%-Niveau absichern ($p = .0103$). Allerdings stellt sich der Einfluss des Studienfaches auf die Behaltensleistung als äußerst gering dar ($R^2 = .007$ bei entsprechender Dummycodierung der Variable Studienfach; $p = .877$) und ist auch für die Verständnisleistung nahezu nicht vorhanden ($R^2 = .010$ bei entsprechender Dummycodierung der Variable Studienfach; $p = .784$; jeweils $1-\beta = .925$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Insofern ist die Berücksichtigung des Studienfaches als Kovariate bei der Datenauswertung nicht erforderlich.

Da keinerlei Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 12: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die vier Versuchsbedingungen.

	Versuchsbedingung				Gesamt
	Mit Reset- Button und ohne seductive details	Mit Reset- Button und mit seductive details	Ohne Reset- Button und ohne seductive details	Ohne Reset- Button und mit seductive details	
N	27	27	26	27	107
Geschlecht	22.2%	29.6%	23.1%	22.2%	24.3%
Alter	21.2	22.7	21.1	22.4	21.9
Semester	2.6	3.2	2.4	2.5	2.7
Vorkenntnisse	3.7%	3.7%	3.8%	3.7%	3.7%
	Studienfächer				
Psychologie	81.5%	66.7%	92.3%	96.3%	84.1%
BWL/VWL	7.4%	3.7%	0.0%	3.7%	3.7%
Soziologie	3.7%	3.7%	3.8%	0.0%	2.8%
Sonstige	7.4%	25.9%	3.8%	0.0%	9.3%

Datenaggregation

Die erhobenen Daten wurden wie in der ersten Experimentalserie (s. Abschnitt 1.2.2) aggregiert und anschließend statistisch aufbereitet.

Das Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat ist dem Anhang FF zu entnehmen. Jede der sieben Multiple-Choice Fragen zum Verständnis wie auch jede der zehn Multiple-Choice Fragen zum Behalten wurde mit einem Punkt bewertet. Somit konnten die Versuchspersonen zwischen null und zehn Punkte jeweils für Behaltens- und Verständnisleistung erzielen. Der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala betrug lediglich .175, für die Verständnisskala .389. Insbesondere für die Behaltensskala erlauben diese äußerst niedrigen Werte kaum einen Vergleich von Gruppenmittelwerten (Vergleiche jedoch Fußnote 3 auf Seite 91). Daher wurde auf Grundlage der durchgeführten Itemanalyse eine Itemselektion vorgenommen. Durch Eliminierung der dritten und siebten Behaltensfrage konnte der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala auf .377 erhöht werden. Auch bei den Verständnisfragen konnte durch Verzicht der vierten Multiple-Choice Frage

sowie der ersten Textfrage eine Steigerung des Cronbachs α -Wertes erzielt werden. Dieser betrug nach Bereinigung der beiden aufgeführten Fragen .458. Trotz der Steigerung der Reliabilitätswerte erlauben diese vermutlich keine fundierten Aussagen über Leistungsunterschiede zwischen bestimmten Personen, sondern zeigen, dass – wenn überhaupt – nur Vergleiche von Gruppenmittelwerten statthaft sind. Es ist darauf hinzuweisen, dass sämtliche nachfolgend aufgeführten Ergebnisse sich durch die durchgeführte Itemselektion nur marginal verändert haben. Durch die Itemselektion wurde kein nicht signifikantes Ergebnis nachträglich signifikant oder umgekehrt.

2.1.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die Prüfung der in Abschnitt 1.2.3 genannten Voraussetzungen für die MANOVA erbringt keine signifikanten Abweichungen, sodass die Annahmen beibehalten werden. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang GG zu entnehmen.

Hypothese 1

Die erste gerichtete Hypothese postuliert einen Haupteffekt des ersten Faktors „Reset-Button“ für die abhängige Variable Verständnis. Es wird angenommen, dass Probanden unter der Versuchsbedingung mit Reset-Taste bessere Verständnisleistungen erzielen als Versuchspersonen, in deren Version der Button fehlt.

Deskriptivstatistisch finden sich zwar höhere Mittelwerte für die Verständnisleistung unter der Bedingung „mit Reset-Button“ ($M = 3.63$; $SD = 1.43$) im Vergleich zur Bedingung „ohne Reset-Button“ ($M = 3.58$; $SD = 1.51$), jedoch ist die Mittelwertsdifferenz mit 0.04 Punkten äußerst gering. Auch die Effektstärke von $d = 0.03$ zeigt an, dass es sich um einen sehr geringen Effekt handelt.

Wie bereits aufgrund der deskriptivstatistischen Befundlage zu erwarten, kann der gefundene Effekt inferenzstatistisch nicht abgesichert werden ($F(1, 103) = 0.026$; $p = .873$). Die Teststärke von 97.77% für einen angenommenen mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alpha-Niveau von 5% deutet darauf hin, dass die Nullhypothese (bei einem postulierten mittleren Effekt) angenommen werden kann.

Für die erste Hypothese lässt sich somit festhalten, dass in dynamischen interaktiven Visualisierungen dargebotene Lerninhalte nicht besser verstanden werden, wenn ein Reset-Knopf enthalten ist.

Hypothese 2

Die zweite gerichtete Hypothese besagt, dass interaktive seductive details die Behaltens- und Verständnisleistungen von Lerninhalten reduzieren, die in dynamischen interaktiven Visualisierungen präsentiert werden.

Deskriptivstatistisch wird diese Hypothese für die Behaltensleistung nicht gestützt. Probanden, die interaktive seductive details erhalten schneiden durchschnittlich geringfügig besser ab ($M = 4.76$; $SD = 1.62$) als Versuchsteilnehmer ohne derartige zusätzliche Materialien ($M = 4.53$; $SD = 1.58$). Der auftretende, kleine Effekt ($d = 0.14$) entgegen der Hypothese verfehlt das 5%-Signifikanzniveau dabei deutlich ($F(1, 103) = 0.538$; $p = .465$; $1-\beta = .978$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$), wenngleich eine inferenzstatistische Betrachtung aufgrund der deskriptivstatistischen Befundlage nicht mehr notwendig gewesen wäre.

Auch für die Verständnisleistungen sind die Mittelwertsunterschiede zwischen den beiden Gruppen gering. Hier können wie in der zweiten Hypothese vermutet die Versuchspersonen ohne interaktive seductive details durchschnittlich zwar bessere Leistungen ($M = 3.74$; $SD = 1.50$) erzielen als Probanden, die die seductive details präsentiert bekamen ($M = 3.48$; $SD = 1.44$), der kleine Effekt von $d = 0.17$ verfehlt aber ebenso das Signifikanzniveau ($F(1, 103) = 0.778$; $p = .380$; $1-\beta = .978$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Betrachtet man in der MANOVA beide abhängigen Variablen gemeinsam, so kann nicht gezeigt werden, dass der zweite Hauptfaktor einen statistisch bedeutsamen Einfluss auf diese Variablen ausübt (*Pillai's Trace* = 0.019; $F(2, 102) = 1.009$; $p = .368$; $1-\beta = .962$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Aufgrund der ausreichend großen Teststärken für einen angenommenen mittleren Effekt lässt sich für die zweite Hypothese zusammenfassend festhalten, dass interaktive seductive details die Behaltens- und Verständnisleistungen von Lerninhalten nicht reduzieren, die in dynamischen interaktiven Visualisierungen präsentiert werden.

Weitere Befunde

Neben den bereits aufgeführten hypothesenrelevanten Befunden soll an dieser Stelle lediglich auf diejenigen weiteren Ergebnisse des Experiments verwiesen werden, die einen Einfluss auf die beiden nachfolgenden Untersuchungen (s. Abschnitt 2.2 u. 2.3) haben.

Zunächst soll der Frage nachgegangen werden, wie sich die nichtsignifikanten Befunde des Experiments erklären lassen. Beispielsweise könnte man die relativ geringe Reliabilität des selbstkonstruierten Behaltens- und Verständnisfragebogens (s. Abschnitt 2.1.2) anführen,

die das Aufdecken von Unterschieden zwischen den einzelnen Gruppen erschwert haben könnte. Eine andere, besonders einfache Erklärung bestünde in der Annahme, dass interaktive Elemente wie ein Reset-Button oder seductive details sich weder lernförderlich noch lernhinderlich auf Lerninhalte auswirken, die in interaktiven Animationen dargeboten werden.

Denkbar ist auch, dass sich derartige interaktive Elemente nur deshalb nicht auf die Lernleistungen auswirken, weil sie von den Lernenden nicht hinreichend genutzt werden. So könnte man für die Nutzung des Reset-Knopfes die Vermutung anstellen, dass dieser nicht oder zumindest nicht adäquat verwendet wird.

Gestützt wird diese Vermutung durch eine Analyse der Klickhäufigkeiten des Reset-Buttons. In den beiden Bedingungen (Bedingung 1 und 2), in denen eine Reset-Taste vorhanden ist wird diese von 59.3% der Probanden kein einziges Mal betätigt. Dieser – zunächst erstaunlich anmutende – Befund steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen anderer Forscher, die nachweisen können, dass Lernende interaktive Elemente in Animationen oftmals nicht oder zumindest nicht in zielorientierter und systematisch hypothesentestender Weise verwenden (Bodemer & Ploetzner, 2002; Eysink, T. H., Dijkstra & Kuper, 2001; Eysink, T. H. S., 2002; Jarc, Feldman & Heller, 2000; Lowe, 2004; Schwan et al., 2000; van Joolingen & De Jong, 1991; van Joolingen & de Jong, 1997; Yu & Behrens, 1994; vgl. a. Chen & Rada, 1996; Gerdes, 1997; Heiß, Eckhardt & Schnotz, 2003). An dieser Stelle sollen zwei der Studien exemplarisch skizziert werden.

In der Untersuchung von Lowe (2004) wurde Probanden eine interaktive, animierte Wetterkarte präsentiert. Aufgrund der empirischen Ergebnisse gelangt Lowe zu dem Schluss, dass die in der Animation enthaltenen interaktiven Elemente nicht sinnvoll eingesetzt werden, sondern den Versuchsteilnehmern vornehmlich dazu dienen, oberflächliche Ähnlichkeiten zwischen den Teilbildern der animierten Karte und der Originalversion ausfindig zu machen. Dynamische Aspekte der meteorologischen Muster werden dabei fast gänzlich außer Acht gelassen.

In der Studie von Heiß et al. (2003) erhielten 99 Versuchspersonen einen verlinkten Text zum Thema „Attribution und soziale Kognition“. Dabei zeigte sich, dass optional dargebotene Lernhilfen (z.B. Lernziele und -fragen) von weniger als der Hälfte der Probanden in der intendierten Weise genutzt wurden. Auch wenn in dieser Untersuchung keine interaktiven Animationen zum Einsatz kamen, so zeigt sie doch ebenso, dass Lernende

die zu Verfügung gestellten Lernmaterialien oftmals nicht, unzureichend oder inadäquat nutzen.

Im Zusammenhang mit einer nicht adäquaten Vorgehensweise beim Lernen innerhalb einer multimedialen Lernumgebung kann auch das Konzept „gaming the system“ aufgeführt werden (Baker, Corbett, Koedinger & Wagner, 2004). Damit ist gemeint, dass Lerner in erster Linie solche Handlungen ausführen, die sie mit minimaler Anstrengung möglichst rasch durch das Programm führen. Beispielsweise werden dargebotene Lernfragen im Multiple-Choice Format, die vom Lernenden zur Fortführung des Programms beantwortet werden müssen, durch Ausprobieren gelöst (z.B. nacheinander die Optionen eins bis fünf auswählen) anstelle zunächst über die angebotenen Antwortalternativen zu reflektieren.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass zahlreiche Untersuchungsbefunde darauf hindeuten, dass die sehr geringe Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons der Probanden im fünften Experiment nicht ungewöhnlich ist.

Analysiert man die Klickhäufigkeiten der Reset-Taste weiter und setzt diese in Beziehung zu den Lernleistungen der Versuchspersonen, so resultieren positive Korrelationen kleiner bis mittlerer Effektstärke ($r = .25$ zur Behaltensleistung und $r = .17$ zu Verständnisleistung), die eine mit steigender Verwendung des Reset-Knopfes höhere Lernleistung anzeigen¹⁰. Die relativ geringen Effektstärken können u.a. darauf zurückzuführen sein, dass knapp 60% der Probanden (siehe oben) den Button überhaupt nicht betätigen und somit in dieser Teilgruppe keine Kovarianz entsteht.

Neben der Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons kann ein weiterer korrelativer Zusammenhang in dieser fünften Untersuchung festgestellt werden. Es zeigt sich, dass eine längere Betrachtungszeit der dynamischen, interaktiven Visualisierung mit besseren Behaltensleistungen einhergeht. Die ermittelte Korrelation beträgt $r = .46$ und stellt damit nach Cohen (1977) einen annähernd großen Effekt ($r = .50$) dar. Im Gegensatz dazu kann der korrelative Zusammenhang zwischen Animationszeit und Verständnisleistung als sehr gering bezeichnet werden ($r = .07$).

¹⁰ Die anfängliche Vermutung auf Grundlage einer Datenauswertung mittels neuronaler Netze, dass sich bei höherer Nutzungshäufigkeit dieser Effekt umkehrt und wieder niedrigere Lernleistungen zu beobachten sind, wird vorläufig wieder verworfen. Als Grund dafür ist die sehr geringe Anzahl an Probanden (sowohl in dieser als auch in der sechsten Untersuchung) zu nennen, die für diesen Rückgang verantwortlich sind. Um weitgehend ausschließen zu können, dass der Leistungsrückgang ausreißerbedingt zustande gekommen ist, bedarf es der Überprüfung anhand eines neuen Datensatzes, was jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

An dieser Stelle sind sowohl für die Nutzungshäufigkeit der Reset-Taste als auch für die Animationszeiten zwei Aspekte besonders zu beachten. Erstens sei betont, dass die postulierten Zusammenhänge rein korrelativer Natur sind. Eine kausale Interpretation der Variablen Verwendung des Reset-Buttons bzw. Animationszeit und Lernleistung ist auf Basis dieser Befunde nicht statthaft. Der deskriptivstatistisch gefundene korrelative Zusammenhang sollte somit nicht als Kausalzusammenhang formuliert werden (Beispielsweise: Eine häufigere Benutzung des Reset-Knopfes verursacht bessere Lernleistungen). Gleiches gilt für Animationszeit und Behaltensleistungen.

Zweitens handelt es sich bei den gefundenen positiven Korrelationen um a priori nicht vermutete Beziehungen zwischen den aufgeführten Variablen. Zur Überprüfung dieser Post hoc gefundenen Zusammenhänge und zur inferenzstatistischen Absicherung bedarf es somit einer weiteren Untersuchung. In dieser sollten zudem auch die Cronbachs α -Werte durch Austausch einzelner Behaltens- und Verständnisitems gesteigert werden (s. Abschnitt 2.1.2; vergleiche jedoch auch 3 auf Seite 91).

2.2. Untersuchung 6 (Nutzungshäufigkeit eines Reset-Buttons)

2.2.1. Einleitung

In der sechsten Untersuchung soll zunächst der im fünften Experiment gefundene korrelative Zusammenhang zwischen der Nutzungshäufigkeit eines Reset-Buttons und den Lernleistungen an einem neuen Datensatz repliziert werden. Es soll somit die Hypothese geprüft werden, ob die Nutzungshäufigkeit eines Reset-Knopfes in einer dynamischen, interaktiven Visualisierung positiv mit der Behaltens- und Verständnisleistung von dargebotenen Lerninhalten korreliert. Zudem soll die positive Korrelation zwischen der mit der Animation verbrachten Zeit und der Behaltensleistung, die sich bereits im fünften Experiment findet, in einer neuen Untersuchung deskriptiv- und inferenzstatistisch abgesichert werden.

Zur Überprüfung dieser Zusammenhangshypothesen ist kein experimentelles Design mit verschiedenen Gruppen notwendig. Stattdessen ist für die Fragestellungen ausreichend, Probanden eine interaktive Animation zu präsentieren, die eine Reset-Taste enthält, und im Anschluss die Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons sowie die mit der Animation verbrachte Zeit mit den Lernleistungen in Beziehung zu setzen.

2.2.2. Methode

Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial kam in großen Teilen das gleiche Lernprogramm wie in der vorherigen Untersuchung zum Einsatz.

Um zu verhindern, dass durch einen relativ großen Anteil an Probanden, die den Reset-Knopf überhaupt nicht verwenden (knapp 60% im ersten Experiment dieser Untersuchungsserie, s. Abschnitt 2.1.3), sich die Kovarianz zwischen den in der Hypothese (s. Abschnitt 2.2.1) aufgeführten Variablen nicht adäquat „ausbilden“ kann, wurde auf der Textseite unmittelbar vor der Animation die Instruktion „Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!“ hinzugefügt. Dieser Hinweis diente nicht nur dazu, den korrelativen Zusammenhang zwischen Nutzungshäufigkeit der Reset-Taste und Lernleistung besser aufdecken zu können, sondern sollte auch – unabhängig von der Untersuchung – den Probanden dazu verhelfen, ein tieferes Verständnis von Kohonennetzen durch eine angemessenere Benutzung der interaktiven Animation zu erlangen.

Bei der interaktiven, dynamischen Visualisierung wurde ausschließlich auf die zweite Versuchsbedingung zurückgegriffen (s. Abschnitt 2.1.2), die sowohl einen Reset-Button als auch interaktive seductive details enthielt (s. Abb. 30). Auf die interaktiven seductive details wurde nicht verzichtet, da diese die Lernergebnisse der fünften Untersuchung nicht signifikant negativ beeinflusst hatten.



Neuronale Netze

Eine Einführung

<input type="button" value="Kohonennetzeigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Darstellungseigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Abbildungsvorlagen einblenden"/>	
Lernparameter: 1 <input type="text" value="1"/>	aktueller Lernparameter: 0
Zähler: 5000 <input type="text" value="5000"/>	aktueller Zähler: 5000
Matrixgröße: 14x14 <input type="text" value="14x14"/>	Radiusgröße: 2 <input type="text" value="2"/>
Einfluß auf die benachbarten Neuronen: 40 % <input type="text" value="40 %"/>	

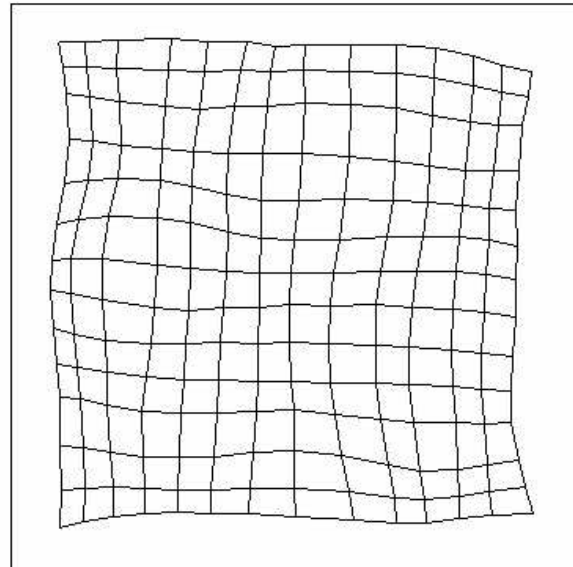


Abb. 30: Darstellung der in sechsten Untersuchung verwendeten interaktiven Visualisierung, die sowohl einen Reset-Button als auch interaktive seductive details enthielt.

Die Präsentation der Behaltens- und Verständnisfragen, des NASA-TLX-Fragebogens, der subjektiven Einschätzung zur Animation sowie der persönlichen Angaben erfolgte analog zum fünften Experiment (s. Abschnitt 2.1.2), wobei Lernfragen in Abhängigkeit der Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und Korrelation zum fremden Behaltens- oder Verständnisscore zum Teil aussortiert und durch neue Items ersetzt wurden. Die neuen, selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang HH zu entnehmen.

Versuchsablauf & Datenaggregation

Im Gegensatz zum fünften Experiment fand die Untersuchung nicht in den Räumlichkeiten der Universität Trier statt. Stattdessen wurde das Lernprogramm

Seminarteilnehmern, die im Sommersemester 2006 das Seminar „Neuronale Netze“ im Hauptstudium des Faches Psychologie besuchten in der zweiten Seminarhälfte zur Verfügung gestellt. Dies geschah per Email, in der darum gebeten wurde, das Programm am eigenen PC zu bearbeiten. Nach Beenden des Lernprogramms erstellte der Computer automatisch eine Textdatei, die sämtliche Ergebnisse wie Behaltens- und Verständnisleistungen, Klickhäufigkeiten des Seminarteilnehmers enthielt. Der Teilnehmer wurde aufgefordert, diese Datei an den Dozenten per Email zurückzusenden. Es wurde im Vorfeld explizit darauf hingewiesen, dass für den Scheinerwerb keine Mindestpunktzahl bei den Behaltens- und Verständnisfragen erforderlich war. Zudem wurde ausdrücklich darum gebeten, die Auswertungsdatei nicht nachträglich zu modifizieren oder durch mehrmaliges Bearbeiten des Lernprogramms das Untersuchungsergebnis zu verfälschen. Mit Hilfe einer Prüfsumme, die die Textdatei enthielt, sollte nachträglich festgestellt werden können, ob der Lernende eine Modifikation der Auswertungsdatei vorgenommen hatte oder nicht. In keinem Fall zeigte sich, dass eine Manipulation der Textdatei stattgefunden hatte. Dennoch kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass sich alle Probanden an die Instruktionen hielten.

Durch den Austausch von Lernfragen mit geringen Trennschärfen aus dem fünften Experiment durch neue Items konnte der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala auf .404, für die Verständnisskala auf .411 gesteigert werden (vgl. Abschnitt 2.1.2).

Da es sich hierbei immer noch um relativ geringe Kennwerte handelt wurde auf Grundlage der durchgeführten Itemanalyse eine Itemselektion vorgenommen (Vergleiche jedoch Fußnote 3 auf Seite 91). Durch Eliminierung der vierten und siebten Behaltensfrage konnte der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala auf .530 gesteigert werden. Auch bei den Verständnisfragen konnte durch Verzicht auf die zweite Multiple-Choice Frage sowie die ersten beiden Textfragen eine Steigerung des Cronbachs α -Wertes erzielt werden. Dieser betrug nach Bereinigung der aufgeführten Fragen .531. Trotz der Steigerung der Reliabilitätswerte erlauben diese kaum eine fundierte Aussage über Leistungsunterschiede zwischen bestimmten Personen, sondern zeigen an, dass – wenn überhaupt – nur Vergleiche von Gruppenmittelwerten statthaft sind.

Erneut ist darauf hinzuweisen, dass sämtliche nachfolgend aufgeführten Ergebnisse (s. Abschnitt 2.2.3) sich durch die vorangegangene Itemselektion nur marginal verändert haben. Durch die Itemselektion wurde kein nicht signifikantes Ergebnis nachträglich signifikant oder umgekehrt.

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 45 Versuchspersonen teil, die sich alle im Hauptstudium des Faches Psychologie befanden und im Sommersemester 2006 das Seminar „Neuronale Netze“ besuchten.

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 23.1 Jahre (21-28 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im sechsten Semester (Modalwert) befanden ($M = 6.2$; $SD = 0.7$).

Von den 45 Personen waren 36 weiblichen Geschlechts (80.0%).

Im Gegensatz zum fünften Experiment dieser Untersuchungsreihe besaßen die Versuchspersonen durch die Seminarteilnahme allgemeine Vorkenntnisse zum Thema neuronale Netze. Die Seminarsitzungen bis zum Untersuchungszeitpunkt umfassten eine Einführung in die Grundlagen, Lernregeln und Netztypen neuronaler Netze, wobei der dargebotene Lerninhalt in der interaktiven Animation (kompetitiven Netze und Kohonennetze) erst nach der Untersuchung im Seminar erörtert wurde und den Probanden folglich durch das Seminar noch nicht bekannt war.

Da keinerlei Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

2.2.3. Ergebnisse & Diskussion

Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons

Im Vergleich zum fünften Experiment wird die Reset-Taste in der interaktiven Animation deutlich häufiger verwendet. Während im fünften Experiment nur 40.7% der Probanden den Reset-Knopf mindestens einmal benutzt haben, kann dieser Prozentwert auf 95.6% gesteigert werden. Auch der Vergleich der Mittelwerte zeigt die häufigere Verwendung.

Durchschnittlich wird der Reset-Button von den Versuchsteilnehmern der vorherigen Untersuchung nur 2.9 Mal verwendet, in der vorliegenden Studie hingegen 16.7 Mal. Diese beachtliche Steigerung muss nicht zwangsläufig auf den unmittelbar vor der interaktiven Animation dargebotenen Hinweis auf den Gebrauch des Reset-Knopfes („Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken.“) zurückzuführen sein. Denkbar ist auch, dass die Diskrepanz in der Nutzungshäufigkeit der Reset-Taste durch Unterschiede in der Motivation und dem Vorwissen der beiden Stichproben verursacht wurde. So besaßen die Benutzer der sechsten Studie grundlegende Kenntnisse über neuronale Netze und lernten die Inhalte für eine Diplomprüfung. In der vorherigen Untersuchung (s. Abschnitt 2.1) partizipierten vornehmlich Studierende aus dem Grundstudium ohne Vorkenntnisse über neuronale Netze,

deren Teilnahme mutmaßlich dazu diene, die verpflichteten Versuchspersonenstunden abzuleisten.

An dieser Stelle ist die aufgezeigte Konfundierung jedoch unproblematisch, da nicht weiter erörtert werden soll, warum der Reset-Button in der sechsten Studie deutlich häufiger Verwendung findet, sondern zunächst nur entscheidend ist, dass er häufiger benutzt wird. Dadurch werden Voraussetzungen geschaffen, eine mögliche Korrelation zwischen der Nutzungshäufigkeit des Buttons und der Lernleistung besser als im fünften Experiment aufdecken zu können (vgl. a. Abschnitt 2.2.2).

Hypothese 1

Die erste Hypothese der sechsten Studie besagt, dass die Nutzungshäufigkeit einer Reset-Taste in einer dynamischen, interaktiven Visualisierung positiv mit der Behaltens- und Verständnisleistung von dargebotenen Lerninhalten korreliert.

Wie in der Hypothese vermutet, zeigt sich, dass die Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons substantiell sowohl mit den Behaltensleistungen ($r = .320$) als auch mit den Verständnisleistungen ($r = .323$) positiv korreliert. Die dabei gefundenen Korrelationen erweisen sich auf dem 5%-Niveau signifikant ($p = .032$ für die Variable Behalten und $p = .031$ für die Variable Verständnis).

Fasst man die Ergebnisse zur ersten Hypothese zusammen, so zeigt sich, dass eine steigende Verwendung des Reset-Knopfes mit höherer Lernleistung einhergeht. Ob und wie sich diese Erkenntnis dazu verwenden lässt, um die Lernleistungen von Probanden zu erhöhen, soll im siebten Experiment näher erörtert werden.

Hypothese 2

In der zweiten Hypothese wird die Vermutung geäußert, dass die Zeit, die mit der interaktiven, dynamischen Visualisierung verbracht wird, positiv mit der Behaltensleistung der dargebotenen Lerninhalte korreliert.

In Übereinstimmung mit der Hypothese zeigt sich, dass die mit der Animation verbrachte Zeit positiv mit der Behaltensleistung korreliert. Die signifikante Korrelationen beträgt $r = .36$ ($p = .014$) und stellt somit nach Cohen (1977) einen mittleren bis starken Effekt dar.

Wie auf Grundlage des fünften Experiments ebenfalls zu erwarten ist, fällt die Korrelation zwischen Animationszeit und Verständnisleistung sehr gering aus ($r = .08$) und kann auch inferenzstatistisch nicht abgesichert werden ($p = .622$). Hier ist jedoch die etwas zu geringe Power der Untersuchung zu beachten ($1-\beta = .667$ bei $r = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$), worauf dieser Befund zurückzuführen sein könnte.

Für die mit der interaktiven, dynamischen Visualisierung verbrachte Zeit kann festgehalten werden, dass steigende Betrachtungszeiten mit höheren Behaltensleistungen einhergehen. Auch hier soll im nachfolgend berichteten siebten Experiment geprüft werden, ob und wie sich durch diese Erkenntnis die Behaltensleistungen von Probanden verbessern lassen.

2.3. Experiment 7 (Instruktionshinweise zur Steigerung der Lernleistungen)

2.3.1. Einleitung

Das siebte Experiment der vorliegenden Arbeit befasst sich mit der Frage, wie sich mit Hilfe von Instruktionshinweisen Behaltens- und Verständnisleistungen der Lernenden verbessern lassen.

Zunächst sollen die Befunde aus der vorangegangenen sechsten Untersuchung (s. Abschnitt 2.2.3) zur Betrachtungszeit der interaktiven Animation aufgegriffen werden. Im Hinblick auf den gefundenen korrelativen Zusammenhang zwischen der mit der Visualisierung verbrachten Zeit und den Behaltensleistungen stellt sich die Frage, inwieweit sich die Betrachtungszeiten von Lernenden steigern lassen. Zudem soll geklärt werden, ob eine solche Steigerung mit besseren Behaltensleistungen einhergeht. Um die mit der interaktiven Animation verbrachte Zeit zu erhöhen sind zahlreiche Möglichkeiten denkbar. Z.B. könnte die Fortsetzung des Lernprogramms während der Darbietung der dynamischen, interaktiven Visualisierung an ein bestimmtes Zeitfenster geknüpft sein. Da diese Option der Forderung, die Versuchsbedingungen beim Lernen statischer und dynamischer Visualisierungen stärker an die alltäglichen Erfahrungen von Lernenden anzugleichen (z.B. Brody, 1981; Lewalter, 1997), nicht entspricht (vgl. Abschnitt 1.2.2), wird sie im siebten Experiment nicht realisiert. Neben dem Aspekt der externen Validität der Untersuchung könnte eine solche zwangsweise verordnete Beschäftigung mit der Visualisierung zu Reaktanz bei Versuchspersonen führen und damit die Lernleistungen beeinträchtigen. Zudem könnten auch ethische Bedenken angeführt werden, wenngleich anzumerken ist, dass die meisten Probanden ohnehin durch die benötigte Versuchspersonenstundenzahl zur Beteiligung an solchen derartigen psychologischen Experimenten verpflichtet werden. Insofern ist eine vollständige Freiwilligkeit an den Lernprogrammen ohnehin nur selten gewährleistet (vgl. z.B. die Online-Untersuchung der ersten Experimentalserie; Abschnitt 1.4).

Aufgrund der aufgeführten Probleme werden die Benutzer nicht verpflichtet, sich mit der Animation über einen bestimmten Zeitraum auseinanderzusetzen, sondern können nach wie vor selbst entscheiden, wie lange sie sich mit der Visualisierung beschäftigen. Jedoch wird, sofern sie die interaktive Animation vor Ablauf eines vorher festgelegten Zeitintervalls beenden wollen, darauf hingewiesen, dass sie sich noch nicht ausreichend lange mit der Visualisierung auseinandergesetzt haben. Danach können sie selbst bestimmen, ob sie noch länger mit der Animation experimentieren oder diese vorzeitig beenden wollen. Die genaue Operationalisierung des Hinweises und Zeitintervalls wird im Methodenteil (s. Abschnitt 2.3.2) erörtert. In der ersten Hypothese wird vermutet, dass durch einen derartigen Hinweis an die eine dargebotene interaktive Animation nur kurzzeitig betrachtenden Lernenden ihre Behaltensleistung der dort präsentierten Lerninhalte gefördert wird.

Neben der Betrachtungszeit kann man auch versuchen mit Hilfe von Instruktionshinweisen die Nutzungshäufigkeit interaktiver Elemente wie den Reset-Button zu erhöhen, um hierdurch die Lernleistungen zu steigern (daneben existieren auch noch andere Möglichkeiten zu Steigerung der Nutzungshäufigkeit interaktiver Elemente, vgl. Gerjets, Scheiter & Schuh, 2005; Yu & Behrens, 1994). So konnten Eysink, Dijkstra und Kuper (2002) beispielsweise zeigen, dass interaktive Elemente in Visualisierungen nur in Kombination mit Instruktionshinweisen, die Lernende zur Verwendung dieser Elemente anregen sollen, einen lernförderlichen Einfluss besitzen. Seufert (2002) weist jedoch in diesem Zusammenhang darauf hin, dass derartige instruktionale Hilfsmaßnahmen auch dazu führen können, dass Lernende kognitiv überlastet werden und der Lernprozess beeinträchtigt wird.

Wie bei der Betrachtungszeit wird auch hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit darauf verzichtet, den Lernenden zu einer vorher festgelegten minimalen Benutzung zu verpflichten und ihn an einer vorzeitigen Fortsetzung des Lernprogramms zu hindern. Als Begründung können die oben aufgeführten Argumente herangezogen werden. Um den Benutzern die Entscheidung zu überlassen, wie oft von der Reset-Taste Gebrauch gemacht wird und gleichzeitig zu einer häufigeren Verwendung beizutragen, erscheint – ähnlich wie bei der Betrachtungszeit – ein Hinweis, dass der Reset-Button noch nicht hinreichend häufig genutzt wurde. Der Lerner kann sodann selbst entscheiden, ob er sich noch länger mit Hilfe des Reset-Knopfes mit der interaktiven Animation beschäftigen oder diese vorzeitig beenden möchte. Die genaue Operationalisierung des Reset-Hinweises und die Klickhäufigkeit, nach

der der Hinweis erscheint, sind auch hier dem Methodenteil (s. Abschnitt 2.3.2) zu entnehmen.

In der zweiten Hypothese wird angenommen, dass durch eine solche Aufforderung an Lernende, die einen Reset-Button in einer interaktiven Animation nur selten verwenden, die Lernleistungen der präsentierten Lerninhalte gefördert werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons, die in der Folge bessere Lernleistungen mit sich bringen soll, bestünde darin, alle Probanden unabhängig vom Benutzerverhalten im Vorfeld aufzufordern, die Reset-Taste häufiger zu verwenden. Eine derartige Anweisung findet sich in der sechsten Untersuchung (s. Abschnitt 2.2). Durch diese sollte die sehr geringe Nutzungshäufigkeit von nur 40.7% der Probanden, die den Reset-Knopf mindestens einmal betätigt haben, gesteigert werden. Allerdings ist fraglich, ob durch den hinzugefügten Satz „Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!“ im Vorfeld der Visualisierung der Prozentwert in der sechsten Untersuchung auf 95.6% gesteigert werden kann oder ob andere Gründe hierfür verantwortlich sind (vgl. Abschnitt 2.2.3). Aufgrund der Konfundierung mit dem Vorwissen und der Motivation der Lernenden kann mit Hilfe der Daten der fünften und sechsten Untersuchung keine Aussage hierzu getroffen werden. Dies gilt nicht nur für die Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons, sondern ebenso für die Lernleistungen der Probanden. Daher bietet es sich an, in dieser siebten Untersuchung nur einem Teil der Lernenden den oben aufgeführten Satz zu präsentieren. Anschließend sollen ihre Klickhäufigkeiten und Lernleistungen mit Personen verglichen werden, die diesen Hinweis auf den Reset-Button nicht erhalten haben.

Als dritte Hypothese des siebten Experiments wird vermutet, dass ein Hinweis, der Probanden im Vorfeld einer dynamischen, interaktiven Visualisierung um die systematische Überprüfung der dort variierbaren Parameter durch den Einsatz eines Reset-Buttons bittet, die Lernleistungen für die dargebotenen Inhalte fördert.

2.3.2. Methode

Versuchsdesign

Der Untersuchung lag ein dreifaktorieller, je zweifach gestufter, vollständig gekreuzter, bivariater Versuchsplan zugrunde (siehe Tabelle 13).

Die erste unabhängige Variable bezog sich auf einen präsentierten Hinweis zur Betrachtungszeit der Probanden. Auf der ersten Faktorstufe wurde ein Feedback hinsichtlich der Betrachtungszeit dargeboten, sofern der Lernende sich weniger als fünf Minuten mit der

interaktiven Animation beschäftigt hatte. Betätigte der Benutzer innerhalb dieser fünf Minuten den Weiter-Button, so wurde ein Informationsfenster eingeblendet. In diesem wurde der Proband darauf hingewiesen, dass er sich die interaktive Animation weniger als fünf Minuten angesehen habe. Zudem wurde angemerkt, dass diejenigen Lerner vorheriger Untersuchungen, die sich die Visualisierung mindestens fünf Minuten lang ansahen, die besten Leistungen erzielt hätten. Der Lernende konnte sodann selbst entscheiden, ob er die Animation weiter betrachten oder das Lernprogramm fortführen wollte. Der genaue Text des Zeithinweises ist dem Anhang II zu entnehmen. Auf der zweiten Faktorstufe erfolgte dieser aufgeführte Zeithinweis nicht.

Auf der ersten Faktorstufe der zweiten unabhängigen Variablen wurde ein Feedback hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit dargeboten, sofern der Lernende den Reset-Button weniger als 30 oder zum 45ten Mal betätigt hatte. Ein Informationsfenster erschien, sobald der Benutzer die Weiter-Taste drückte und den Reset-Button zuvor weniger als 30 Mal verwendet hatte. In diesem Fenster wurde der Proband darauf hingewiesen, dass er den Reset-Button in der interaktiven Animation weniger als 30 Mal betätigt habe. Des Weiteren wurde angemerkt, dass Versuchsteilnehmer vorheriger Untersuchungen die besten Lernergebnisse erreicht hätten, die den Button zwischen 30 und 45 Mal gedrückt hätten (Diese korrekte Behauptung basiert auf der Datenauswertung mittels neuronaler Netze, s. hierzu die Fußnote 10 auf Seite 132). Der Lernende konnte daraufhin selbst entscheiden, ob er die Animation weiter betrachten und mit dieser experimentieren oder das Lernprogramm fortführen wollte. Wurde der Reset-Button zum 45ten Mal betätigt, so erschien ebenfalls ein Informationsfenster. Dieses enthielt den gleichen Text wie der oben aufgeführte mit Ausnahme des ersten Satzes, in dem stattdessen darauf aufmerksam gemacht wurde, dass der Lernende den Reset-Button bereits zum 45ten Mal betätigt habe.

Der genaue Text des Reset-Hinweises ist dem Anhang II zu entnehmen. Auf der zweiten Faktorstufe dieser unabhängigen Variablen erfolgte der aufgeführte Hinweis hingegen nicht.

Im Gegensatz zu den ersten beiden unabhängigen Variablen wurde beim dritten Faktor unabhängig vom Nutzerverhalten ein Hinweis auf der ersten Faktorstufe dargeboten, auf der zweiten hingegen nicht. Der Hinweis lautete „Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!“ und wurde auf der Textseite (s. Anhang KK) unmittelbar vor Darbietung der dynamischen, interaktiven Visualisierung präsentiert. Um zu gewährleisten, dass der Satz von den Lernenden

Beachtung fand, wurde dieser mit einem roten Ausführungszeichen versehen, welches sich links vom Text befand (s. Anhang KK).

Die erste abhängige Variable erfasste die Behaltensleistung aller Probanden hinsichtlich der dynamischen, interaktiven Visualisierung, die zweite abhängige Variable bezog sich auf die Verständnisleistung der untersuchten Versuchspersonen.

Tabelle 13: 2x2x2-faktorieller, bivariater (Behalten und Verstehen) Versuchsplan.

		UV ₂ (Reset-Feedback)			
		vorhanden		nicht vorhanden	
UV ₁ (Zeit-Feedback)	UV ₃ (Reset-Hinweis)	vorhanden	nicht vorhanden	vorhanden	nicht vorhanden
		vorhanden	\bar{Y}_{1111}	\bar{Y}_{1112}	\bar{Y}_{1121}
	nicht vorhanden	\bar{Y}_{2111}	\bar{Y}_{2112}	\bar{Y}_{2121}	\bar{Y}_{2122}

Versuchsmaterial

Als Versuchsmaterial konnte zu großen Teilen auf das Computerprogramm der fünften und sechsten Studie (s. Abschnitt 2.1.2 u. 2.2.2) zurückgegriffen werden. Dabei wurde der verwendete Lerntext der vorherigen Untersuchungen unverändert übernommen, mit Ausnahme der letzten Textseite, die unmittelbar vor der interaktiven, dynamischen Visualisierung dargeboten wurde. Auf dieser letzten Seite, welche die zu verändernden Parameter der interaktiven Animation beschrieb, wurde auf Anraten der Teilnehmer aus der sechsten Untersuchung eine wesentlich detailliertere Darstellung der einzelnen, für die Ausbildung des Kohonennetzes relevanten Parameter vorgenommen (s. Anhang JJ). Auch die nachfolgende Textseite (s. Anhang KK) wurde geringfügig ergänzt, verwies auf die Wichtigkeit der dynamischen Abbildung für die im Anschluss gestellten anspruchsvollen Fragen und bat um ausgiebiges Verändern der dort befindlichen Schieberegler. In einem Satz wurde in knapper Form beschrieben, was auf der nachfolgend dargebotenen interaktiven Animation zu sehen war. Auch diese Modifikation erfolgte auf Anraten der Seminarteilnehmer.

Neben dem Lerntext blieb auch die eingesetzte interaktive Animation weitgehend unverändert. Lediglich die Position des Reset-Buttons wurde verändert, um im Einklang des Gestaltgesetzes der Nähe (z.B. Zimbardo & Gerrig, 2004) klarer hervorzuheben, dass der Reset-Button sich auf die Gewichte des Kohonennetzes bezieht und nicht die Parameter auf ihren Ausgangszustand zurücksetzt (s. Abschnitt 2.1.2). Folglich wurde der Reset-Button unmittelbar unterhalb des Kohonennetzes platziert. Die neue Darstellung ist dem Anhang LL zu entnehmen.

Die aufgeführten Modifikationen dienten dazu, allen Versuchspersonen des siebten Experiments ein besseres Verständnis der dargebotenen Lerninhalte zu ermöglichen (hinsichtlich der ethischen Gesichtspunkte vgl. z.B. Bortz & Döring, 2006; Sarris, 1999; Zimbardo & Gerrig, 2004).

Die beschriebenen Veränderungen erfolgten für alle Versuchsbedingungen gleichermaßen, sodass sich auch in dieser Studie die Experimentalbedingungen lediglich hinsichtlich der oben aufgeführten drei unabhängigen Variablen unterschieden.

Die Präsentation der Behaltens- und Verständnisfragen, der subjektiven Einschätzung zur Animation sowie der persönlichen Angaben erfolgte analog zum fünften Experiment (s. Abschnitt 2.1.2), wobei Lernfragen in Abhängigkeit von Trennschärfen, Itemschwierigkeiten und Korrelation zum fremden Behaltens- oder Verständnisscore zum Teil aussortiert und durch neue Items ersetzt wurden. Die neuen, selbstkonstruierten Fragen mit ihren korrekten Lösungen sind dem Anhang MM zu entnehmen.

Versuchsablauf und Datenaggregation

Der Versuchsablauf und die Datenaggregation war mit Ausnahme des neuen Auswertungsschemas für die teilweise neu konstruierten offenen Fragen (neues Schema s. Anhang NN) identisch mit dem fünften Experiment. Der Austausch von Lernfragen mit geringen Trennschärfen durch neue Items führte zu einem Cronbachs α -Wert von .346 für die Behaltensskala und .489 für die Verständnisskala (vgl. Abschnitt 2.1.2 u. 2.2.2).

Da es sich hierbei immer noch um relativ geringe Kennwerte handelt wurde wie in den beiden vorherigen Studien auf Grundlage der durchgeführten Itemanalyse eine Itemselektion vorgenommen (Vergleiche jedoch Fußnote 3 auf Seite 91). Durch Eliminierung der zweiten und fünften Behaltensfrage konnte der Cronbachs α -Wert für die Behaltensskala auf .450 gesteigert werden, bei den Verständnisfragen konnte durch Verzicht auf die erste und siebte Multiple-Choice Frage eine Steigerung des Cronbachs α -Wertes auf .515 erzielt werden. Die Reliabilitätswerte erlauben trotz dieser Steigerung vermutlich keine fundierten Aussagen

über Leistungsunterschiede zwischen bestimmten Personen, sondern zeigen an, dass wenn überhaupt nur Vergleiche von Gruppenmittelwerten statthaft sind.

Es ist wie in der fünften und sechsten Untersuchung darauf hinzuweisen, dass sämtliche nachfolgend aufgeführten Ergebnisse (s. Abschnitt 2.3.3) sich durch die durchgeführte Itemselektion nur marginal verändert haben. Durch die Itemselektion wurde kein nicht signifikantes Ergebnis nachträglich signifikant oder umgekehrt.

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 106 Versuchspersonen teil, die zufällig auf die vier Gruppen verteilt wurden (je 13 Personen in den Bedingungen eins, drei, sieben und acht, je 14 für die Bedingungen zwei, vier und sechs sowie 12 Probanden in der fünften Versuchsbedingung).

Das Durchschnittsalter der Versuchsteilnehmer betrug 22.2 Jahre (18-38 Jahre), wovon die meisten Studenten sich im ersten Semester (Modalwert) befanden ($M = 2.1$; $SD = 2.1$).

Von den 106 Personen waren 82 weiblichen Geschlechts (77.4%).

85 Psychologiestudenten nahmen an dem PC-Experiment teil, 11 Probanden studierten Betriebs- oder Volkswirtschaftslehre und weitere zehn Personen befanden sich in anderen Studiengängen (siehe Tabelle 14).

102 der 106 Teilnehmer besaßen nach eigenen Angaben keinerlei Vorkenntnisse über den dargebotenen Lerninhalt, lediglich vier Personen schätzten ihre Vorkenntnisse als gering ein. Wie im fünften Experiment (s. Abschnitt 2.1) dürfte der sehr geringe Anteil an Probanden mit Vorkenntnissen darauf zurückzuführen sein, dass mit kompetitiven Netzen und Kohonennetzen ein Spezialgebiet neuronaler Netze als Lernmaterial verwendet wurde. Die große Anzahl an Studenten aus dem ersten Semester trug vermutlich ebenfalls zu diesem Befund bei.

Tabelle 14 enthält detaillierte Angaben über die Stichprobenmerkmale. Dabei erkennt man, dass die meisten Moderatorvariablen auf den vier Versuchsbedingungen relativ gleich verteilt sind. Inferenzstatistisch findet sich folglich auch kein statistisch bedeutsamer Unterschied bezüglich der Zellenverteilung für die Variablen „Geschlecht“, „Alter“, „Semester“, „Vorkenntnisse“ und „Studienfach“ (die p -Werte betragen zwischen .279 und 1.000; jeweils $1-\beta = .5897$ für die nominalskalierten Variablen bei $\omega = .3$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$; $1-\beta = .8149$ für die Variablen Alter und Semester bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$). Zudem zeigen die genannten Variablen nur relativ geringe Korrelationen zu

den Behaltens- und Verständniswerten (die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen -.211 und .166).

Da keinerlei Hinweise vorlagen, die für einen Ausschluss von Versuchsteilnehmern gesprochen hätten, wurden alle Personen bei der Datenauswertung berücksichtigt.

Tabelle 14: Aufschlüsselung der Versuchsteilnehmer nach Auswertung der persönlichen Angaben auf die acht Versuchsbedingungen. In den Versuchsbedingungen eins bis vier wurde ein Zeit-Feedback dargeboten, sofern die Lernenden sich weniger als fünf Minuten mit der interaktiven Animation beschäftigt hatten. In den Bedingungen eins und zwei sowie fünf und sechs erfolgte ein Reset-Feedback, sofern der Lernende den Reset-Button weniger als 30 Mal oder häufiger als 45 Mal betätigt hatte. In allen ungeraden Versuchsbedingungen wurde den Lernenden unmittelbar vor der interaktiven Animation ein Hinweis zur Benutzung des Reset-Buttons in schriftlicher Form dargeboten.

	Versuchsbedingung								Gesamt
	1	2	3	4	5	6	7	8	
N	13	14	13	14	12	14	13	13	106
Geschlecht	23.1%	21.4%	23.1%	21.4%	25.0%	21.4%	23.1%	23.1%	22.6%
Alter	20.8	21.0	22.8	23.1	22.4	22.6	21.2	23.4	22.2
Semester	1.3	2.0	2.2	2.4	2.3	3.1	1.5	1.6	2.1
Vorkenntnisse	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	0.0%	7.7%	15.4%	3.8%
	Studienfächer								
Psychologie	92.3%	78.6%	76.9%	78.6%	75.0%	71.4%	84.6%	84.6%	80.2%
BWL/VWL	0.0%	14.3%	15.4%	14.3%	8.3%	21.4%	0.0%	7.7%	10.4%
Sonstige	7.7%	7.1%	7.7%	7.1%	16.7%	7.1%	15.4%	7.7%	9.4%

2.3.3. Ergebnisse & Diskussion

Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen

Die Prüfung der in Abschnitt 1.2.3 genannten Voraussetzungen für die MANOVA erbringt keine signifikanten Abweichungen, sodass die Annahmen beibehalten werden. Genauere Angaben zur Prüfung der Annahmeveraussetzungen sind dem Anhang OO zu entnehmen.

Hypothese 1

Die erste Hypothese besagt, dass ein Hinweis, der diejenigen Probanden, die eine dargebotene interaktive Animation nur kurzzeitig betrachten, über diesen Umstand informiert, zu verbesserten Behaltensleistungen präsentierter Lerninhalte führt.

Deskriptivstatistisch wird diese Hypothese nicht bestätigt. Versuchspersonen, die den Hinweis nicht erhalten, erzielten durchschnittlich bessere Behaltensleistungen ($M = 4.87$; $SD = 1.67$) als Probanden, denen man bei einer Betrachtungszeit von unter fünf Minuten und Betätigung der Weiter-Taste den Zeithinweis darbietet ($M = 4.52$; $SD = 1.83$). Eine inferenzstatistische Überprüfung des schwachen Effektes ($d = 0.20$) erübrigt sich, da dieser hypothesenkonträr in Erscheinung tritt. Durch die ausreichend große Teststärke von 97.66% kann die Nullhypothese für einen postulierten mittleren Effekt ($f^2 = .15$) und einem Alphaniveau von 5% angenommen werden. Demnach fördert ein Hinweis, der Probanden darüber informiert, dass diese eine dargebotene interaktive Animation nur kurzzeitig betrachten, die Behaltensleistungen von präsentierten Lerninhalten nicht.

Um zu klären, warum der aufgeführte Zeithinweis nicht zu einer Verbesserung der Behaltensleistungen der Probanden führt, wurden die Zeiten analysiert, die die Lernenden mit der interaktiven Visualisierung verbrachten. Dabei zeigt sich paradoxerweise, dass die Versuchspersonen ohne Zeithinweis die Animation durchschnittlich über eine Minute länger betrachteten ($M = 611.3$ Sekunden; $SD = 374.3$) als diejenigen, denen der Zeithinweis präsentiert wurde ($M = 545.6$ Sekunden; $SD = 264.8$). Dieser ebenfalls kleine Effekt ($d = 0.21$) lässt erkennen, dass der dargebotene Zeithinweis nicht zu durchschnittlich längeren Betrachtungszeiten führt, sondern die Gruppe ohne diesen Hinweis die Animation sogar geringfügig länger betrachtet. Vermutlich war das aufgrund der vorherigen beiden Untersuchungen ausgewählte Zeitintervall von fünf Minuten zu knapp bemessen. Für diese Annahme lassen sich zum einen die oben aufgeführten Mittelwerte heranziehen, die deutlich über diesen 300 Sekunden liegen. Zum anderen kann darauf verwiesen werden, dass nur 10 der insgesamt 52 Probanden, die den Zeithinweis nicht erhalten haben, weniger als 300 Sekunden mit der interaktiven Animation verbracht haben. Im Vergleich dazu betrachten nur 3 der 54 Versuchsteilnehmer, die in der Bedingung mit Zeithinweis untersucht worden sind, die interaktive Visualisierung weniger als 300 Sekunden. Dies deutet zwar darauf hin, dass der Zeithinweis bei einigen wenigen Probanden zu einer längeren Betrachtungszeit führt, jedoch bei einem großen Teil der Probanden überhaupt nicht eingeblendet wird und folglich seine Wirkung nicht entfalten kann. In zukünftigen Experimenten sollte demnach eine

sorgfältigere Auswahl des Zeitintervalls oder aber ein Zeithinweis an alle Probanden einer Untersuchungsbedingung erfolgen.

Hypothese 2

In der zweiten Hypothese wird die Vermutung geäußert, dass ein Hinweis, der diejenigen Probanden, die einen Reset-Button in einer interaktiven Animation nur selten verwenden, über diesen Umstand informiert, zu besseren Behaltens- und Verständnisleistungen der präsentierten Lerninhalte führt.

Für die Behaltensleistung zeigt sich gemäß der zweiten Hypothese deskriptivstatistisch ein Mittelwertsunterschied zugunsten der Bedingung mit eingeblendetem Hinweis auf den Reset-Button. Während diese Gruppe auf eine durchschnittliche Behaltensleistung von 4.85 Punkten bei einer Standardabweichung von 1.61 Punkten kommt, beträgt der Mittelwert der Probanden ohne diesen Hinweis nur 4.53 Punkte ($SD = 1.89$). Die gefundene Differenz muss jedoch als gering bezeichnet werden ($d = 0.18$). Inferenzstatistisch kann dieser Effekt zudem nicht abgesichert werden ($F(1, 98) = 1.079$; $p = .301$).

Da die ermittelte Teststärke für einen mittleren Effekt ($f^2 = .15$ und einem Signifikanzniveau von 5%) 97.66% beträgt, kann auf Grundlage der siebten Untersuchung davon ausgegangen werden, dass der eingeblendete Reset-Hinweis die Behaltensleistung der Probanden nicht oder nur sehr geringfügig fördert.

Hinsichtlich der Verständnisleistungen kann die Gruppe ohne Reset-Feedback durchschnittlich minimal bessere Lernleistungen erzielen ($M = 3.11$; $SD = 1.65$) als die Gruppe mit diesem Hinweis ($M = 2.87$; $SD = 1.70$). Eine inferenzstatistische Analyse des sehr kleinen Effekts ($d = 0.15$) erübrigt sich, da bereits aufgrund der deskriptivstatistischen Befunde diese gerichtete zweite Hypothese zurückgewiesen werden kann. Aufgrund der ausreichend großen Teststärke ($1-\beta = .977$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$) kann die Nullhypothese angenommen werden. Festgehalten werden kann, dass der eingeblendete Reset-Hinweis die Verständnisleistung der Probanden nicht oder nur sehr geringfügig fördert.

Zur Klärung der Frage, warum der aufgeführte Reset-Hinweis nicht zu einer Verbesserung der Lernleistungen der Probanden geführt hat, wurden die Klickhäufigkeiten des Reset-Knopfes analysiert. Dabei zeigt sich, dass die Gruppe, die den eingeblendeten Reset-Hinweis erhält, diesen erwartungsgemäß signifikant häufiger benutzt ($F(1, 104) = 15.067$; $p = .0002$) als die Gruppe, bei der die Einblendung nicht erfolgt. Letztere Gruppe benutzt den Reset-Button durchschnittlich lediglich 6.11 Mal ($SD = 10.64$). Im Gegensatz

dazu erreichen Probanden, die unter der Bedingung des eingeblendeten Hinweises untersucht worden sind, einen Mittelwert von 15.94 ($SD = 15.06$). Die berechnete Differenz zwischen den beiden Bedingungen ($d = 0.77$) kann als groß bezeichnet werden.

Zusammengefasst zeigt die Analyse der Klickhäufigkeiten und Lernleistungen, dass zwar eine Steigerung der Benutzungshäufigkeit des Reset-Buttons durch den eingeblendeten Reset-Hinweis erzielt wird, die Lernleistungen der Probanden hiervon jedoch nicht betroffen sind. Offenbar reicht es nicht immer aus, lediglich die Nutzungshäufigkeit interaktiver Elemente zu erhöhen, um zu besseren Lernergebnissen der Benutzer zu gelangen.

Hypothese 3

Die dritte Hypothese postuliert, dass ein Hinweis, der Probanden im Vorfeld einer dynamischen, interaktiven Visualisierung um die systematische Überprüfung der dort variierbaren Parameter durch den Einsatz eines Reset-Buttons bittet, die Behaltens- und Verständnisleistungen der Lerninhalte fördert.

Deskriptivstatistisch kann diese Vermutung für die Behaltensleistungen der Lernenden nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigt sich, dass die Lernleistungen in den beiden Gruppen nahezu gleich ausfallen ($M_{\text{mit Reset-Hinweis}} = 4.65$ ($SD = 1.93$) zu $M_{\text{ohne Reset-Hinweis}} = 4.73$ ($SD = 1.59$)). Eine inferenzstatistische Analyse des ermittelten sehr kleinen Effektes ($d = 0.05$) erübrigt sich, da bereits die berechneten Mittelwerte der gerichteten Hypothese widersprechen. Somit lässt sich festhalten, dass ein Hinweis, der Probanden im Vorfeld einer dynamischen, interaktiven Visualisierung um Einsatz eines Reset-Buttons bittet, um die dortigen variierbaren Parameter systematisch zu testen, die Behaltensleistungen der Lerninhalte nicht oder nur in geringem Maße fördert.

Im Gegensatz dazu kann gemäß der Hypothese für die Verständnisleistungen eine deutliche Mittelwertsdifferenz zwischen den beiden Gruppen gefunden werden. Probanden, die den Reset-Hinweis unmittelbar vor der interaktiven Animation erhalten, erzielen eine durchschnittliche Verständnisleistung von 3.43 Punkten ($SD = 1.69$), während Lernende, denen man diesen Hinweis nicht darbietet, lediglich eine mittlere Lernleistung von 2.58 Punkten ($SD = 1.56$) erreichen. Die berechnete Effektstärke zeigt an, dass es sich um einen mittleren Effekt von $d = 0.52$ handelt. Dieser Effekt lässt sich inferenzstatistisch auf dem 1%-Niveau absichern ($F(1, 98) = 7.582$; $p = .007$). Somit kann nachgewiesen werden, dass ein einfacher Hinweis in Form eines einzelnen, im Vorfeld der Visualisierung präsentierten Satzes, der um die systematische Überprüfung der dort variierbaren Parameter durch den Einsatz eines Reset-Buttons bittet, die Verständnisleistungen der Lerninhalte fördert.

Die Auswertung der Klickhäufigkeiten des Reset-Buttons steht in Übereinstimmung mit diesem Befund. Es zeigt sich, dass Versuchsteilnehmer, die den Reset-Hinweis im Vorfeld der Animation erhalten, den Reset-Button deutlich häufiger betätigen als jene, bei denen dies nicht der Fall ist ($d = 0.76$). Im Durchschnitt verwendet letztere Gruppe die Reset-Taste 6.31 Mal ($SD = 10.54$), während erstere mit Reset-Hinweis 16.12 Mal ($SD = 15.29$) den Reset-Knopf drückt. Dieser Differenz ist auf dem 1%-Niveau signifikant ($F(1, 104) = 14.966$; $p = .0002$).

Im Gegensatz zur zweiten Hypothese (siehe oben) schlägt sich der Hinweis auf den Reset-Button nicht nur in einer höheren Nutzungshäufigkeit nieder, sondern fördert auch die Verständnisseleistungen der Lernenden. Es stellt sich die Frage, inwieweit sich die zweite von der dritten Hypothese unterscheidet.

Zum einen wurde der Reset-Hinweis auf der ersten Faktorstufe der dritten unabhängigen Variable im Vorfeld der Animation präsentiert und nicht – wie bei der ersten Faktorstufe des zweiten Faktors – während der Betrachtung dieser. Zum anderen erfolgt in der zweiten Hypothese der Hinweis nicht für jede Person, sondern in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens. Dieser Aspekt ist jedoch praktisch zu vernachlässigen, da keiner der 53 Probanden, die auf der zweiten Faktorstufe des zweiten Faktors untersucht worden sind, den Reset-Button häufiger als 30 und weniger als 45 Mal (siehe oben) betätigt haben. Daher ist davon auszugehen, dass auch auf der ersten Faktorstufe der zweiten unabhängigen Variable fast alle Probanden den Reset-Hinweis dargeboten bekommen haben. Leider wird nicht erfasst, welcher Proband diesen Hinweis erhalten hat und welcher nicht, sondern es ist lediglich die Klickhäufigkeit des Reset-Buttons selbst protokolliert worden.

Ein dritter Unterschied zwischen der zweiten und dritten Hypothese besteht in der Art des Hinweises. Während für die zweite unabhängige Variable lediglich um eine häufigere Nutzung der Reset-Taste gebeten wird, erfolgt durch den Satz „Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!“ zugleich auch der Hinweis, bei der Parameterprüfung systematisch vorzugehen. Es ist daher zu vermuten, dass die Aufforderung, eine systematische Prüfung vorzunehmen, nicht nur die Nutzungshäufigkeit des Reset-Knopfes, sondern auch das Verständnis des Lerninhaltes positiv beeinflusst. Diese Vermutung würde zudem gut zum Befund passen, dass lediglich die Verständnisseleistungen der Probanden, nicht aber deren Behaltensleistungen gesteigert werden. Die Behaltensleistungen sind mutmaßlich stärker davon abhängig, wie lange man sich mit der interaktiven Animation beschäftigt (s. Abschnitt 2.1.3 u. 2.2.3). Bezüglich der

Animationszeit ergibt sich gemäß dieser Vermutung für die dritte unabhängige Variable kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Bedingungen ($F(1, 104) = 0.332$; $p = .566$; $1 - \beta = .977$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Zusammengefasst könnte man nachträglich annehmen, dass Probanden durch den oben aufgeführten Hinweis zur Reset-Taste und zur systematischen Überprüfung der einzelnen Parameter die interaktive Animation besser verstanden haben, weil sie in stärkerem Maße systematisch und von Beginn an verschiedene Hypothesen über die Auswirkungen einzelner Parameter überprüft haben (vgl. Abschnitt 2.1.3). Diese Post hoc Hypothese bedarf einer neuen Untersuchung, die jedoch nicht mehr Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

2.4. Diskussion

In der zweiten Untersuchungsserie sind ausgewählte interaktive Elemente in Animationen und deren Einfluss auf die Lernleistungen von Benutzern untersucht worden.

Dabei zeigt sich, dass interaktive seductive details die Behaltens- und Verständnisseleistungen der Lernenden nicht negativ beeinflussen. Dies steht in Übereinstimmung mit den meisten Studien zum seductive detail Effekt (s. Abschnitt I.2.2.5 des Theorieteils), die ebenfalls keinen lernhinderlichen Einfluss dieser interessanten, aber für den eigentlichen Lerninhalt irrelevanten oder unwichtigen Zusätze nachweisen können. Für zukünftige Untersuchungen wäre eine Differenzierung verschiedener Arten und Ausprägungen von seductive details (z.B. vollkommen irrelevante vs. eher unwichtige Zusätze) sinnvoll (vgl. Schraw, 1998). Unter Umständen weisen die Befunde zum seductive details Effekt aber auch darauf hin, dass die CTML (s. Abschnitt I.2.2 des Theorieteils) von R. E. Mayer (2005b) einer Korrektur bedarf.

Neben der Untersuchung von interaktiven seductive details wird auch eine substantielle positive Korrelation zwischen der mit der interaktiven Animation verbrachten Zeit und der Behaltensleistung der Versuchsperson gefunden. Instruktionshinweise, die Animation länger zu betrachten, wirken sich jedoch nicht lernförderlich aus. Dies liegt möglicherweise an dem ungünstig gewählten Zeitintervall, durch das die Mehrzahl der Probanden gar nicht zu einer längeren Betrachtung aufgefordert wurde.

Der Reset-Button wird ohne weitere Instruktionshinweise überhaupt nicht oder nur sehr selten von Lernenden verwendet. Das Hinzufügen von Instruktionshinweisen, die darum bitten, die Reset-Taste häufiger zu benutzen, führen nicht immer zu einer Steigerung der Lernleistungen. Festgestellt worden ist jedoch, dass solche Instruktionshinweise mit der

Nutzungshäufigkeit dieses interaktiven Elements positiv korrelieren. Die Ergebnisse des siebten Experiments belegen wiederum, dass Instruktionshinweise, die im Vorfeld der interaktiven Visualisierung dargeboten werden und darum bitten, den Reset-Knopf systematisch zu verwenden, die Verständnisleistungen der Probanden fördern.

Als praktische Implikation für die Gestaltung von interaktiven Animationen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass das Einfügen interaktiver Elemente nur dann zu einem besseren Verständnis der Lernenden führt, wenn diese in der Folge (adäquat) genutzt werden. Da dies jedoch häufig nicht geschieht, sollte der Benutzer zur (systematischen) Verwendung interaktiver Elemente aufgefordert werden. Dabei geben die Befunde dieser Untersuchungsserie erste Hinweise darauf, dass spezifische und direktive Hinweise, wie mit den interaktiven Elementen umzugehen ist, allgemeinen Instruktionen, die lediglich um die häufigere Nutzung oder längere Betrachtung der Visualisierung bitten, vorzuziehen sind. Gleichwohl ist die Bestätigung dieser Vermutung noch in neuen Experimenten zu erbringen.

Zukünftig dürften auch vermehrt interaktive dynamische und zugleich adaptive Visualisierungen (vgl. van Merriënboer & Sweller, 2005) in multimedialen Lernumgebungen zum Einsatz gelangen. Mit dem Begriff adaptiv ist gemeint, dass der Computer nicht nur auf Parameterveränderungen reagiert, die vom Benutzer interaktiv vorgenommen werden, sondern das Vorgehen des Lernenden auch bewertet und in Abhängigkeit davon beispielsweise die Visualisierung anpasst oder dem Benutzer ein Feedback übermittelt (vgl. a. Kalyuga, 2005). So könnte das multimediale Lernprogramm einerseits an das Vorwissen des Nutzers angepasst werden, andererseits insbesondere Novizen wertvolle Tipps zum Umgang mit der Visualisierung übermitteln. Die vorgestellte siebte Untersuchung stellt einen ersten Schritt in diese aktuelle Entwicklung (vgl. van Merriënboer & Sweller, 2005) dar. Das Lernprogramm hat in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens Texthinweise zur Zeit, die mit der Animation verbracht wurde, und zur Nutzungshäufigkeit des Reset-Buttons eingeblendet und um eine Verhaltensänderung des Benutzers gebeten. Teilweise zu beobachtende Verhaltensänderungen mündeten unter diesen Untersuchungsbedingungen jedoch noch nicht in bessere Lernleistungen. Gerade in Kombination mit dem im Vorfeld dargebotenen Instruktionshinweis, der zu einem besseren Verständnis der Lerninhalte führt, kann vermutet werden, dass die Bewertung des Nutzerverhaltens von Seiten des PCs relativ rasch vorgenommen werden muss (s. a. Kalyuga, 2005; Kalyuga & Sweller, 2004). Ein inadäquates Vorgehen des Benutzers könnte so frühzeitig vermieden werden, damit die Generierung und Automatisierung falscher

Schemata zum dargebotenen Lerninhalt, die später nur noch mühsam zu korrigieren sind, in der ersten Beschäftigungsphase gar nicht erst entstehen können. Zu vermuten ist, dass die Realisierung der angesprochenen Bewertungsprozesse durch solche Rechenverfahren realisiert werden könnten, die häufig im Kontext des Themenbereichs „Künstliche Intelligenz“ aufgeführt werden (vgl. i. G. dazu Kalyuga & Sweller, 2004), worunter auch neuronale Netze fallen. Diese kommen nicht nur – wie in der vorliegenden Arbeit – als Lernmaterial und Methode der Datenauswertung sinnvoll zur Anwendung, sondern können auch dazu dienen, Bewertungsprozesse in multimedialen Lernumgebungen vorzunehmen. Derzeitig kann kaum prognostiziert werden, ob solche Lernumgebungen Lehrer- und Dozentenaufgaben obsolet machen und zu Personaleinsparungen führen. Auf Basis des aktuellen Standes der Multimediaentwicklung kann jedoch vorsichtig vermutet werden, dass Dozenten und Lehrer in naher Zukunft nicht durch intelligente Computer ersetzt werden, sondern sich das Aufgabenspektrum von Dozenten und Lehrern verschiebt. Vermutlich werden zwar immer mehr Lerninhalte multimedial vermittelt, doch müssen diese Lernumgebungen auch generiert, aktualisiert und ständig fortentwickelt werden, wie beispielsweise durch den Einsatz zeitaufwendiger formativer Evaluationen. Diese Aufgaben werden mutmaßlich auf die Beteiligung von fachkundigen Lehrern und Dozenten angewiesen sein, zumal die von ihnen erworbenen Kompetenzen in der Vermittlung der spezifischen Lerninhalte nach Möglichkeit in die multimedialen Lernprogramme einfließen sollten. Neben diesen Personen sind auch Psychologen hervorzuheben, die im Bereich der Multimediaforschung tätig sind. Sie tragen zur Bereitstellung von empirisch fundierten und theoretisch verankerten Design- und Gestaltungsempfehlungen für multimediale Lernumgebungen bei, die zu einer erfolgreicherer Wissensvermittlung führen.

III. Diskussion

In der nun folgenden Gesamtdiskussion soll zunächst der theoretische und empirische Teil der vorliegenden Arbeit zusammengefasst werden. Anschließend werden die sich aus den Untersuchungsergebnissen ergebenden praktischen Implikationen für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen skizziert. Einschränkungen, die bei der Generalisierung der Untersuchungsbefunde zu beachten sind, werden aufgeführt. Ein kurzer Ausblick auf potentielle zukünftige Forschungsfragen komplettiert die Arbeit.

Im theoretischen Teil der Arbeit stehen verschiedene Theorien zum multimedialen Lernen im Vordergrund der Betrachtungen. Besonders ausführlich werden die beiden derzeit dominierenden Theorien, die Cognitive Load Theorie und die kognitive Theorie multimedialen Lernens erörtert. Aber auch vier weitere Modelle, die bisher eine nachrangige Bedeutung innerhalb der Multimediaforschung einnehmen, finden hier Berücksichtigung. Allen Modellen gemeinsam ist, dass sie u.a. die Frage zu beantworten versuchen, wie multimediale Lernumgebungen möglichst lernförderlich gestaltet werden können.

Im empirischen Teil der vorliegenden Arbeit werden in zwei Untersuchungsserien ausgewählte Empfehlungen zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen überprüft.

Die erste Experimentalserie mit ihren vier Telexperimenten befasst sich mit der Frage, ob die Anordnung von Ursache und Wirkung die Lernleistung für in interaktiven Animationen präsentierte Kausalzusammenhänge beeinflusst. Dabei zeigt sich, dass eine links platzierte Ursache und rechts positionierte Wirkung im Vergleich zu anderen Positionierungsmöglichkeiten bei Frauen, nicht jedoch bei Männern zu besseren Lernleistungen führt. Signalisierungen, die auf die Anordnung des Kausalzusammenhanges hinweisen fördern die Verständnisleistung Lernender. Neben Geschlecht moderieren auch Computererfahrung und räumliches Vorstellungsvermögen den Einfluss der Anordnung der Ursache-Wirkungs-Beziehung auf die Lernleistung. Je höher die Computererfahrung, desto besser fallen die Verständnisleistungen bei Einhaltung der Leserichtung von links nach rechts im Vergleich zu anderen Positionierungsmöglichkeiten aus. Probanden mittlerer bis hoher räumlicher Kompetenzen werden in ihren Lernleistungen besonders von der Anordnung des Kausalzusammenhanges beeinflusst.

Als praktische Implikation für die Gestaltung von interaktiven Animationen lässt sich festhalten, dass Kausalzusammenhänge in interaktiven Animationen von links nach rechts und mit leserichtungsanzeigenden Signalisierungen dargeboten werden sollten. Die zahlreichen moderierenden Einflüsse auf diesen Leserichtungseffekt deuten jedoch darauf

hin, dass bei zukünftigen Untersuchungen zum multimedialen Lernen differentialpsychologischen Aspekten besondere Beachtung geschenkt werden sollte. Derartige Variablen wurden in der CLT und CTML bisher vornehmlich in Form der Unterscheidung zwischen Experten und Novizen aufgegriffen (s. Abschnitte I.2.1 und I.2.2 im theoretischen Teil der Arbeit). Im Gegensatz dazu sind moderierende Einflüsse fester Bestandteil des integrativen Modells multimedialer Effekte beim Lernen (s. Abschnitte I.2.3.4 im theoretischen Teil der Arbeit). Dieses Modell könnte als Ausgangsbasis für weitere Untersuchungen zu Moderator- und Mediatorvariablen dienen.

Die zweite aus drei Einzelstudien bestehende Untersuchungsserie beschäftigt sich mit ausgewählten interaktiven Elementen in Animationen und deren Einfluss auf die Lernleistung von Benutzern. Es zeigt sich, dass viele Lernende sowohl nützliche als auch für den Lernerfolg irrelevante interaktive Elemente überhaupt nicht oder nur sehr selten benutzen. Im Vorfeld der interaktiven Visualisierung dargebotene Instruktionshinweise, die darum bitten, spezifische interaktive Elemente systematisch zu verwenden, steigern sowohl die Nutzungshäufigkeit dieser Elemente als auch die Verständnisleistung der Benutzer.

Als praktische Konsequenz für die Gestaltung von interaktiven Animationen ergibt sich, dass das Einfügen interaktiver Elemente nur dann zu einem besseren Verständnis der Lernenden führt, wenn diese auch (adäquat) genutzt werden. Da dies jedoch häufig nicht der Fall zu sein scheint, sollte der Benutzer zur (systematischen) Verwendung interaktiver Elemente aufgefordert werden. Dabei geben die Befunde der zweiten Untersuchungsserie erste Hinweise darauf, dass spezifische und direktive Hinweise, wie mit den interaktiven Elementen umzugehen ist, allgemeinen Instruktionen, die lediglich um die häufigere Nutzung oder längere Betrachtung der Visualisierung bitten, vorzuziehen sind. Eine solche direktive Vorgehensweise steht in Übereinstimmung mit der CLT und CTML (s. Abschnitte I.2.1 und I.2.2 im theoretischen Teil der Arbeit) und Kontrast zu Konzepten wie dem „entdeckenden Lernen“ (discovery learning, z.B. Baldwin, 1998; de Jong & van Joolingen, 1998) oder der „erfahrungsorientierten Erziehung“ (experiential education, z.B. Dewey, 1938; Kraft & Sakofs, 1989). Die Verwendung spezifischer und direkter Hinweise an den Lernenden lässt sich neben der CLT und CTML auch mit anderen Theorien zum multimedialen Lernen vereinbaren. Beispielsweise könnte der Aufbau flexibler und multipler Wissensrepräsentationen, der u.a. von der CFT gefordert wird (s. Abschnitt I.2.3.1 im Theorieteil) durch eine direktivere Wissensvermittlung besonders gut zu bewerkstelligen

sein. Zudem wird hierdurch möglicherweise eine kognitive Überforderung des Lernenden aufgrund der Komplexität des Lerninhaltes verhindert.

Hervorzuheben ist die grundsätzliche Vorgehensweise in den beiden Untersuchungsserien. In dem jeweils ersten Experiment beider Untersuchungsreihen finden sich interessante, aber a priori nicht postulierte Zusammenhänge, die in den nachfolgenden Studien aufgegriffen, empirisch abgesichert und weiter spezifiziert werden. Diese Herangehensweise illustriert, dass eine theoretische Einbettung einzelner Gestaltungsempfehlungen nicht notwendigerweise im Vorfeld einer Untersuchung vorzunehmen ist.

Die im empirischen Teil der Arbeit gefundenen Ergebnisse unterliegen zahlreichen Einschränkungen. Mit Ausnahme der dritten und siebten Untersuchung setzen sich die Stichproben der einzelnen Studien mehrheitlich aus Psychologiestudentinnen der ersten Semester zusammen. Inwiefern sich die Ergebnisse auf andere Personengruppen übertragen lassen, ist unklar. Zudem besaßen die meisten Versuchsteilnehmer keinerlei Vorkenntnisse über das zu vermittelnde Themengebiet. Möglicherweise resultieren für Experten andere Gestaltungsempfehlungen als jene, die in den vorliegenden Untersuchungen detektiert werden konnten. Auch die Motivation der Versuchsteilnahme wird sich in fünf der sieben Untersuchungen mutmaßlich auf den Erhalt von für das Studium benötigten Versuchspersonenstunden beschränken. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach Sicherstellung der externen Validität in den zumeist experimentellen Untersuchungssettings. Die dritte und siebte Untersuchung (Online-Experiment und Studie im Rahmen eines Seminars) können hierbei als erste Hinweise betrachtet werden, dass die gefundenen Ergebnisse teilweise auf andere Personengruppen und Lernsituationen generalisiert werden können.

Hinsichtlich des für die Untersuchungen ausgewählten Lernmaterials ist zu beachten, dass es sich bei neuronalen Netzen um ein mathematisches Themengebiet handelt. Ob und inwieweit bei anderen Lernmaterialien ähnliche Gestaltungsempfehlungen resultieren, ist unklar. Die in Abschnitt I.2.2.5 und I.2.2.6 des Theorieteils aufgeführten Untersuchungen von De Westelinck, Valcke, De Craene und Kirschner (2005) lassen vermuten, dass die sich ergebenden praktischen Implikationen für andere Wissensgebiete zumindest einer Modifikation bedürfen.

Neben den möglichen zukünftigen Forschungsfragen, welche bereits in den Diskussionen der beiden Untersuchungsserien aufgeführt wurden, wäre es begrüßenswert, zukünftig

stärker motivationale Effekte beim Lernen mit Multimedia mit einzubeziehen. Zudem sollten längerfristige Lerneffekte über mehrere Wochen und Monate Berücksichtigung finden, die in der bisherigen Forschung kaum untersucht wurden. Auch eine Integration verschiedener Gestaltungsempfehlungen ist in zukünftigen Untersuchungen erstrebenswert.

Die vorliegende Arbeit begann mit einem Zitat von Thomas Alva Edison aus dem Jahr 1922. Dort prognostizierte Edison, dass in unserem Bildungssystem bewegte Bilder in wenigen Jahren den Gebrauch von Lehrbüchern größtenteils oder gänzlich ersetzen würden. Auch wenn sich diese Vorhersage bis heute als falsch erwiesen hat, so nehmen (interaktive) Animationen, die beispielsweise in multimedialen Lernumgebungen zum Einsatz gelangen, einen immer größeren Stellenwert bei der Wissensvermittlung ein. Gerade deshalb ist die adäquate Gestaltung solcher interaktiver Animationen, mit der sich diese Arbeit auseinandergesetzt hat, von großer Bedeutung. Wie schwer eine solche Gestaltung zu bewerkstelligen ist, bezeugt das abschließende Zitat von Bill Tytla aus dem Jahr 1937.

„There is no particular mystery in animation...it's really very simple, and like anything that is simple, it is about the hardest thing in the world to do.” – Bill Tytla, 1937 (zitiert nach: Lasseter, 1987)

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers and Education*, 33, 131-152.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16, 183-198.
- Ainsworth, S., Bibby, P. A. & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primacy mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11, 25-61.
- Ainsworth, S. & van Labeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14, 241-255.
- Aldrich, F. K. & Parkin, A. J. (1988). Improving the retention of aurally presented information. In M. M. Gruneberg, P. E. Morris & R. N. Sykes (Hrsg.), *Practical aspects of memory* (S. 490-493). Chichester, England: Wiley.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. Anders-Ericsson & J. Smith (Hrsg.), *Towards a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Asendorpf, J. B. (2003). *Psychologie der Persönlichkeit* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. W. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*, 70, 181-214.
- Atkinson, R. K., Mayer, R. E. & Merrill, M. M. (2005). Fostering social agency in multimedia learning: Examining the impact of an animated agent's voice. *Contemporary Educational Psychology*, 30, 117-139.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

- Ayres, P. (1993). Why goal-free problems can facilitate learning. *Contemporary Educational Psychology, 18*, 376-381.
- Ayres, P. & Sweller, J. (1990). Locus of difficulty in multi-stage mathematics problems. *American Journal of Psychology, 103*, 167-193.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science, 255*, 556-559.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory. *Trends in Cognitive Science, 4*, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist, 7*, 85-97.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (Bd. 8, S. 47-89). New York: Academic press.
- Baecker, R. M., Grudin, J., Buxton, W. & Greenberg, S. (1995). Human-Computer Interaction: Toward the year 2000. In R. M. Baecker (Hrsg.), *Groupware and computer-supported cooperative work* (S. 741 - 753). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Baek, Y. K. & Layne, B. H. (1988). Color, graphics, and animation in a computer-assisted learning tutorial lesson. *Journal of Computer-Based Instruction, 15*, 131-135.
- Baggett, P. (1984). Role of temporal overlap of visual and auditory material in forming dual media associations. *Journal of Educational Psychology, 76*, 408-417.
- Baggett, P. (1989). Understanding visual and verbal messages. In H. Mandl & J. R. Levin (Hrsg.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (S. 101-124). Amsterdam: Elsevier.
- Baggett, P. & Ehrenfeucht, A. (1983). Encoding and retaining information in the visuals and verbals of an educational movie. *Educational Communication and Technology Journal, 31*, 23-32.

- Baker, R. S., Corbett, A. T., Koedinger, K. R. & Wagner, A. Z. (2004, April). *Off-task behavior in the cognitive tutor classroom: when students 'gaming the system'*. Paper presented at the ACM CHI 2004: Computer-Human Interaction, Vienna, Austria.
- Baldwin, D. (1996). Discovery learning in computer science. *ACM SIGCSE Bulletin*, 28, 222-226.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: a study in experimental and social psychology*. New York: Cambridge University Press.
- Bauer, P. J. & Mandler, J. M. (1989). One thing follows another: Effects of temporal structure on one-to two-year olds' recall of events. *Developmental Psychology*, 25, 197-206.
- Bauer, P. J. & Mandler, J. M. (1992). Putting the horse before the cart: The use of temporal order in recall of events by one-year-old children. *Developmental Psychology*, 28, 441-452.
- Bauer, P. J. & Shore, C. M. (1987). Making a memorable event: Effects of familiarity and organization on young children's recall of action sequences. *Cognitive Development*, 2, 327-338.
- Beagles-Roos, J. & Gat, I. (1983). Specific impact of radio and television on children's story comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 75, 128-137.
- Bearne, M., Jones, S. & Sapsford-Francis, J. (1994, October). *Towards usability guidelines for multimedia systems*. Paper presented at the Proceedings of the second ACM international conference on Multimedia (MULTIMEDIA'94), San Francisco, California, United States.
- Bebout, L. J., Segalowitz, S. J. & White, G. J. (1980). Children's comprehension of causal constructions with "because" and "so". *Child Development*, 51, 565-568.
- Bereiter, C. & Scardamalia, M. (1985). Cognitive coping strategies and the problem of "inert knowlege". In S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Hrsg.), *Thinking and learning*

- skills: Current research and open questions* (Bd. 2, S. 65-80). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bétrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 287-296). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Bétrancourt, M. & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on users' performance: A review. *Le Travail Humain*, 63, 311-329.
- Bibby, P. A. & Payne, S. J. (1993). Internalization and the use specificity of device knowledge. *Human-Computer Interaction*, 8, 25-56.
- Biedermann, I. (1981). On the semantics of a glance at a scene. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Hrsg.), *Perceptual organization* (S. 215-253). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bindra, D., Clarke, K. A. & Shultz, T. R. (1980). Understanding predictive relations of necessity and sufficiency in formally equivalent "causal" and "logical" problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 422-443.
- Birg, G. (1978). Subjective aspects of physical work. *Ergonomics*, 21, 215-220.
- Blake, T. (1977). Motion in instructional media: Some subject-display mode interactions. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 975-985.
- Bloom, B. S. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives. The classification of educational goals, Handbook I: Cognitive domain*. New York: Longmans Green.
- Bloom, B. S., Madaus, G. F. & Hastings, J. T. (1981). *Evaluation to improve learning*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Bobis, J., Sweller, J. & Cooper, M. (1993). The redundancy effect in an elementary school geometry task. *Learning and Instruction*, 3, 1-21.

- Bobis, J., Sweller, J. & Cooper, M. (1994). Demands imposed on primary-school students by geometric models. *Contemporary Educational Psychology*, 19, 108-117.
- Bodemer, D. & Ploetzner, R. (2002). Encouraging the active integration of information during learning with multiple and interactive representations. In R. Ploetzner (Hrsg.), *Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. Tübingen, Germany: Knowledge Media Research Center.
- Bodemer, D., Ploetzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction*, 14, 325-341.
- Borba, M. C. (1994, July/August). *A model for student's understanding in a multi-representational software environment*. Paper presented at the 18th International Conference for the Psychology of Mathematics Education, Lissabon.
- Bortz, J. (2004). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Auflage). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Bransford, J. D. (1978). *Human cognition*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Bransford, J. D., Franks, J. J., Vye, N. J. & Sherwood, R. D. (1989). New approaches to instruction: Because wisdom can't be told. In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning* (S. 470-497). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bratfisch, O., Borg, G. & Dornic, S. (1972). *Perceived item-difficulty in three tests of intellectual performance capacity (Rep. No. 29)*. Stockholm: Institute of Applied Psychology.

- Brna, P. (1996, Januar). *Can't see the words for the tree: Interpretation and graphical representation*. Paper presented at the I. E. E. Colloquium on thinking with diagrams, London.
- Brody, P. J. (1981). Research on pictures in instructional texts: The need for a broadened perspective. *Educational Communication and Technology Journal*, 29, 93-100.
- Brown, A. L. (1989). Analogical learning and transfer: What develops? In S. Vosniadou & A. Ortony (Hrsg.), *Similarity and analogical reasoning* (S. 470-497). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2001). Aufmerksamkeitsverteilung oder Aufmerksamkeitsfokussierung? Empirische Ergebnisse zur "Split-Attention-Hypothese" beim Lernen mit Multimedia. [Split of attention or focusing of attention? Empirical results on the splitattention-hypothesis in multimedia learning]. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 357–366.
- 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., Plass, J. L. & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning using dual-task methodology. *Experimental Psychology*, 49, 109–119.
- Burns, B. & Vollmeyer, R. (2002). Goal specificity effects on hypothesis testing in problem solving. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 55, 241-261.

- Butcher, K. R. (2006). Learning from text with diagrams: Promoting mental model development and inference generation. *Journal of Educational Psychology, 98*, 182-197.
- Byrne, M. D., Catrambone, R. & Stasko, J. T. (1999). Evaluating animations as student aids in learning computer algorithms. *Computers & Education, 33*, 253-278.
- Carney, R. N. & Levin, J. R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review, 14*, 5-26.
- Carroll, J. M. (1990). *The numberg funnel: Designing minimalist instruction for practical computer skill*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carroll, J. M., Smith-Kerker, P., Ford, J. & Mazur-Rimet, S. (1987). The minimal manual. *Human-Computer Interaction, 3*, 123-153.
- Carroll, W. (1994). Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of Educational Psychology, 86*, 360-367.
- Casali, J. G. & Wierwille, W. W. (1984). On the measurement of pilot perceptual workload: A comparison of assessment techniques addressing sensitivity and intrusion issues. *Ergonomics, 27*, 1033-1050.
- Catrambone, R. (1994). Improving examples to improve transfer to novel problems. *Memory & Cognition, 22*, 606-615.
- Cerpa, N., Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Some conditions under which integrated computer-based training software can facilitate learning. *Journal of Educational Computing Research, 15*, 345-367.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction, 8*, 293-332.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The split-attention effect as a factor in the design of instruction. *British Journal of Educational Psychology, 62*, 233-246.

- Chandler, P. & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology, 10*, 151-170.
- ChanLin, L.-J. (2000). Attributes of animation for learning scientific knowledge. *Journal of Instructional Psychology, 27*, 228-238.
- Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology, 4*, 55-81.
- Chen, C. & Rada, R. (1996). Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human-Computer Interaction, 11*, 125-156.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science, 13*, 145-182.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation physics problems by experts and novices. *Cognitive Science, 5*, 121-152.
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review, 3*, 149-210.
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research, 53*, 445-459.
- Clark, R. E. (1985). Evidence for confounding in computer-based instruction studies: Analyzing the meta analyses. *Educational Communication and Technology Journal, 33*, 249-262.
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E. & Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review*. London: Learning and Skills Research Centre.
- Cohen, A. C. (2005). The influence of spatial ability on the use of dynamic, interactive animation in a spatial problem-solving task. In T. Barkowsky, C. Freksa, M. Hegarty & R. K. Lowe (Hrsg.), *Reasoning with mental and external diagrams*:

- Computational modelling and spatial assistance* (S. 1-5). Stanford, CA: Stanford University.
- Cohen, J. (1977). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Free Press.
- Coker, P. L. (1978). Syntactic and semantic factors in the acquisition of before and after. *Journal of Child Language*, 5, 261-277.
- Cooper, G. & Sweller, J. (1987). The effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79, 347-362.
- Cooper, G., Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7, 68-82.
- Cooper, G. E. & Harper, R. P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities (NASA Report TN-D-5153)*. Moffett Field, CA.: National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Centre.
- Cormier, S. M. & Hagman, J. D. (Hrsg.). (1987). *Transfer of learning: Contemporary research and applications*. San Diego, CA: Academic Press.
- Corrigan, R. (1975). A scalogram analysis of the development of the use and comprehension of "because" in children. *Child Development*, 46, 195-201.
- Cox, R. (1996). *Analytical reasoning with multiple external representations*. Edinburgh: University of Edinburgh.
- Cox, R. & Brna, P. (1995). Supporting the use of external representations in problem solving: The need for flexible learning environments. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 6, 239-302.

- Craig, S. D., Gholson, B. & Driscoll, D. M. (2002). Animated pedagogical agents in multimedia educational environments: Effects of agent properties, picture features, and redundancy. *Journal of Educational Psychology, 94*, 428-434.
- Craik, F. I. M. & Lockhart, P. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 11*, 671-684.
- Craik, F. I. M. & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General, 104*, 208-294.
- Cronbach, L. J. & Snow, R. E. (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interaction*. New York: Irvington Publishers.
- Cuban, L. (1986). *Teachers and machines: The classroom use of technology since 1920*. New York: Teachers College Press.
- Culbertson, H. M. & Powers, R. D. (1959). A study of graph comprehension difficulties. *Audio Visual Communication Review, 7*, 97-100.
- Dahlqvist, P. (2000). *Animations in physics learning*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: http://www.dsv.su.se/~patricd/Publications/Animations_in_Physics_Learning.pdf [16. Juli 2007].
- De Croock, M. B. M., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (1998). High versus low contextual interference in simulation-based training of troubleshooting skills: Effects on transfer performance and invested mental effort. *Computers in Human Behavior, 14*, 249-267.
- De Groot, A. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague, Netherlands: Mouton.
- De Jong, T., Ainsworth, S. E., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P. et al. (1998). Acquiring knowledge in science and math: the use of multiple representations in technology based learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. De Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 9-40). Amsterdam: Elsevier Science.

- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- De Westelinck, K., Valcke, M., De Craene, B. & Kirschner, P. (2005). Multimedia learning in social sciences: Limitations of external graphical representations. *Computers in Human Behavior*, 21, 555–573.
- Dean, R. S. & Enemoh, P. A. C. (1983). Pictorial organization in prose learning. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 20-27.
- Dekeyser, H. M. (2001). Student preference for verbal, graphic or symbolic information in an independent learning environment for an applied statistics course. In J.-F. Rouet, J. J. Levonen & A. Biarreau (Hrsg.), *Multimedia learning: Cognitive and instructional Issues* (S. 99-109). Amsterdam: Pergamon.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York: Collier Books.
- Diels, H. & Kranz, W. (1989). *Die Fragmente der Vorsokratiker. I*. Zürich: Weidmann.
- Dienes, Z. (1973). *The six stages in the process of learning mathematics*. Slough, UK: NFER-Nelson.
- Dillon, A. & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control and style. *Review of Educational Research*, 68, 322-349.
- Dowling, G., Tickle, A., Stark, K., Rowe, J. & Godat, M. (2005, January/February). *Animation of complex data communications concepts may not always yield improved learning outcomes*. Paper presented at the Seventh Australasian Computing Education Conference, Newcastle, Australia.
- Dufour-Janvier, B., Bednarz, N. & Belanger, M. (1987). Pedagogical considerations concerning the problem of representation. In C. Janvier (Hrsg.), *Problems of representation in the teaching and learning of mathematics*. Hillsdale, NJ: NEA.

- Dwyer, F. M. (1967). Adapting visual illustrations for effective learning. *Harvard Educational Review*, 37, 250-263.
- Dwyer, F. M. (1972). *A guide for improving visualized instruction*. State College, PA: Learning Services.
- Dwyer, F. M. (1978). *Strategies for improving visual learning*. State College, Pennsylvania: Learning Sciences.
- Efron, B. & Tibshirani, R. (1993). *An introduction to the bootstrap*. London: Chapman & Hall.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100, 363-406.
- Evans, J. S. B. & Beck, M. A. (1981). Directionality and temporal factors in conditional reasoning. *Current Psychological Research*, 1, 111-120.
- Eysenbach, G. (1995). Computereinsatz und Computerkenntnisse unter Medizinstudenten [Computer use and computer literacy among medical students]. *Informatik, Biometrie und Epidemiologie in Medizin und Biologie*, 26, 56-66.
- Eysink, T. H., Dijkstra, S. & Kuper, J. (2001). Cognitive processes in solving variants of computer-based problems used in logic teaching. *Computers in Human Behavior*, 17, 1-19.
- Eysink, T. H. S. (2002, June). *The role of interactive visualisations in the development of concepts of logic*. Paper presented at the Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning, Tübingen, Germany.
- Eysink, T. H. S., Dijkstra, S. & Kuper, J. (2002). The role of guidance in computer-based problem solving for the development of concepts of logic. *Instructional Science*, 30, 307-333.

- Faul, F. & Erdfelder, E. (1992). GPOWER: A priori, post-hoc, and compromise power analyses for MS-DOS (Version 2.0). Bonn, FRG: Bonn University, Dep. of Psychology.
- Ferreiro, E. & Sinclair, H. (1971). Temporal relationships in language. *International Journal of Psychology*, 6, 39-47.
- Fetherston. (1998). A socio-cognitive framework for researching learning with IMM. *Australian Journal of Educational Technology*, 14, 98-106.
- Fillenbaum, S. (1971). On coping with ordered and unordered conjunctive sentences. *Journal of Experimental Psychology*, 87, 93-98.
- Flavell, J. H. & Wellman, H. M. (1977). Metamemory. In R. V. Kail & J. W. Hagen (Hrsg.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (S. 3-33). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Fletcher, J. D. & Tobias, S. (2005). The multimedia principle. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 117-133). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Freeman, F. N. (1924). *Visual education: a comparative study of motion picture and other methods of instruction*. Chicago: The University of Chicago Press.
- French, L. A. (1988). The development of children's understanding of because and so. *Journal of Experimental Child Psychology*, 45, 262-279.
- French, L. A. & Brown, A. I. (1976). Comprehension of before and after in logical and arbitrary sentences. *Journal of Child Language*, 4, 247-256.
- Friel, S. N., Curcio, F. R. & Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal of Research in Mathematics Education*, 32, 124-158.

- Fürstenberg, A. (2007). Lernen mit Multimedia: Zu den Ursachen des Modalitätseffektes [Abstract]. In K. F. Wender, S. Mecklenbräuker, G. D. Rey & T. Wehr (Hrsg.), *Beiträge zur 49. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (S. 231). Lengerich: Pabst.
- Gaillard, A. W. K. (1992). Werkbelasting is nog geen stress. In P. G. J. Keuss, G. T. Hoopen & A. A. J. Mannaerts (Hrsg.), *Stress: werkbelasting, lichamelijke reacties, mentale belasting, slaapgebrek en meetmethoden*. Amsterdam/Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Garner, R., Alexander, P. A., Gillingham, M. G., Kulikowich, J. M. & Brown, R. (1991). Interest and learning from text. *American Educational Research Journal*, 28, 643-659.
- Garner, R., Gillingham, M. G. & White, C. S. (1989). Effects of 'seductive details' on macroprocessing and microprocessing in adults and children. *Cognition and Instruction*, 6, 41-57.
- Garrison, W. T. (1978). The context bound effects of picture-text amalgams: Two studies. *Dissertation Abstracts International*, 39, 4137A.
- Geddes, B. & Stevenson, R. (1997). Explicit learning of a dynamic system with a non-salient pattern. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 50, 742-765.
- Gerdes, H. (1997). *Lernen mit Text und Hypertext*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Catrambone, R. (2003). Reducing cognitive load and fostering cognitive skill acquisition: Benefits of category-avoiding examples. In R. Alterman & D. Kirsh (Hrsg.), *Proceedings of the 25th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science*, 32, 33-58.

- Gerjets, P., Scheiter, K. & Kleinbeck, S. (2004). Instructional examples in hypertext-based learning and problem solving: Comparing transformational and derivational approaches to example design. In H. M. Niegemann, R. Brünken & D. Leutner (Hrsg.), *Instructional Design for Multimedia Learning* (S. 165-179). Münster: Waxmann.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Schuh, J. (2005). Instruktionale Unterstützung beim Fähigkeitserwerb aus Beispielen in hypertextbasierten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 25-38.
- Ginns, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). When imagining information is effective. *Contemporary Educational Psychology*, 28, 229-251.
- Goldstone, R. L. & Sakamota, Y. (2003). The transfer of abstract principles governing complex adaptive systems. *Cognitive Psychology*, 46, 414-466.
- Gonzalez, C. (1996). Does animation in user interfaces improve decision making? In R. Bilger, S. Guest & M. J. Trauber (Hrsg.), *Proceedings of Computer Human Interaction, CHI'96* (S. 27-34). Vancouver, British Columbia, Canada: ACM Press.
- Goodz, N. S. (1982). Is before really easier to understand than after? *Child Development*, 53, 822-825.
- Goonetilleke, R. S., Lau, W. C. & Shih, H. M. (2002). Visual search strategies and eye movements when searching Chinese character screens. *International Journal of Human Computer Studies*, 57, 447-468.
- Gopher, D. & Braune, R. (1984). On the psychophysics of workload: Why bother with subjective measures? *Human Factors*, 26, 519-532.
- Grice, H. P. (1975). Logic and conversation. In P. Cole & J. Morgan (Hrsg.), *Syntax and semantics* (Bd. 3, S. 41-58). New York: Academic Press.
- Grillmeyer, O. (2000). *Designing effective animations for computer science instruction*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter:

http://www.cs.utexas.edu/users/csed/doc_consortium/DC00/grillmeyer.html [16. Juli 2007].

Grissom, S., McNally, M. F. & Naps, T. (2003, June). *Algorithm visualization in CS education: Comparing levels of student engagement*. Paper presented at the ACM Symposium on Software Visualization, San Diego, CA.

Guan, Y.-H. (2002). Reexamining the modality effect from the perspective of Baddeley's working. In R. Ploetzner (Hrsg.), *Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. (S. 1-6). Tübingen, Germany: Knowledge Media Research Center.

Guttormsen Schär, S., Zuberbühler, H. J. & Krueger, H. (2000, June/July). *A comparison of static and dynamic media types for process oriented learning tasks*. Paper presented at the ED-MEDIA 2000, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications, Montreal Canada.

Hannafin, M. J., Garhart, C., Rieber, L. P. & Phillips, T. L. (1985). Keeping interactive video in perspective: Tentative guidelines and cautions in the design of interactive video. In E. Miller (Hrsg.), *Educational Media and Technology Yearbook* (S. 13-25). Denver, CO: Libraries Unlimited.

Hannafin, M. J., Hannafin, K. M., Hooper, S. R., Rieber, L. P. & Kini, A. S. (1996). Research on and research with emerging technologies. In D. H. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of research for education communications and technology* (S. 378-402). New York: Macmillan Reference USA.

Hansen, S. R. & Narayanan, N. H. (2000). On the role of animated analogies in algorithm visualizations. In B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Hrsg.), *Fourth International Conference of the Learning Sciences* (S. 205-211). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Hansen, S. R., Narayanan, N. H. & Schrimpscher, D. (2000). *Helping learners visualize and comprehend algorithms*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: <http://imej.wfu.edu/articles/2000/1/02/index.asp> [16. Juli 2007].

- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology, 89*, 92-102.
- Harp, S. F. & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology, 90*, 414-434.
- 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 B. V.
- Hartley, J. (1985). *Designing instructional text*. New York: Nicols.
- Hatch, E. (1971). The young child's comprehension of time connectives. *Child Development, 42*, 2111-2113.
- Hays, T. A. (1996). Spatial abilities and the effects of computer animation on short-term and long-term memory in learning from multimedia systems. *Journal of Educational Computing Research, 14*, 139-155.
- Hede, A. (2002). An integrated model of multimedia effects on learning. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 11*, 177-191.
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 18*, 1084-1102.
- Hegarty, M., Carpenter, P. A. & Just, M. A. (1996). Diagrams in the comprehension of scientific texts. In T. Barr, M. L. Kamil, P. Mosenthal & P. D. Pearson (Hrsg.), *Handbook of reading research* (Bd. 2, S. 641-648). Mahwah, New York: Erlbaum.
- Hegarty, M., Kriz, S. & Cate, C. (2003). The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems. *Cognition and Instruction, 21*, 325-360.

- Hegarty, M., Narayanan, N. H. & Freitas, P. (2002). Understanding machines from multimedia and hypermedia presentations. In J. Otero, J. A. Leon & A. Graesser (Hrsg.), *The Psychology of Science Text Comprehension* (S. 357-384). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum associates.
- Hegarty, M., Quilici, J., Narayanan, N. H., Holmquist, S. & Moreno, R. (1999). Designing multimedia manuals that explain how machines work: Lessons from evaluation of a theory-based design. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 8, 119-150.
- Hegarty, M. & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22, 411-430.
- Heider, F. & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *American Journal of Psychology*, 57, 243-259.
- Heiß, A., Eckhardt, A. & Schnotz, W. (2003). Selbst- und Fremdsteuerung beim Lernen mit Hypermedien [Self-Regulation and Instructional Guidance in Learning from Hypermedia]. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 211-220.
- Hendy, C. H., Hamilton, K. M. & Landry, L. N. (1993). Measuring subjective workload: When is one scale better than many? *Human Factors*, 35, 579-601.
- Hicks, T. G. & Wierwille, W. W. (1979). Comparison of five mental workload assessment procedures in a moving-base driving simulator. *Human Factors*, 21, 129-143.
- Hill, S. G., Iavecchia, H. P., Byers, J. C., Bittner, A. C., Zaklad, A. L. & Christ, R. E. (1992). Comparison of four subjective workload rating scales. *Human Factors*, 34, 429-439.
- Hockey, G. R. J. (1979). Stress and the cognitive components of skilled performance. In V. Hamilton & D. M. Warburton (Hrsg.), *Human stress and cognition: an information processing approach* (S. 141-178). Chichester: Wiley.

- Hockey, G. R. J. (1993). Cognitive energetical control mechanisms in the management of work demands and psychological health. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Hrsg.), *Attention: selection, awareness and control* (S. 329-345). Oxford: Clarendon Press.
- Hood, L. & Bloom, L. (1979). What, when, and how about why: A longitudinal study of early expressions of causality. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 44(6, Serial No. 181).
- Hundhausen, C. D., Douglas, S. A. & Stasko, J. T. (2002). A meta-study of algorithm visualization effectiveness. *Journal of Visual Languages and Computing*, 13, 259-290.
- Hyde, J. S., Fennema, E. & Lamon, S. J. (1990). Gender differences in mathematics performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 107, 139-155.
- Issing, L. J. (1998). Lernen mit Multimedia aus psychologisch-didaktischer Perspektive. In G. Dörr & K. L. Jüngst (Hrsg.), *Lernen mit Medien. Ergebnisse und Perspektiven zu medial vermittelten Lehr- und Lernprozessen* (S. 159-178). Weinheim: Juventa.
- Ito, K. (1969). On the effect of heteroscedasticity and non-normality upon some multivariate tests procedures. In P. R. Krishnaiah (Hrsg.), *Multivariate Analysis – II* (S. 87-120). New York: Academic Press.
- Ito, K. & Schull, W. J. (1964). On the robustness of the T_0^2 -test in multivariate analysis of variance when variance-covariance matrices are not equal. *Biometrika*, 51, 71-82.
- Jacobson, M. J. & Spiro, R. J. (1995). Hypertext learning environments, cognitive flexibility, and the transfer of complex knowledge: An empirical investigation. *Journal of Educational Computing Research*, 12, 301-333.
- Jäger, A. O. & Althoff, K. (1983). *Der WILDE-Intelligenz-Test (WIT)*. Göttingen: Hogrefe.
- James, W. (1890/1950). *Principles of psychology: Volume I*. New York: Dover Press.

- Jarc, D., Feldman, M. B. & Heller, R. S. (2000). Assessing the benefits of interactive prediction using web-based algorithm animation courseware. In B. Cassel, N. B. Dale, H. M. Walker & S. M. Haller (Hrsg.), *31st SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education* (S. 377-381). Austin, Texas.
- Jelsma, O. & Bijlstra, J. P. (1988). Training for transfer in learning to detect, diagnose, and compensate system failures. In R. S. Jensen & D. Neumeister (Hrsg.), *Proceedings of the Seventh European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control* (S. 256-262). Paris, France.
- Jelsma, O. & van Merriënboer, J. J. G. (1989). Contextual interference: Interactions with reflection-impulsivity. *Perceptual and Motor Skills*, *68*, 1055-1064.
- Jelsma, O., van Merriënboer, J. J. G. & Bijlstra, J. P. (1990). The ADAPT design model: Towards instructional control of transfer. *Instructional Science*, *19*, 89-120.
- Jenkins, J. J. (1978). Four points to remember: A tetrahedral model of memory experiments. In L. S. Cermak & F. I. M. Craik (Hrsg.), *Levels of processing and human memory* (S. 429-446). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jetter, H. C. (2004). *Interkulturelles UI Design und UI Evaluation*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: http://hci.uni-konstanz.de/hausarbeiten/seminare/Interkulturelles_UI_Design_und_UI_Evaluation.pdf [16. Juli 2007].
- Jeung, H., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction. *Educational Psychology*, *17*, 329-343.
- Johnson, H. L. (1975). The meaning of before and after for preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *19*, 88-99.
- Johnson, H. L. & Chapman, R. S. (1980). Children's judgment and recall of causal connectives: a developmental study of "because", "so", and "and". *Journal of Psycholinguistic Research*, *9*, 243-260.

- Johnson, P. & Nemetz, F. (1998). Towards principles for the design and evaluation of multimedia systems. In H. Johnson, L. Nigay & C. Roast (Hrsg.), *People and Computers XIII (Proceedings of the HCI'98)* (S. 255-271). Berlin: Springer Verlag.
- Jou, J. & Harris, R. J. (1990). Event order vs. syntactic structure in recall of adverbial complex sentences. *Journal of Psycholinguistic Research*, 19, 21-42.
- Kalyuga, S. (2005). Prior knowledge principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 325-337). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human Factors*, 40, 1-17.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 351-371.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92, 126-136.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (2001). Learner experience and efficiency of instructional guidance. *Educational Psychology*, 21, 5-23.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 93, 579-588.
- Kalyuga, S. & Sweller, J. (2004). Measuring knowledge to optimize cognitive load factors during instruction. *Journal of Educational Psychology*, 96, 558-568.

- Kanner, J. H., Runyon, R. P. & Desiderato, O. (1954). *Television in army training: Evaluation of television in army training*. Washington, DC: George Washington University, Human Resources Research Office.
- Kanner, J. M. & Rosenstein, A. J. (1960). Television in army training: Color vs. black and white. *AV Communication Review*, 8, 243-252.
- Kant, I. (1787/1986). *Kritik der reinen Vernunft*. Ditzingen: Reclam.
- Kaput, J. J. (1989). Linking representations in the symbol systems of algebra. In S. Wagner & C. Kieran (Hrsg.), *Research issues in the learning and teaching of algebra* (S. 167-194). Hillsdale, NJ: LEA.
- Karakaya, F., Ainscough, T. L. & Chopoorian, J. (2001). The effects of class size and learning style on student performance in a multimedia-based marketing course. *Journal of Marketing Education*, 23, 84-90.
- Katz, E. W. & Brent, S. B. (1968). Understanding connectives. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 7, 501-509.
- Kettanurak, V., Ramamurthy, K. & Haseman, W. D. (2001). User attitude as a mediator of learning performance improvement in an interactive multimedia environment: an empirical investigation of the degree of interactivity and learning styles. *International Journal of Human Computer Studies*, 54, 541-583.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12, 1-10.
- Klein, P. D. (2003). Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: alternatives to 'learning styles' and 'multiple intelligences'. *Journal of Curriculum Studies*, 35, 45-81.
- Kleinbeck, U. (1996). *Arbeitsmotivation: Entstehung, Wirkung und Förderung*. Weinheim: Juventa.

- Klix, F., van der Meer, E. & Preuß, M. (1984). Semantische Relationen: Erkennungsaufwand und psychologische Reaktionstendenzen. In F. Klix (Hrsg.), *Gedächtnis - Wissen - Wissensnutzung* (S. 156-172). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. & Wolf, M. (1990). Implizite Zeitbeziehungen in der begrifflichen Wissensrepräsentation. In D. Frei (Hrsg.), *Bericht über den 37. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Kiel* (Bd. 1, S. 297). Göttingen: Hogrefe.
- Knauff, M. & Strube, G. (2002). Anschauliches Denken und Arbeitsgedächtnis: Kognitive und kortikale Prozesse. *Psychologische Rundschau*, 53, 49-60.
- Koning, H., Dormann, C. & van Vliet, H. (2002). Practical guidelines for the readability of IT-architecture diagrams. In K. Haramundanis & M. Priestley (Hrsg.), *Proceedings of the 20th annual international conference on Computer documentation* (S. 90-99). Toronto, Ontario, Canada: ACM Press.
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research & Development*, 42, 7-19.
- Kozma, R. B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949-968.
- Kraft, M. E. (1961). *A study of information and vocabulary achievement from the teaching of natural science by television in the fifth grade*. Boston University.
- Kraft, R. J. & Sakofs, M. (Hrsg.). (1989). *The theory of experiential education*. Boulder, CO: Association for Experiential Education.
- Krapp, A. & Weidenmann, B. (Hrsg.). (2001). *Pädagogische Psychologie* (4 Aufl.). Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.

- Kraus, L. A., Reed, W. M. & Fitzgerald, G. E. (2001). The effects of learning style and hypermedia prior experience on behavioral disorders knowledge and time on task: A case-based hypermedia environment. *Computers in Human Behavior*, 17, 125-140.
- Krüger, M. & Krist, H. (2007). Der Einfluss motorischer Prozesse bei der Entwicklung der mentalen Rotation [Abstract]. In K. F. Wender, S. Mecklenbräuer, G. D. Rey & T. Wehr (Hrsg.), *Beiträge zur 49. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (S. 296). Lengerich: Pabst.
- Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 9, 178-181.
- Kuhn, D. & Phelps, H. (1976). The development of children's comprehension of causal direction. *Child Development*, 47, 248-251.
- Kunz, G. C., Drewniak, U. & Schott, F. (1989, March). *On-line and off-line assessment of self-regulation in learning from instructional text and picture*. Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA.
- Laner, S. (1955). Some factors influencing the effectiveness of an instructional film. *British Journal of Psychology*, 46, 280-292.
- Large, A., Beheshti, J., Breuleux, A. & Renaud, A. (1996). Effect of animation in enhancing descriptive and procedural texts in a multimedia learning environment. *Journal of the American Society for Information Science*, 47, 437-448.
- Lasseter, J. (1987). Principles of traditional animation applied to 3D computer animation. *Computer Graphics*, 21, 35-44.
- Lazonder, A. W. & van der Meij, H. (1993). The minimal manual: Is less really more? *International Journal of Man-Machine Studies*, 39, 729-752.

- Leahy, W., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 401-418.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2005). Interactions among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 266-276.
- Lee, H., Plass, J. L. & Homer, B. D. (2006). Optimizing cognitive load for learning from computer-based science simulations. *Journal of Educational Psychology*, 98, 902–913.
- Lee, S. H. & Boling, E. (1999). Screen design guidelines for motivation in interactive multimedia instruction: a survey and framework for designers. *Educational Technology*, 39, 19-26.
- LeFevre, J.-A. & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O. & Stein, M. M. (1990). Functions, graphs, and graphing: tasks, learning and teaching. *Review of Educational Research*, 60, 1-64.
- Lesh, R., Landau, M. & Hamilton, E. (1983). Conceptual models and applied mathematical problem solving research. In R. Lesh & M. Landau (Hrsg.), *Acquisition of mathematical concepts and processes* (S. 263-343). New York: Academic Press.
- Leslie, A. M. & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition*, 25, 265-288.
- Levie, H. W. & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communication and Technology Journal*, 30, 195-232.
- Levin, J. R., Anglin, G. J. & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Hrsg.), *The psychology of illustration* (Bd. 1, S. 51-86). New York: Springer.

- Lewalter, D. (1997). Lernen mit Bildern und Animationen: Studie zum Einfluss von Lernmerkmalen auf die Effektivität von Illustrationen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie* (Bd. 2). Münster: Waxmann.
- Liao, Y. C. (1999). Effects of hypermedia on students' achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 8, 255-277.
- Lieberman, H. (1986). An example-based environment for beginning programmers. *Instructional Science*, 14, 277-292.
- Linn, M. C. & Peterson, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Locke, E. A. & Latham, G. P. (1990). *A theory of goal setting and task performance*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Lohmann, D. F. (1986). Predicting mathemathanic effects in the teaching of higher-order thinking skills. *Educational Psychologist*, 21, 191-208.
- Lohse, G. L., Biolsi, K., Walker, N. & Rueler, H. (1994). A classification of visual representations. *Communications of the A.C.M.*, 37, 36-49.
- Low, R. & Sweller, J. (2005). The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 147-158). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Lowe, R. K. (2004). User-controllable animated diagrams: The solution for learning dynamic content. In A. Shimojima (Hrsg.), *Diagrams 2004: Diagrammatic Representation and Inference. Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 2980* (S. 355-359). Berlin, Germany: Springer Verlag.
- Mandler, J. & McDonough, L. (1995). Long-term recall of event sequences in infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 59, 457-474.

- Marcus, N., Cooper, M. & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88, 49-63.
- Masters, M. S. & Sanders, B. (1993). Is the gender difference in mental rotation disappearing? *Behavior Genetics*, 23, 337-341.
- Mautone, P. D. & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 93, 377-389.
- Mawer, R. F. & Sweller, J. (1982). Effects of subgoal density and location on learning during problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8, 252-259.
- Mayer, R. E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81, 240-246.
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31, 611-624.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125–139.
- Mayer, R. E. (2005a). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 31-48). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005b). Introduction to multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 1-16). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005c). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pretraining, and modality principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 169-182). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- Mayer, R. E. (2005d). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 183-200). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005e). Principles of multimedia learning based on social cues: Personalization, voice, and image principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 201-212). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2006). Ten research-based principles of multimedia learning. In H. F. O'Neil & R. S. Perez (Hrsg.), *Web-based learning* (S. 371-392). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2005f). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1991). Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83, 484-490.
- Mayer, R. E. & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84, 444-452.
- Mayer, R. E., Bove, W., Bryman, A., Mars, R. & Tapangco, L. (1996). When less is more: Meaningful learning from visual and verbal summaries of textbook lessons. *Journal of Educational Psychology*, 88, 64-73.
- 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., Dow, G. & Mayer, S. (2003). Multimedia learning in an interactive self-explaining environment: What works in the design of agent-based microworlds? *Journal of Educational Psychology, 95*, 806-813.
- Mayer, R. E., Fennell, S., Farmer, L. & Campbell, J. (2004). A personalization effect in multimedia learning: Students learn better when words are in conversational style rather than formal style. *Journal of Educational Psychology, 96*, 389-395.
- 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., Heiser, J. & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology, 93*, 187-198.
- Mayer, R. E. & Jackson, J. (2005). The case for coherence in scientific explanations: Quantitative details can hurt qualitative understanding. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 11*, 13-18.
- Mayer, R. E., Mathias, A. & Wetzell, K. (2002). Fostering understanding of multimedia messages through pre-training: Evidence for a two-stage theory of mental model construction. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 8*, 147-154.
- Mayer, R. E., Mautone, P. D. & Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *Journal of Educational Psychology, 94*, 171-185.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998a, April). *A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles*. Paper presented at the CHI-98 Workshop on Hyped-Media to Hyper-Media, Los Angeles, USA.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998b). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology, 90*, 312-320.

- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review, 14*, 87-99.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist, 38*, 43-52.
- Mayer, R. E., Moreno, R., Boire, M. & Vagge, S. (1999). Maximizing constructivist learning from multimedia communications by minimizing cognitive load. *Journal of Educational Psychology, 91*, 638-643.
- Mayer, R. E., Sims, V. & Tajika, H. (1995). A comparison of how textbooks teach mathematical problem solving in Japan and the United States. *American Educational Research Journal, 32*, 443-460.
- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 86*, 389-401.
- Mayer, R. E., Sobko, K. & Mautone, P. D. (2003). Social cues in multimedia learning: Role of speaker's voice. *Journal of Educational Psychology, 95*, 419-425.
- Mayer, R. E., Steinhoff, K., Bower, G. & Mars, R. (1995). A generative theory of textbook design: Using illustrations to foster meaningful learning of science text. *Educational Technology Research and Development, 43*, 31-43.
- Mayer, R. E., Stiehl, C. & Greeno, J. (1975). Acquisition of understanding and skill in relation to subjects' preparation and meaningfulness of instruction. *Journal of Educational Psychology, 67*, 331-350.
- McCabe, A. & Peterson, C. (1985). A naturalistic study of the production of causal connectives by children. *Journal of Child Language, 12*, 145-159.
- McGee, M. M. G. (1979). Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin, 86*, 889-918.

- McKeough, A., Marini, A. & Lupart, J. L. (Hrsg.). (1995). *Teaching for transfer: Fostering generalization in learning*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McNamara, D., Kintsch, E., Songer, N. B. & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction, 14*, 1-43.
- McNeil, B. J. & Nelson, K. R. (1991). Meta-analysis of interactive video instruction: A 10-year review of achievement effects. *Journal of Computer-Based Instruction, 18*, 1-6.
- Michotte, A. (1946). *La perception de la causalité*. Louvain: Publ. Univ.
- Michotte, A. (1963). *The perception of causality*. London: Methuen.
- Michotte, A. (1966). Die Kausalitätswahrnehmung. In W. Metzger (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie, 1.1 Allgemeine Psychologie. Der Aufbau des Erkennens, Wahrnehmung und Bewußtsein* (S. 954 -977). Göttingen: Verlag für Psychologie.
- Miller, C., Lehman, J. & Koedinger, K. (1999). Goals and learning in microworlds. *Cognitive Science, 23*, 305–336.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63*, 81-97.
- Miller, W. (1937). The picture crutch in reading. *Elementary English Review, 14*, 263-264.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P. H. Winston (Hrsg.), *The psychology of computer vision* (S. 211-277). New York: McGraw-Hill.
- Moore, P. J. & Scevak, J. J. (1997). Learning from texts and visual aids: a developmental perspective. *Journal of Research in Reading, 20*, 205-223.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999a). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology, 91*, 358-368.

- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999b). Multimedia-supported metaphors for meaning making in mathematics. *Cognition and Instruction*, 17, 215-248.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999c). Visual presentations in multimedia learning: Conditions that overload visual working memory. In D. P. Huijsmans & A. W. M. Smeulders (Hrsg.), *Lecture notes in computer science: Visual information and information systems* (S. 793-800). Berlin: Springer Verlag.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000a). A coherence effect in multimedia learning: The case for minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 92, 117-125.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000b). Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 92, 724-733.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2000c, 16. Juli 2007). *A learner-centered approach to multimedia explanations: Deriving instructional design principles from cognitive theory*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: <http://www.imej.wfu.edu/articles/2000/2/05/printver.asp> [16. Juli 2007].
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2002a). Learning science in virtual reality multimedia environments: Role of methods and media. *Journal of Educational Psychology*, 94, 598-610.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2002b). Verbal redundancy in multimedia learning: When reading helps listening. *Journal of Educational Psychology*, 94, 156-163.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2004). Personalized messages that promote science learning in virtual environments. *Journal of Educational Psychology*, 96, 165-173.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (2005). Role of guidance, reflection, and interactivity in an agent-based multimedia game. *Journal of Educational Psychology*, 97, 117-128.

- Moreno, R., Mayer, R. E. & Lester, J. C. (2000, June/July). *Life-like pedagogical agents in constructivist multimedia environments: Cognitive consequences of their interaction*. Paper presented at the ED-MEDIA 2000, Charlottesville, VA.
- Moreno, R., Mayer, R. E., Spires, H. A. & Lester, J. C. (2001). The case for social agency in computer-based multimedia learning: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition and Instruction*, 87, 177-214.
- Mousavi, S. Y., Low, R. & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, 87, 319-334.
- Müller, B. & Gehrke, J. (2004). Acquisition and use of mental operators: The influence of natural order of events. *Experimental Psychology*, 51, 33-44.
- Muthukumar, S. L. (2005). Creating interactive multimedia-based educational courseware: cognition in learning. *Cognition, Technology & Work*, 7, 46-50.
- Mwangi, W. & Sweller, J. (1998). Learning to solve compare word problems: The effect of example format and generating self-explanations. *Cognition and Instruction*, 16, 173-199.
- Najjar, L. J. (1995). *Does multimedia information help people learn?* Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology, Graphics, Visualization and Usability Center.
- Najjar, L. J. (1996). *The effects of multimedia and elaborative encoding on learning*. Atlanta: GA: Georgia Institute of Technology, Graphics, Visualization and Usability Center.
- Najjar, L. J. (1997). *A framework for learning from media : the effects of materials, tasks, and tests on performance*. Atlanta, GA: Graphics, Visualization & Usability Center, Georgia Institute of Technology.
- Najjar, L. J. (1998). Principles of educational multimedia interface design. *Human Factors*, 40, 311-323.

- Najjar, L. J. (2005, July). *Accessible Java application user interface design guidelines*. Paper presented at the HCI International 2005 Proceedings, Mahwah, NJ.
- Narayanan, N. H. & Hegarty, M. (2002). Multimedia design for communication of dynamic information. *International Journal of Human-Computer Studies*, 57, 279-315.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton, Century, Crofts.
- Nelson, T. O. & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (S. 125-173). New York: Academic Press.
- Nerdinger, F. W. (1995). *Motivation und Handeln in Organisationen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Novick, L. R., Hurley, S. M. & Francis, M. (1999). Evidence for abstract, schematic knowledge of three spatial diagram representations. *Memory & Cognition*, 27, 288-308.
- O'Donnell, C. R. & Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance: Vol. II. Cognitive processes and performance* (S. 42.41-42.29). New York: Wiley-Interscience.
- O'Neil, H. F., Mayer, R. E., Herl, H. E., Niemi, C., Olin, K. & Thurman, R. A. (2000). Instructional strategies for virtual aviation training environments. In H. F. O'Neil & D. H. Andrews (Hrsg.), *Aircrew training and assessment* (S. 105-130). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Owen, E. & Sweller, J. (1985). What do students learn while solving mathematics problems? *Journal of Educational Psychology*, 77, 272-284.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84, 429-434.

- Paas, F., Camp, G. & Rikers, R. (2001). Instructional compensation for age-related cognitive declines: Effects of goal specificity in maze learning. *Journal of Educational Psychology, 93*, 181-186.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist, 38*, 63-71.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology, 86*, 122-133.
- Paas, F., van Merriënboer, J. J. G. & Adam, J. J. (1994). Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills, 79*, 419-430.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Palmiter, S. & Elkerton, J. (1992). An evaluation of animated demonstrations for learning computer-based tasks. In P. Bauersfeld, J. Bennett & G. Lynch (Hrsg.), *CHI'92 conference proceedings* (S. 257-263). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Park, O. & Hannafin, M. J. (1991). Empirically-based guidelines for the design of interactive multimedia. *Educational Technology Research & Development, 41*, 63-85.
- Park, O. & Hopkins, R. (1993). Instructional conditions for using dynamic visual displays: A review. *Instructional Science, 21*, 427-449.
- Peek, J. (1994). Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 59-94). Bern: Huber.
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition, 17*, 398-422.

- Peterson, C. & McCabe, A. (1985). Understanding "because": How important is the task? *Journal of Psycholinguistic Research*, 14, 199-218.
- Peterson, L. & Peterson, M. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 193-198.
- Petre, M. & Green, T. R. G. (1993). Learning to read graphics: Some evidence that 'seeing' an information display is an acquired skill. *Journal of Visual Languages and Computing*, 4, 55-70.
- Pezdek, K., Lehrer, A. & Simon, S. (1984). The relationship between reading and cognitive processing of television and radio. *Child Development*, 55, 2072-2082.
- Pfendler, C. (1991). *Vergleichende Bewertung der NASA-TLX Skala und der ZEIS-Skala bei der Erfassung von Lernprozessen (Bericht Nr. 92)*. Wachtberg: Forschungsinstitut für Anthropotechnik.
- Piaget, J. (1928). *Judgement and reasoning in the child*. New York: Harcourt.
- Pillay, H. (1994). Cognitive load and mental rotation: structuring orthographic projection for learning and problem solving. *Instructional Science*, 22, 91-113.
- Pirolli, P. L. (1991). Effects of examples and their explanations in a lesson on recursion: A production system analysis. *Cognition and Instruction*, 8, 207-259.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology*, 90, 25-36.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-86.
- Poon, R., Szabo, M. & Ally, M. (1977, June). *The role of visual testing when learning from instructional multimedia*. Paper presented at the ED-MEDIA/ED-TELECOM 97 meeting, Calgary, Alberta.

- Preece, J. (1993). Graphs are not straightforward. In T. R. G. Green, S. J. Payne & G. C. van der Veer (Hrsg.), *The psychology of computer use* (S. 41-56). London: Academic Press.
- Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S. & Carey, T. (1994). *Human-Computer Interaction*. Wokingham, England: Addison-Wesley.
- Price, S. (2004). Processing animation: Integrating information from animated diagrams. *Lecture Notes in Computer Science*, 2980, 360-364.
- Purnell, K., Solman, R. & Sweller, J. (1991). The effects of technical instructions on cognitive load. *Instructional Science*, 20, 443-462.
- Quaiser-Pohl, C., Lehmann, W. & Schirra, J. (2001). Sind Studentinnen der Computervisualistik besonders gut in der Raumvorstellung? Psychologische Aspekte bei der Wahl eines Studienfachs. *FifF Kommunikation*, 18, 42-46.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology* 88, 144-161.
- Recker, M. & Pirolli, P. (1995). Modeling individual differences in students' learning strategies. *The Journal of the Learning Science*, 4, 1-38.
- Reder, L. & Anderson, J. (1980). A comparison of texts and their summaries: Memorial consequences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 121-134.
- Reder, L. & Anderson, J. (1982). Effects of spacing and embellishment on memory for main points of a text. *Memory and Cognition*, 10, 97-102.
- Reeves, B. & Nass, C. (1996). *The media equation*. New York: Cambridge University Press.
- Reid, G. B. & Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scaling procedure for measuring mental workload. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 185-218). Amsterdam: North Holland.

- Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Science*, 21, 1-29.
- Renkl, A. (2004). *Pädagogische Psychologie des Lernen und Lehrens*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: www4.psychologie.uni-freiburg.de/einrichtungen/Paedagogische/lehre/paedpsy/vlpp2.ppt [8. September 2006].
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principles in multimedia. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 229-245). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Renkl, A., Atkinson, R., Maier, U. & Staley, R. (2002). From example study to problem solving: Smooth transitions help learning. *Journal of Experimental Education*, 70, 293–315.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the transition from example study to problem solving in cognitive skill acquisition: A cognitive load perspective. *Educational Psychologist*, 38, 15-22.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Grosse, C. S. (2004). How fading worked solution steps works - A cognitive load perspective. *Instructional Science*, 32, 59-82.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Maier, U. H. (2000). From studying examples to solving problems: Fading worked-out solution steps helps learning. In L. Gleitman & A. K. Joshi (Hrsg.), *Proceeding of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 393–398). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T. & Schweizer, K. (2003). Cognitive Load beim Lernen mit Lösungsbeispielen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 93-101.
- Resnick, L. B. & Omanson, S. (1987). Learning to understand arithmetic. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in instructional psychology* (S. 41-95). Hillsdale, NJ: LEA.

- Rieber, L. P. (1989). The effects of computer animated elaboration strategies and practice on factual and application learning in an elementary science lesson. *Journal of Educational Computing Research*, 5, 431-444.
- Rieber, L. P. (1990a). Animation in computer-based instruction. *Educational Technology Research and Development*, 38, 77-86.
- Rieber, L. P. (1990b). Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82, 135-140.
- Roberts, M. J., Gilmore, D. J. & Wood, D. J. (1997). Individual differences and strategy selection in reasoning. *British Journal of Psychology*, 88, 473-492.
- Robinson, W. R. (2004). Cognitive theory and the design of multimedia instruction. *Journal of Chemical Education*, 81, 10-13.
- Rogers, T. B., Kuiper, N. A. & Kirker, W. S. (1977). Self reference and the encoding of personal information. *Journal of Personality and Social Psychology*, 35, 677-688.
- Roncarrelli, R. (1989). *The computer animation dictionary*. New York: Springer.
- Roskam, A. J., Brookhuis, K. A., de Waard, D., Carsten, O. M. J., Read, L., Jamson, S. et al. (2002). *HASTE deliverable 1 - development of experimental protocol*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/haste/HASTE%20Deliverable%201%20v1.1.pdf> [16. Juli 2007].
- Rößling, G. (2004). *Integration von Algorithmenanimationen in die Lehre mittels ANIMAL*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: http://elara.tk.informatik.tu-darmstadt.de/Publications/2004/05_roessling.pdf [16. Juli 2007].
- Rößling, G. & Naps, T. L. (2002). A testbed for pedagogical requirements in algorithm visualizations. *SIGCSE Bulletin*, 34, 96-100.

- Rummer, R. (2007). Lernen mit Multimedia: Blickbewegungen beim Lesen stören das kurzfristige Behalten räumlicher Konstellationen [Abstract]. In K. F. Wender, S. Mecklenbräuker, G. D. Rey & T. Wehr (Hrsg.), *Beiträge zur 49. Tagung experimentell arbeitender Psychologen* (S. 230). Lengerich: Pabst.
- 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.
- Sarris, V. (1999). *Einführung in die experimentelle Psychologie*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Saunders, R. & Solman, R. (1984). The effect of pictures on the acquisition of a small vocabulary of similar sight-words. *British Journal of Educational Psychology*, 54, 265-275.
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition: How do graphical representation work? *International Journal of Human Computer Studies*, 45, 185-213.
- Scanlon, E. (1998). How beginning students use graphs of motion. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. De Jong (Hrsg.), *Learning with multiple representations* (S. 9-40). Amsterdam: Elsevier Science.
- Schank, R. & Abelson, R. (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schnotz, W. (1994). Wissenserwerb mit logischen Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 95-147). Bern: Huber.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 49-69). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.

- Schnotz, W., Böckheler, J., Grzondziel, H., Gärtner, I. & Wächter, M. (1998). Individuelles und kooperatives Lernen mit interaktiven animierten Bildern [Individual and cooperative learning with interactive animated pictures]. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 135-145.
- Schoenfeld, A. H., Smith, J. P. & Arcavi, A. (1993). Learning: The microgenetic analysis of one student's evolving understanding of a complex subject matter domain. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in instructional psychology* (Bd. 4, S. 55-175). Hillsdale, NJ: LEA.
- Schooler, J. & Engstler-Schooler, T. (1990). Verbal overshadowing of visual memories: Some things are better left unsaid. *Cognitive Psychology*, 22, 36-71.
- Schraw, G. (1998). Processing and recall differences among seductive details. *Journal of Educational Psychology*, 90, 3-12.
- Schraw, G. & Lehman, S. (2001). Situational interest: A review of the literature and directions for future research. *Educational Psychology Review*, 13, 23-52.
- Schubert, T. W. (2005). Your Highness: Vertical positions as perceptual symbols of power. *Journal of Personality and Social Psychology*, 89, 1-21.
- Schwan, S., Garsoffky, B. & Hesse, F. W. (2000). Do film cuts facilitate the perceptual and cognitive organization of activity sequences? *Memory & Cognition*, 28, 214-223.
- Segal, J. & Ahmad, K. (1993). The role of examples in the learning of programming languages. *Journal of Educational Computing Research*, 9, 115-129.
- Semmer, N. & Udris, I. (2004). Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In H. Schuler (Hrsg.), *Lehrbuch Organisationspsychologie* (3. Aufl., S. 157-195). Bern: Huber.
- Seufert, T. (1999, August). *Processes of coherence formation in learning with multiple graphical displays*. Paper presented at the 8th EARLI-conference, Göteborg, Schweden.

- Seufert, T. (2002, July). *Supporting coherence formation in learning from multiple representations*. Paper presented at the Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning, Tübingen, Germany.
- Seufert, T. & Brünken, R. (2004). Supporting coherence formation in multimedia learning. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner (Hrsg.), *Instructional design for effective and enjoyable computer-supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers* (S. 138-147). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Shah, P., Mayer, R. E. & Hegarty, M. (1999). Graphs as aids to knowledge construction. *Journal of Educational Psychology, 91*, 690-702.
- Shneiderman, B. (1997). *Designing the user interface: Strategies for effective Human-Computer Interaction* (3. Auflage). Boston, MA, USA: Addison-Wesley.
- Sims, V. K. & Hegarty, M. (1997). Mental animation in the visuospatial sketchpad: Evidence from dual-task studies. *Memory & Cognition, 25*, 321-333.
- Singley, M. K. & Anderson, J. R. (Hrsg.). (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Smith, S. M. & Woody, P. C. (2000). Interactive effect of multimedia instruction and learning styles. *Teaching of Psychology, 27*, 220-224.
- Snow, R. E. & Lohmann, D. F. (1984). Toward a theory of cognitive aptitude for learning from instruction. *Journal of Educational Psychology, 76*, 347-376.
- Solman, R., Singh, N. & Kehoe, E. J. (1992). Pictures block the learning of sightwords. *Educational Psychology, 12*, 143-153.
- Solso, R. L. (2004). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Springer.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In V. Patel

- (Hrsg.), *Tenth annual conference of the Cognitive Science Society* (S. 375-383). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1992a). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In T. M. Duffy & D. J. Jonassen (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction: A conversation* (S. 121-128). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1992b). Knowledge representation, content specification, and the development of skill in situation-specific knowledge assembly: Some constructivist issues as they relate to Cognitive Flexibility Theory and hypertext. In T. M. Duffy & D. J. Jonassen (Hrsg.), *Constructivism and the technology of instruction: A conversation* (S. 57-75). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J. & Jehng, J. C. (1990). Cognitive flexibility, random access instruction, and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. J. Spiro (Hrsg.), *Cognition, education, and multimedia* (S. 163-205). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Vispoel, W. L., Schmitz, J. G., Samarapungavan, A. & Boerger, A. E. (1987). Knowledge acquisition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains. In B. K. Britton & S. M. Glynn (Hrsg.), *Executive control processes in reading* (S. 177-199). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stark, R., Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (2002). Conditions and effects of example elaboration. *Learning and Instruction*, 12, 39-60.
- Stemler, L. K. (1997). Educational characteristics of multimedia: A literature review. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 7, 339-359.
- Stenning, K. (1998). Distinguishing semantic from processing explanations of usability of representations: applying expressiveness analysis to animation. In J. Lee (Hrsg.),

Intelligence and multimodality in multimedia interfaces: research and applications.
Cambridge; MA: AAAI Press.

Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. G. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction, 13*, 191-203.

Sternberg, R. J. (1990). *Metaphors of mind: Conceptions of the nature of intelligence.* New York: Cambridge University Press.

Stevens, J. P. (1979). Comment on Olson: Choosing a test statistic in multivariate analysis of variance. *Psychological Bulletin, 86*, 355-360.

Stevens, J. P. (2001). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (4. Auflage). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. *Memory and Cognition, 11*, 32-40.

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science, 12*, 257-285.

Sweller, J. (1993). Some cognitive processes and their consequences for the organisation and presentation of information. *Australian Journal of Psychology, 45*, 1-8.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295-312.

Sweller, J. (2002, July). *Visualisation and instructional design.* Paper presented at the Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning, Tübingen, Germany.

Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science, 32*, 9-31.

- Sweller, J. (2005a). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 19-30). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Sweller, J. (2005b). The redundancy principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 159-167). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P. & Cooper, M. (1990). Cognitive load as factors in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 176-192.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2, 59-89.
- Sweller, J. & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8, 463-474.
- Sweller, J., Mawer, R. & Ward, M. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 639-661.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tabachneck-Schijf, H. J. M. & Simon, H. A. (1998). Alternative representations of instructional material. In D. Peterson (Hrsg.), *Forms of representation* (S. 28-46). Exeter: Intellect Books.
- Tabachneck, H. J. M., Koedinger, K. R. & Nathan, M. J. (1994). Towards a theoretical account of strategy use and sense making in mathematical problem solving. In A.

- Ram & K. Eiselt (Hrsg.), *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
- Tapiero, I. (2001). The construction and updating of a spatial mental model from text and map: Effect of imagery and anchor. In J.-F. Rouet, J. Levonen & A. Biardeau (Hrsg.), *Multimedia learning: Cognitive and instructional issues* (S. 45-57). Amsterdam: Pergamon.
- Tarmizi, R. & Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, 80, 424-436.
- Taylor, J., Sumner, T. & Law, A. (1997). Talking about multimedia: A layered design framework. *Journal of Educational Media*, 23, 215-241.
- Thomson, C. P. & Barnett, C. (1981). Memory for product names: The generation effect. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18, 241-243.
- Tindall-Ford, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). When two sensory modes are better than one. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3, 257-287.
- Tobias, S. (1982). When do instructional methods make a difference? *Educational Researcher*, 11, 4-9.
- Trafton, J. G. & Reiser, B. J. (1993). The contribution of studying examples and solving problems to skill acquisition, *Proceedings of the 15th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 1017-1022). Hillsdale: Erlbaum.
- Tulving, E. & Thompson, D. M. (1973). Encoding, specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80, 352-373.
- Tuovinen, J. E. (2000). Optimising student cognitive load in computer education. In A. E. Ellis (Hrsg.), *Fourth Australasian Computing Education Conference* (Bd. 8, S. 235-241). Melbourne, Australia: Monash University.

- Tuovinen, J. E. & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology, 91*, 334-341.
- Tversky, B., Kugelmass, S. & Winter, A. (1991). Cross-cultural and developmental trends in graphic productions. *Cognitive Psychology, 23*, 515-557.
- Tversky, B., Morrison, J. B. & Bétrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human Computer Studies, 57*, 247-262.
- Valcke, M. (2002). Cognitive load: Updating the theory? *Learning and Instruction, 12*, 147–154.
- van Bruggen, J. M., Kirschner, P. A. & Jochems, W. (2002). External representations of argumentation in CSCL and the management of cognitive load. *Learning and Instruction, 12*, 121-138.
- van der Meer, E. (1999). Zeitkodierung in Wissenskörpern [Memory for time]. *Zeitschrift für Psychologie, 207*, 363-381.
- van der Meer, E. & Kolbe, M. (1997). Zur Kodierung von Zeitbezügen in begrifflichen Wissensstrukturen. In R. W. Kluwe (Hrsg.), *Strukturen und Prozesse intelligenter Systeme* (S. 107-131). Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- van der Meer, E. & Schmidt, B. (1992). Finale, kausale und temporale Inferenzen-Analyse ihres kognitiven Hintergrundes [Cognitive mechanisms of inferences: Finality, causality, and temporal order]. *Zeitschrift für Psychologie, 200*, 303-320.
- van Dijk, T. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. San Diego, CA: Academic Press.
- van Gerven, P. W. M., Paas, F. G. W. C., van Merriënboer, J. J. G. & Schmidt, H. G. (2002). Cognitive load theory and aging: effects of worked examples on training efficiency. *Learning and Instruction, 12*, 87-105.

- van Joolingen, W. R. & De Jong, M. T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- van Joolingen, W. R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of scientific discovery learning. *Instructional Science*, 25, 307-346.
- van Labeke, N. & Ainsworth, S. (2001). Applying the DeFT framework to the design of multi-representational instructional & simulations. In J. D. Moore, C. L. Redfield & W. L. Johnson (Hrsg.), *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2001* (S. 314-321). San Antonio, Texas: IOS Press.
- van Merriënboer, J. J. G. (1990). Strategies for programming instruction in high school: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 6, 265-287.
- van Merriënboer, J. J. G. & De Croock, M. B. M. (1992). Strategies for computer-based programming instruction: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, 8, 365-394.
- van Merriënboer, J. J. G. & Kester, L. (2005). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 71-93). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- van Merriënboer, J. J. G. & Krammer, H. P. M. (1987). Instructional strategies and tactics for the design of introductory computer programming courses in high school. *Instructional Science*, 16, 251-285.
- van Merriënboer, J. J. G. & Krammer, H. P. M. (1990). The "completion strategy" in programming instruction: Theoretical and empirical support. In S. Dijkstra, B. H. M. van Hout-Wolters & P. C. van der Sijde (Hrsg.), *Research on Instruction* (S. 45-61). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., De Croock, M. B. M. & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction, 12*, 11-37.
- van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review, 17*, 147-177.
- Vernon, M. D. (1953). The value of pictorial illustrations. *British Journal of Educational Psychology, 23*, 180-187.
- Verwey, W. B. & Veltman, H. A. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 2*, 270-285.
- Vollmeyer, R., Burns, B. & Holyoak, K. (1996). The impact of goal specificity on strategy use and the acquisition of problem structure. *Cognitive Science, 20*, 75-100.
- Wade, S. E. & Adams, B. (1990). Effects of importance and interest on recall of biographical text. *Journal of Reading Behavior, 22*, 331-353.
- Wade, S. E., Alexander, P., Schraw, G. & Kulikowich, J. (1995). The perils of criticism: Response to Goetz and Sadoski. *Reading Research Quarterly, 30*, 512-515.
- Wade, S. E., Schraw, G., Buxton, W. M. & Hayes, M. T. (1993). Seduction of the strategic reader: Effects of interest on strategies and recall. *Reading Research Quarterly, 28*, 3-24.
- Wainer, H. & Thissen, D. (1981). Graphical data analysis. *Annual Review of Psychology, 32*, 191-241.
- Waldmann, M. R. (1996). Knowledge-based causal induction. In D. R. Shanks, K. J. Holyoak & D. L. Medin (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation* (Bd. 34, S. 47-88). San Diego, CA: Academic Press.

- Ward, M. & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked out examples. *Cognition and Instruction*, 7, 1-39.
- Wardle, K. F. (1977). *Textbook illustrations: Do they aid reading comprehension?* Paper presented at the Annual meeting of the American Psychological Association, San Francisco, CA.
- Washburne, J. N. (1927). An experimental study of various graphs, tabular and textual methods of presenting quantitative material. *Journal of Educational Psychology*, 18, 361-376 & 465-476.
- Weidenmann, B. (1988a). Der flüchtige Blick beim stehenden Bild: Zur oberflächlichen Verarbeitung von pädagogischen Bildern. *Unterrichtswissenschaft*, 16, 43-57.
- Weidenmann, B. (1988b). When good pictures fail: An information processing approach to the effects of illustrations. In H. Mandl & J. R. Levin (Hrsg.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (S. 157-171). Amsterdam: Elsevier.
- Weidenmann, B. (1994). Informierende Bilder. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern* (S. 9-58). Bern: Huber.
- Weidenmann, B. (1997). "Multimedia": Mehrere Medien, mehrere Codes, mehrere Sinneskanäle? *Unterrichtswissenschaft*, 25, 197-206.
- Weidenmann, B. (2001). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (4 Aufl., S. 415-465). Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (3 Aufl., S. 45-62). Weinheim: Beltz.
- Wender, K. F. & Muehlboeck, J. S. (2003). Animated diagrams in teaching statistics. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35, 255-258.

- Whitley, B. E. J. (1997). Gender differences in computer-related attitudes and behavior: a meta-analysis. *Computers in Human Behavior*, 13, 1-22.
- Wierwille, W. W. & Eggemeier, F. L. (1993). Recommendations for mental workload measurement in a test and evaluation environment. *Human Factors*, 35, 263-281.
- Winn, W. (1982a). The role of diagrammatic representation in learning sequences, identification and classification as a function of verbal and spatial ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 78-89.
- Winn, W. (1982b). Visualization in learning and instruction: A cognitive approach. *Educational Communication and Technology Journal*, 39, 3-25.
- Winn, W. (1983). Perceptual strategies used with flow diagrams having normal and unanticipated formats. *Percepts and Motor Skills*, 57, 751-762.
- Winn, W. D. (1981). The effect of attribute highlighting and spatial organization on identification and classification. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 23-32.
- Wittmann, W. W., Süß, H. M. & Oberauer, K. (1996). *Determinanten komplexen Problemlösens*. [Internet/WWW]. Verfügbar unter: <http://www.psychologie.uni-mannheim.de/psycho2/publi/ps/ber09.pdf> [16. Juli 2007].
- Wittrock, M. C. (1989). Generative processes of comprehension. *Educational Psychologist*, 24, 345-376.
- Yeung, A., Jin, P. & Sweller, J. (1998). Cognitive load and learner expertise: Split-attention and redundancy effects in reading with explanatory notes. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 1-21.
- Yildirim, Z., Ozden, M. Y. & Aksu, M. (2001). Comparison of hypermedia learning and traditional instruction on knowledge acquisition and retention. *The Journal of Educational Research*, 94, 207-214.

- Yu, C. H. & Behrens, J. T. (1994). Identification of misconceptions in learning statistical power with dynamic graphics as a remedial tool, *American Statistical Association Proceedings of the Section on Statistical Education* (S. 242-246).
- Zacks, J. & Tversky, B. (1999). Bars and lines: A study of graphic communication. *Memory & Cognition*, 27, 1073-1079.
- Zhang, J. & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87-122.
- Zhu, X. & Simon, H. (1987). Learning mathematics from examples and by doing. *Cognition and Instruction*, 4, 137-166.
- Zijlstra, F. R. H. & van Doorn, L. (1985). *The construction of a scale to measure perceived effort*. Delft, Holland: Department of Philosophy and Social Sciences, Delft University of Technology.
- Zimbardo, P. G. & Gerrig, R. J. (2004). *Psychologie. Eine Einführung* (16. Auflage). München: Pearson Studium.

Anhang

Anhang A: Einführungsseite.	259
Anhang B: Lerntextseiten.....	260
Anhang C: Dynamische, interaktive Visualisierung mit Instruktion des ersten Experiments.	266
Anhang D: Letzte Lerntextseite.	267
Anhang E: Fragen zum Behalten und Verständnis des ersten Experiments.	268
Anhang F: Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation.....	272
Anhang G: Letzte Seite des Programms mit Fragen zur Person.	273
Anhang H: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat.	274
Anhang I: Versuchsteilnehmer aufgeschlüsselt nach Studienfächer für das erste Experiment.	275
Anhang J: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des ersten Experiments.....	276
Anhang K: Berücksichtigung der Alphafehlerkumulierung mittels sequentieller Bonferoni- Korrektur nach Holm mit $\alpha = .05$	282
Anhang L: Fragen zum Behalten und Verständnis des zweiten Experiments.	283
Anhang M: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des zweiten Experiments.	287
Anhang N: Deskriptiv- und inferenzstatistische Auswertung der Lernleistungen von Männern bezüglich der Anordnung graphischer Objekte in den ersten beiden Experimenten.	289
Anhang O: Fragen zum Behalten und Verständnis des dritten Experiments.....	291
Anhang P: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des dritten Experiments.....	296
Anhang Q: Darstellung des eigenständig entwickelten inferenzstatistischen Verfahrens für das dritte Experiment.....	298
Anhang R: Ergebnisse einer Simulationsstudie zum Vergleich zwischen einem herkömmlichen zweiseitigen t -Test für unabhängige Stichproben und dem entsprechendem auf Bootstrap basierendem, zweiseitigem inferenzstatistischem Auswertungsverfahren....	300

Anhang S: Versuchsteilnehmer aufgeschlüsselt nach Studienfächer für das vierte Experiment.	302
Anhang T: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des vierten Experiments.....	303
Anhang U: Diskussion von Boden- und Deckeneffekten als Alternativerklärungen für die verschiedenen Moderatoreffekte in den ersten vier Experimenten.	305
Anhang V: Einführungsseite.	308
Anhang W: Lerntextseiten.....	309
Anhang X: Dynamische, interaktive Visualisierung der zweiten Untersuchungsserie (beispielhaft dargestellt: die zweite Versuchbedingung).	316
Anhang Y: Einblendung der Darstellungseigenschaften der interaktiven Animation.	317
Anhang Z: Einblendung der Abbildungsvorlagen der interaktiven Animation.	318
Anhang AA: Letzte Lerntextseite.....	319
Anhang BB: Fragen zum Behalten und Verständnis des fünften Experiments.	320
Anhang CC: Fragen des NASA-TLX.	324
Anhang DD: Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation.	325
Anhang EE: Letzte Seite des Programms mit Fragen zur Person.	326
Anhang FF: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat.	327
Anhang GG: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des fünften Experiments.	328
Anhang HH: Fragen zum Behalten und Verständnis der sechsten Untersuchung.....	330
Anhang II: Zusatztexte für die Lernenden, die jeweils auf der ersten Faktorstufe der drei unabhängigen Variablen des siebten Experiments dargeboten wurden.	334
Anhang JJ: Letzte Lerntextseite vor der interaktiven Animation des siebten Experiments.	336
Anhang KK: Textseite, die unmittelbar vor der interaktiven Animation des siebten Experiments dargeboten wurde. Der letzte Satz wurde nur den Probanden präsentiert, die auf der ersten Faktorstufe der dritten unabhängigen Variablen „Reset-Hinweis“ untersucht wurden.	337
Anhang LL: Dynamische, interaktive Visualisierung des siebten Experiments.	338
Anhang MM: Fragen zum Behalten und Verständnis des siebten Experiments.	339
Anhang NN: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat des siebten Experiments.	343

Anhang OO: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des
siebten Experiments. 344



Neuronale Netze

Eine Einführung

Sehr geehrte(r) Versuchsteilnehmer(in),

vielen Dank, daß Sie sich bereit erklärt haben an diesem Versuch teilzunehmen.

Sie erhalten im Folgenden den ersten Teil eines illustrierten Einführungstextes über neuronale Netze. Dort werden prüfungsrelevante Inhalte für das Psychologie-Hauptstudium behandelt. Ergänzt wird der Text durch eine interaktive Animation, in der Sie selbst mit Hilfe von Schiebereglern Parameter modifizieren und die sich ergebenden Veränderungen beobachten können.

Lesen Sie diesen Lehrtext bitte aufmerksam durch und probieren Sie vor allem die interaktive Animation aus. Dabei dürfen Sie sich leider keine Notizen machen.

Die Inhalte des Einführungstextes sind dabei auf mehreren "Folien" verteilt. Bitte beachten Sie, daß Sie jede Seite (einschließlich der interaktiven Animation) beliebig lange betrachten können. Wenn Sie zur nächsten Seite wechseln wollen, drücken Sie bitte die "Weiter"-Taste (rechts unten). Ein Zurückspringen zu einer vorangegangenen Seite oder Animation ist leider nicht möglich.

Im Anschluss an den Lehrtext möchte ich Sie bitten, einige Fragen über neuronale Netze zu beantworten. Auch hier ist keinerlei Zeitbegrenzung für Sie vorgesehen. Ein Zurückspringen zu einer vorangegangenen Frageseite ist ebenfalls nicht möglich.

- Um die teilweise sehr anspruchsvollen Fragen richtig zu lösen, sollten Sie insbesondere die interaktive Animation ganz genau betrachten. Nutzen Sie hier vor allem die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden und experimentieren Sie ausführlich mit der Animation!

Bei Rückfragen stehe ich Ihnen als Versuchsleiter gerne jederzeit zur Verfügung.

Viel Spaß und Erfolg!

(Sie können die Untersuchung nun durch Betätigen der "Weiter"-Taste rechts unten starten.)

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Einleitung

Neuronale Netze beziehen sich auf das Neuronennetz des menschlichen Gehirns. Dieses dient als Analogie und Inspiration für neuronale Netze, die dann in Computern simuliert werden.



Abb.: Warren McCulloch (1898 - 1972)

Die Ersten, die sich mit dem Thema neuronale Netze beschäftigten, waren **Warren McCulloch und Walter Pitts** im Jahr 1943 mit ihrem Formalmodell des Neurons. Die Arbeiten mit und zu neuronalen Netzen haben seit ca. 1986 sehr stark zugenommen. Es existieren inzwischen zahlreiche wissenschaftliche Zeitschriften, die sich primär mit diesem Thema auseinandersetzen, z. B. "Neurocomputing", "Neural Computation" oder "Neural Networks".



Abb.: Walter Pitts (1924 - 1969)

Mittlerweile lässt sich das Themengebiet in zwei große Bereiche unterteilen:

- » Künstliche neuronale Netze, die modelliert werden, um die **Funktionsweise des menschlichen Gehirns besser zu verstehen**.
- » Künstliche neuronale Netze, die dazu dienen **konkrete Anwendungsprobleme zu lösen** aus Bereichen wie z. B. Statistik, Wirtschaftswissenschaften, Technik und vielen anderen Gebieten.

Insgesamt übt die Idee der neuronalen Netze auf viele Menschen eine sehr hohe Faszinationskraft aus. Diese Lernhilfe soll auf der einen Seite versuchen, diesen Enthusiasmus auf Sie zu übertragen. Zugleich soll jedoch auch gezeigt werden, dass hinter dem Thema neuronale Netze nichts weiter als Matrizenberechnungen stehen.

Doch zunächst zu den Grundlagen neuronaler Netze, den Neuronen...

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Units

Neuronale Netze bestehen aus mehreren Neuronen. Diese Neuronen werden auch als Units, Einheiten oder Knoten bezeichnet. Sie dienen dazu, Informationen aus der Umwelt oder von anderen Neuronen aufzunehmen und an andere Units oder die Umwelt weiterzuleiten.

Man unterscheidet zwischen 3 verschiedenen Arten von Neuronen:

- » **Input-Units:** Units, die von der Außenwelt Signale (Reize, Muster) empfangen können.
- » **Hidden-Units:** Units, die sich zwischen Input- und Output-Units befinden und eine interne Repräsentation der Außenwelt beinhalten.
- » **Output-Units:** Units, die Signale an die Außenwelt weitergeben.

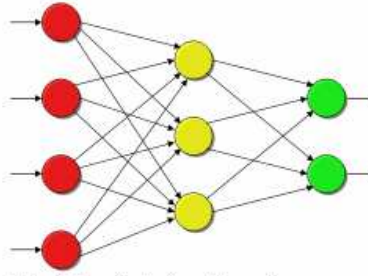


Abb.: Schematische Darstellung eines neuronalen Netzes

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Verbindungen zwischen Units

Units sind miteinander durch Kanten verbunden. Die Stärke der Verbindung zwischen zwei Neuronen wird durch ein Gewicht ausgedrückt. Je größer der Absolutbetrag des Gewichtes ist, desto größer ist der Einfluss einer Unit auf eine andere Unit.

- » Ein **positives Gewicht** bringt zum Ausdruck, dass ein Neuron auf ein anderes Neuron einen exzitatorischen, erregenden Einfluss ausübt.
- » Ein **negatives Gewicht** bedeutet, dass der Einfluss inhibitorisch, also hemmender Natur ist.
- » Ein **Gewicht von Null** besagt, dass ein Neuron auf ein anderes Neuron derzeit keinen Einfluss ausübt.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Input und Netto-Input

Der Input, den ein Neuron von einem anderen Neuron empfängt, hängt von zwei Werten ab, die multiplikativ miteinander verknüpft sind:

- » Aktivitätslevel der sendenden Einheit
- » Gewicht zwischen den beiden Neuronen

Je stärker also der Aktivitätslevel der sendenden Einheit und je höher das Gewicht zwischen den beiden Units, desto größer ist der Einfluss (Input) auf die empfangende Einheit. Ist einer der beiden Terme gleich Null, so ist kein Einfluss vorhanden.

Der gesamte Input einer Unit wird Netto-Input genannt. Dieser setzt sich additiv aus sämtlichen einzelnen Inputs zusammen, die das Neuron von anderen Neuronen erhält.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Aktivitätsfunktion und Aktivitätslevel

Die Aktivitätsfunktion stellt den Zusammenhang zwischen dem Netto-Input und dem Aktivitätslevel eines Neurons dar. Die Aktivitätsfunktion wird in einem 2-dimensionalen Diagramm visualisiert, wobei auf der Abszisse (x-Achse) der Netto-Input der Einheit und auf der Ordinate (y-Achse) das entsprechende Aktivitätslevel abgetragen wird. Das Neuron sendet dann sein Aktivitätslevel an andere Neuronen weiter.

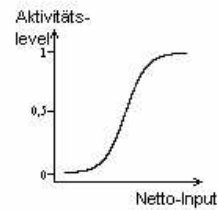


Abb.: Zweidimensionales Liniendiagramm mit sigmoider Aktivitätsfunktion

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Aktivitätsfunktion und Aktivitätslevel

Man unterscheidet zwischen verschiedenen Aktivitätsfunktionen:

- ↳ » **Lineare Aktivitätsfunktion:** Hier ist der Zusammenhang zwischen Netto-Input und Aktivitätslevel linear.
- ↳ » **Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle:** Bevor der Zusammenhang zwischen den beiden Größen linear wird, muss eine zuvor festgelegte Schwelle überschritten werden. Dies kann sinnvoll sein, wenn ein zu niedriger Netto-Input (z. B. ein Rauschen) nicht als Signal weitergeleitet werden soll.
- ↳ » **Binäre Schwellenfunktion:** Hier gibt es nur zwei Zustände des Aktivitätslevel, 0 oder 1.
- ↳ » **Sigmoide Aktivitätsfunktion:** Diese Aktivitätsfunktion wird in den meisten Modellen verwendet, die kognitive Prozesse simulieren. Ist der Netto-Input groß und negativ, dann ist der Aktivitätslevel nahe 0, steigt dann zunächst langsam an (eine Art Schwelle), danach wird der Anstieg schneller und gleicht einer linearen Funktion. Bei einem hohen Netto-Input nähert sich der Wert dann asymptotisch der 1 an (s. Abb.). Die sigmoide Aktivitätsfunktion bietet demnach zwei wesentliche Vorteile:
 - » **Begrenzung des Aktivitätslevels:** Im Gegensatz zu den linearen Aktivitätsfunktionen ist der Aktivitätslevel hier sowohl nach oben als auch nach unten begrenzt. Dies deutet nicht nur auf eine höhere biologische Plausibilität hin, sondern hat auch den Vorteil, daß die Aktivität im Netz nicht ungewollt "überschwappen" kann und dadurch nur noch Fehlerwerte produziert werden.
 - » **mögliche Differenzierbarkeit:** Im Gegensatz zu der binären Schwellenfunktion ist die Funktion an allen Stellen differenzierbar, was beispielsweise eine notwendige Voraussetzung für das noch vorzustellende Backpropagation-Verfahren ist (= eine Lernregel).

Weiter

Anhang C: Dynamische, interaktive Visualisierung mit Instruktion des ersten Experiments.



Neuronale Netze

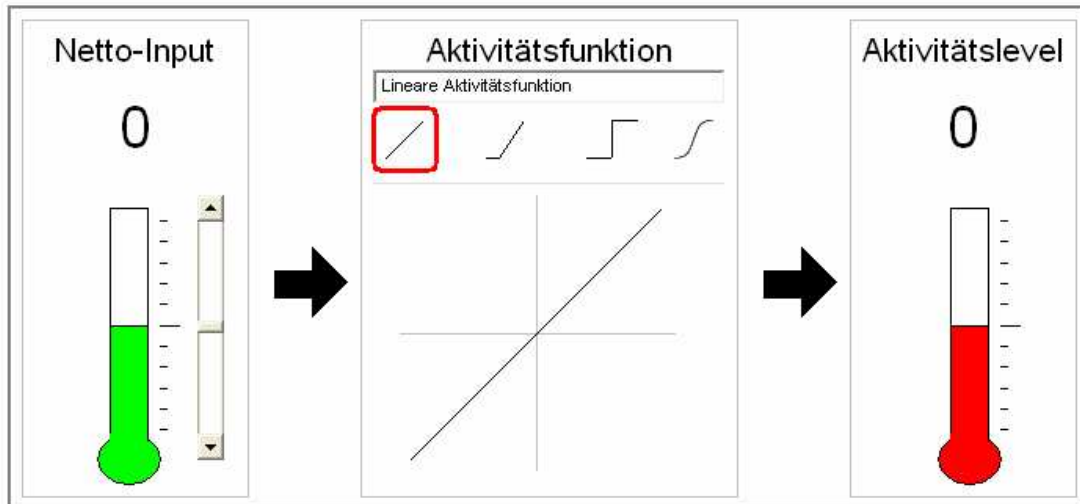
Eine Einführung

Bei dieser interaktiven Animation können Sie selbst ausprobieren, wie Netto-Input, Aktivitätsfunktion und Aktivitätslevel miteinander zusammenhängen. Die dargestellten "Thermometer" dienen dabei als Visualisierung. In dem mittleren Kasten können Sie eine von 4 Aktivitätsfunktionen auswählen.

Bitte schauen Sie sich diese interaktive Animation genau an und experimentieren Sie mit dem Schieberegler und den verschiedenen Aktivitätsfunktionen. Vergleichen Sie dabei auch die Eigenschaften und Wertebereiche (mit den unterschiedlichen Skalierungen !!!) der einzelnen Funktionen.

Beachten Sie insbesondere, welches "Thermometer" den Netto-Input und welches "Thermometer" den Aktivitätslevel repräsentiert.

Zur Erinnerung: Die im Anschluss gestellten, zum Teil sehr anspruchsvollen Fragen beziehen sich vornehmlich auf die Inhalte dieser interaktiven Animation!



Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Trainings- und Ausbreitungsphase

Bei neuronalen Netzen unterscheidet man typischerweise zwischen einer Trainingsphase und einer Ausbreitungsphase.

- » **Trainingsphase:** In dieser Phase lernt das neuronale Netz das vorgegebene Lernmaterial. Dementsprechend werden in der Regel die Gewichte zwischen den einzelnen Neuronen modifiziert. **Lernregeln** (siehe nächste Seiten) geben dabei die Art und Weise an, wie das neuronale Netz diese Veränderungen vornimmt. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen:
 - » **supervised learning:** Der korrekte Output wird vorgegeben und daran werden die Gewichte optimiert.
 - » **unsupervised learning:** Es wird kein Output vorgegeben.
- » **Ausbreitungsphase:** In der Ausbreitungsphase werden hingegen keine Gewichte verändert. Statt dessen wird hier auf Grundlage der bereits modifizierten Gewichte aus der Trainingsphase untersucht, ob das Netz etwas gelernt hat. Dazu präsentiert man den Inputneuronen Reize und prüft, welchen Output das neuronale Netz berechnet. Zwei verschiedene Arten von Reizen können unterschieden werden:
 - » **Ausgangsreize:** Durch Präsentation der zu lernenden Ausgangsreize wird geprüft, ob das neuronale Netz das Material erfasst hat.
 - » **Neue Reize:** Durch Präsentation neuer Reize kann man feststellen, ob das Netz über die zu lernenden Reize hinaus in der Lage ist, Aufgaben zu lösen. Anders formuliert: Generalisiert das neuronale Netz auf diese neuen Reize?

Weiter

Anhang E: Fragen zum Behalten und Verständnis des ersten Experiments.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Welche Aussage trifft (eher) für die Animation zu, die einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisieren soll?

- Die "Wirkung" konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die "Ursache" wurde daraufhin vom Computer "rückwirkend" berechnet und angezeigt.
- Die "Ursache" konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die "Wirkung" wurde daraufhin vom Computer berechnet und angezeigt.

Welcher Satz trifft (eher) für die interaktive Animation zu?

- Aus dem Netto-Input ergibt sich ein Aktivitätslevel.
- Aus dem Aktivitätslevel ergibt sich ein Netto-Input.

Welche Aussage ist korrekt?

- Der Aktivitätslevel wird auf die y-Achse, der Netto-Input auf die x-Achse abgetragen.
- Der Netto-Input wird auf die y-Achse, der Aktivitätslevel auf die x-Achse abgetragen.

Welche Aussage ist zutreffend?

- Das Neuron sendet dann sein Aktivitätslevel an andere Neuronen weiter.
- Das Neuron sendet dann seinen Netto-Input an andere Neuronen weiter.

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von -1 auf 0.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von 0 auf 1.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von -1 auf 0.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von 0 auf 1.

Welche Farbe besaß das "Thermometer", welches die "Ursache" in der interaktiven Animation darstellte?

- rot
- grün

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Zwischen welchen Werten variierte die "Ursache" für die sigmoide Aktivitätsfunktion in der Animation?

- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Zwischen 0 und 10.

Zwischen welchen Werten variierte die "Wirkung" für die lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle?

- Zwischen -10 und 10.
- Zwischen 0 und 10.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 1.

Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für alle auswählbare Aktivitätsfunktionen in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Für zwei Aktivitätsfunktionen zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für eine zwischen -10 und 10.
- Für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für zwei zwischen -10 und 10.

Zwischen welchen Werten variierte der Aktivitätslevel für alle auswählbare Aktivitätsfunktionen in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für zwei zwischen -10 und 10.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Für zwei Aktivitätsfunktionen zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für eine zwischen -10 und 10.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Können Sie in der interaktiven Animation mit dem Schieberegler den Netto-Input oder den Aktivitätslevel eines Neurons verändern?

- Aktivitätslevel
- Netto-Input

Nennen Sie diejenigen beiden Zahlen, in der für drei der vier Aktivitätsfunktionen der Aktivitätslevel mit dem Netto-Input identisch ist.

Angenommen der Netto-Input beträgt 27,5. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Aktivitätslevel bei einer sigmoiden Aktivitätsfunktion?

Angenommen der Aktivitätslevel beträgt 13,2. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Netto-Input bei einer linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle in der interaktiven Animation?

In der interaktiven Animation ist bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle jedem Aktivitätslevel genau ein einziger Netto-Input zugeordnet.

- richtig
- falsch

Welche der Aktivitätsfunktion hat im Wertebereich von 1 bis 2 für die "Ursache" den zweitniedrigsten Anstieg der "Wirkung" zu verzeichnen?

- Lineare Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle
- Binäre Schwellenfunktion
- Sigmoide Aktivitätsfunktion
- keine der 4 Antworten ist korrekt

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Welche Aktivitätsfunktion hat im Wertebereich von 1 bis 2 für die "Wirkung" den stärksten Anstieg der "Ursache" zu verzeichnen?

- Lineare Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle
- Binäre Schwellenfunktion
- Sigmoide Aktivitätsfunktion
- keine der 4 Antworten ist korrekt

Vergleichen Sie bitte die binäre Schwellenfunktion mit der linearen Aktivitätsfunktion in der interaktiven Animation. Welche Aussage ist zutreffend?

- Die beiden Funktionen haben einen unterschiedlichen Wertebereich für den Netto-Input.
- Die beiden Funktionen haben einen unterschiedlichen Wertebereich für den Aktivitätslevel.
- Die beiden Funktionen haben sowohl für den Netto-Input als auch für den Aktivitätslevel den gleichen Wertebereich.

Für welche beiden Aktivitätsfunktionen gilt in der interaktiven Animation:

Der Aktivitätslevel liegt bei 0 für einen Netto-Input von -8.

Netto-Input und Aktivitätslevel sind beim Wert 1 für beide Aktivitätsfunktionen identisch.

- Lineare Aktivitätsfunktion und Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle
- Lineare Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Binäre Aktivitätsfunktion
- Sigmoide Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion

Wie viele mögliche Zustände besitzt der Netto-Input bei einer binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion?

- zwei Zustände
- mehrere Zustände

Weiter

Anhang F: Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Bitte geben Sie an dieser Stelle noch einige Einschätzungen über die interaktive Animation ab.

Sie können dabei eine Bewertung auf einer siebenstufigen Skala abgeben. "+++" stellt dabei eine sehr positive Bewertung bzw. starke Zustimmung zu der Frage dar, während "---" bedeutet, daß Sie eine sehr starke Ablehnung zum Ausdruck bringen möchten bzw. eine sehr negative Bewertung vornehmen.

	---	--	-	0	+	++	+++
Wie beurteilen Sie die im Programm enthaltene Animation?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nutzte Ihnen die Animation beim Verstehen der jeweiligen Inhalte?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
War die Animation intuitiv zu bedienen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Waren die in der interaktiven Animation dargestellten Inhalte schnell zu begreifen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
War Ihrer Meinung nach die Animation didaktisch gut gestaltet?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

(Sie können erst dann den "Weiter"-Button betätigen, wenn Sie zu jeder der fünf Fragen eine Einschätzung abgegeben haben.)

Weiter

Anhang G: Letzte Seite des Programms mit Fragen zur Person.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Abschließend möchte ich Sie bitten, noch einige Angaben zu Ihrer Person abzugeben.
Bitte füllen Sie hierzu nach Möglichkeit alle Felder aus:

Geschlecht: weiblich
 männlich

Alter:

Studienfach:

Semesterzahl:

Beherrschen Sie eine Fremdsprache, die sich "von rechts nach links" schreibt? nein
 ja

Vorkenntnisse über neuronale Netze:

Sind Sie Linkshänder? nein ja

Anmerkungen, Kommentare, Verbesserungsvorschläge (insbesondere zu der Animation) in Stichpunkten:

Vielen herzlichen Dank für Ihre Versuchsteilnahme. Wenn Sie mehr über neuronale Netze erfahren möchten, dann besuchen Sie doch die von mir mitgestaltete Webseite www.neuronalesnetz.de.

In dem von Ihnen gerade durchgeführten Versuch wird untersucht, wie interaktive Animationen gestaltet werden sollten, damit sich ein möglichst günstiger Effekt auf das Behalten und Verstehen zeigt. Bei weiteren Fragen zum Versuch stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

(Bitte klicken Sie nun noch ein letztes Mal auf "Weiter" und wenden Sie sich dann an den Versuchsleiter.)

Anhang H: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat.

Für die erste Verständnisfrage mit offenem Antwortformat waren die beiden Zahlen 0 und 1 die korrekten Antworten. In welcher Reihenfolge die Probanden die Antworten vornahmen war nicht von Belang und wurde deshalb nicht weiter berücksichtigt. Für die Nennung beider Zahlen wurde ein Punkt für die Frage vergeben. Alle Versuchsteilnehmer, die nur eine der beiden Zahlen nannten, erhielten 0.5 Punkte.

Für die zweite Verständnisfrage mit offenem Antwortformat war die richtige Antwort „fast eins“. Hier wurden auch diejenigen Antworten als korrekt gelöst bewertet, die einen Zahlenwert über 0.9 bis max. 1 enthielten, da in der Frage nach der ungefähren Größe gefragt wurde.

Ebenso wurde für die dritte Verständnisfrage verfahren. Hier war die richtige Lösung „13.2“. Alle Antworten zwischen 13 und 14 wurden als zutreffend bewertet, da nur eine ungefähre Größenangabe verlangt war.

Anhang I: Versuchsteilnehmer aufgeschlüsselt nach Studienfächer für das erste Experiment.

Studienfach	Anzahl
Psychologie	90
BWL	8
Soziologie	7
VWL	2
Pädagogik	1
Germanistik	1
Geographie	1
Fremdenverkehrsgeographie	1
Kunstgeschichte/Psychologie	1
Anglistik, Psychologie,	
Ethnologie	1
Gesamt	113

Anhang J: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des ersten Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Die Unabhängigkeit der Beobachtungen verlangt, dass die Beeinflussung eines Messwertes durch Fehlereffekte unabhängig davon ist, wie die übrigen Messwerte durch diese Effekte beeinflusst werden (vgl. Bortz, 2004; Stevens, 2001).

Diese Voraussetzung ist in der Untersuchung sichergestellt, da die Versuchspersonen den vier Bedingungen zufällig zugeordnet wurden (s. Abschnitt II.1.2.2 des empirischen Teils) und jeder Proband den Versuch nur für eine Bedingungskombination als Einzeltest durchführte.

Multivariate Normalverteilung

Die Normalverteilungsannahme setzt voraus, dass die abhängigen Variablen in der Population bei getrennter Betrachtung aller Bedingungskombinationen multivariat normalverteilt sind (Bortz, 2004; Stevens, 2001).

Um diese Annahme zu überprüfen wurden zunächst für die Behaltens- und Verständnisleistungen der Probanden getrennt zwei Polygonzüge mit dreigliedriger Ausgleichung erstellt und mit der theoretischen Normalverteilung verglichen (s. Abb. 31 u. Abb. 32; aufgrund der besseren Übersichtlichkeit wurden die Polygonzüge über alle vier Bedingungskombinationen hinweg generiert). Die graphische Inspektion legt aufgrund der jeweils ähnlichen Verläufe der beiden Kurven sowohl für die Behaltens- als auch für die Verständnisleistung die Vermutung nahe, dass die beiden abhängigen Variablen univariat normalverteilt sein könnten.

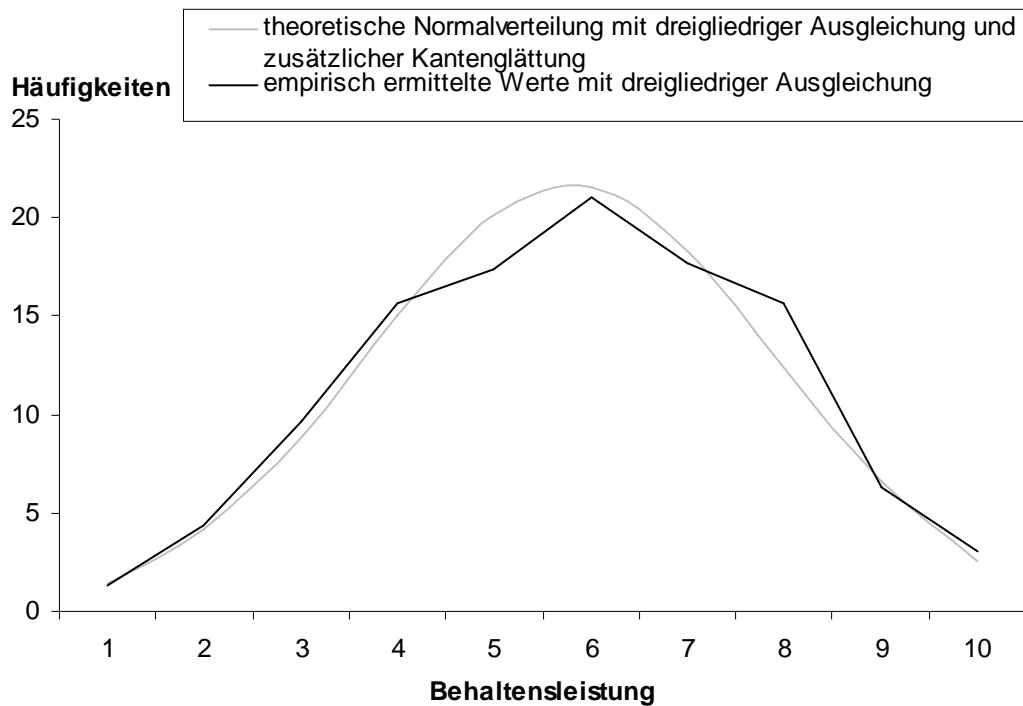


Abb. 31: Vergleich der Polygonzüge für die theoretisch berechnete Normalverteilung und die empirisch ermittelten Häufigkeiten der Behaltensleistungen. Beide Linienverläufe sind mit dem Verfahren der gleitenden Durchschnitte dreigliedrig ausgeglichen. Die Normalverteilung ist zusätzlich geglättet.

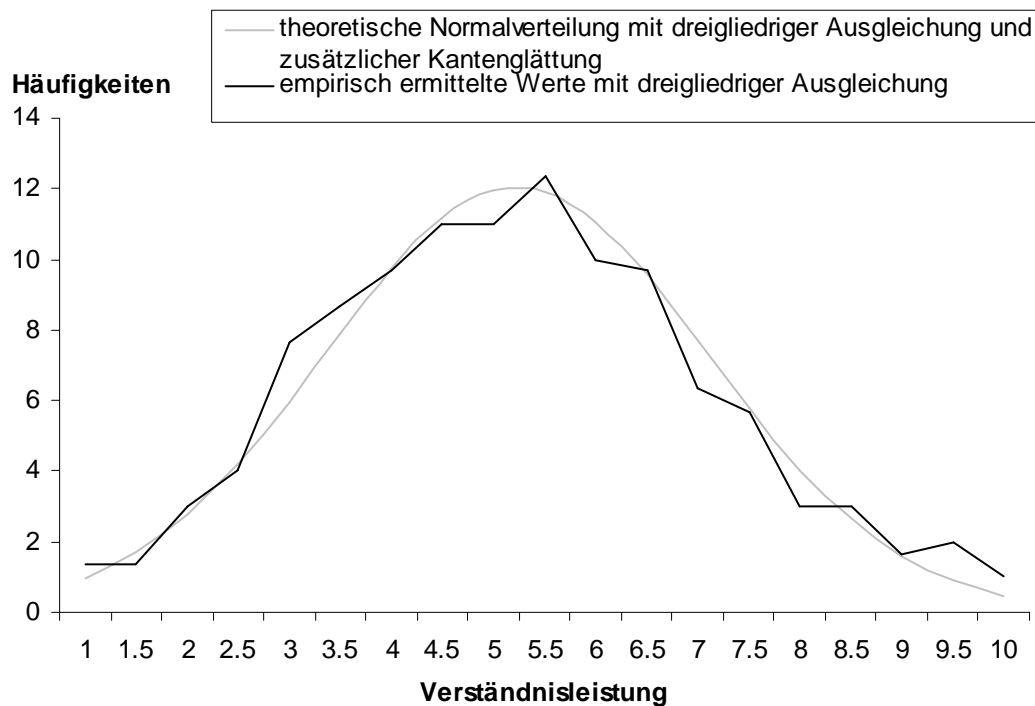


Abb. 32: Vergleich der Polygonzüge für die theoretisch berechnete Normalverteilung und die empirisch ermittelten Häufigkeiten der Verständnisleistungen. Beide Linienverläufe sind mit dem Verfahren der gleitenden Durchschnitte dreigliedrig ausgeglichen. Die Normalverteilung ist zusätzlich geglättet.

Da die Normalverteilungsannahme jedoch postuliert, dass die beiden abhängigen Variablen für alle Bedingungskombinationen getrennt multivariater Natur sein müssen, erfolgte die inferenzstatistische Überprüfung zunächst auf univariater Ebene mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest separat für die vier experimentellen Bedingungen (Leserichtung x Signalisierungen). Lügen bei dieser Überprüfung signifikante Ergebnisse vor, hätte man gezeigt, dass die empirisch ermittelten Verteilungen überzufällig von den theoretisch angenommenen Normalverteilungen abweichen würden. Damit wäre die Annahme der Normalverteilung verletzt.

Für die Behaltensleistung ergeben sich jedoch für alle vier Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte liegen bei 0.721 bis 1.147, die *p*-Werte zwischen .144 und .677.

Noch deutlicher fallen die Befunde für die Verständnisseleistungen aus. Hier sind die *p*-Werte sehr weit vom 5%-Signifikanzniveau entfernt. Sie betragen zwischen .689 und .977 (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte von 0.476 bis 0.713).

Demnach kann in keinem der insgesamt acht Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen¹¹. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb beibehalten.

Da die Annahme der multivariaten Normalverteilung auch dann verletzt sein kann, wenn alle beteiligten Variablen für sich univariat normalverteilt sind (Bortz, 2004; Stevens, 2001), müsste die Normalverteilung zusätzlich auf bivariater Ebene geprüft werden.

Derzeit liegt jedoch für eine derartige Prüfung kein ausgereifter Test vor (Bortz, 2004; Stevens, 2001), sodass im Folgenden lediglich eine graphische Inspektion erfolgen kann.

Abb. 33 stellt die Häufigkeitsverteilung nach dreigliedriger Ausgleichung sowohl bezüglich der Behaltens- als auch Verständnisseleistung dar. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird nur eine Abbildung über alle vier Bedingungen hinweg präsentiert

¹¹ Zur weiteren Untermauerung dieser Behauptung könnte zusätzlich noch eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (s. z. B. Bortz, 2004) vorgenommen werden. Da die Testung auf Annahmeverletzungen ohne Adjustierung jedoch die progressivere – jedoch bezüglich des Einsatzes der MANOVA die konservativere – Variante darstellt, kann auf eine derartige Adjustierung problemlos verzichtet werden. Zudem weist der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest eine relativ niedrige Teststärke auf, sodass durch die Adjustierung kaum noch eine Möglichkeit bestünde, bei derartigen Stichprobengrößen ein signifikantes Abweichen von der Normalverteilung zu detektieren. Auch dies spricht gegen den Einsatz einer derartigen Alphafehleradjustierung.

anstelle von vier verschiedenen Häufigkeitsverteilungen. Auf der x-Achse finden sich die Behaltensleistungen, auf der y-Achse die Verständnisleistungen und auf der z-Achse die Häufigkeiten. Die dreidimensionale Darstellung ist an eine Wanderkarte angelehnt, welche einen benachbarten Geländepunkt gleicher Höhe (in der Abb. 33 die Häufigkeiten) als Höhenlinie (Isohypse) darstellt.

Die bivariate Verteilung fällt wie gewünscht eingipflig aus. Außerdem scheinen sowohl die Arrayverteilungen der Behaltenswerte für die einzelnen Verständniswerte als auch die Arrayverteilungen der Verständniswerte für die einzelnen Behaltenswerte annähernd normalverteilt zu sein. Dies stützt die Annahme der multivariaten Normalverteilung. Einschränkend muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sich durch die Korrelation zwischen Behalten und Verstehen ($r = .574$) in der Abbildung eine leicht ovale Form ergibt. Dies bedeutet konkret, dass kaum Probanden existieren, die bezüglich der Behaltensleistungen sehr gut, für die Verständnisleistungen hingegen sehr schlecht abgeschnitten haben oder umgekehrt. Im Vergleich dazu finden sich mehr Versuchsteilnehmer die sowohl für das Behalten als auch für das Verständnis sehr gute bzw. sehr schlechte Leistungen erzielen konnten (s. Abb. 33).

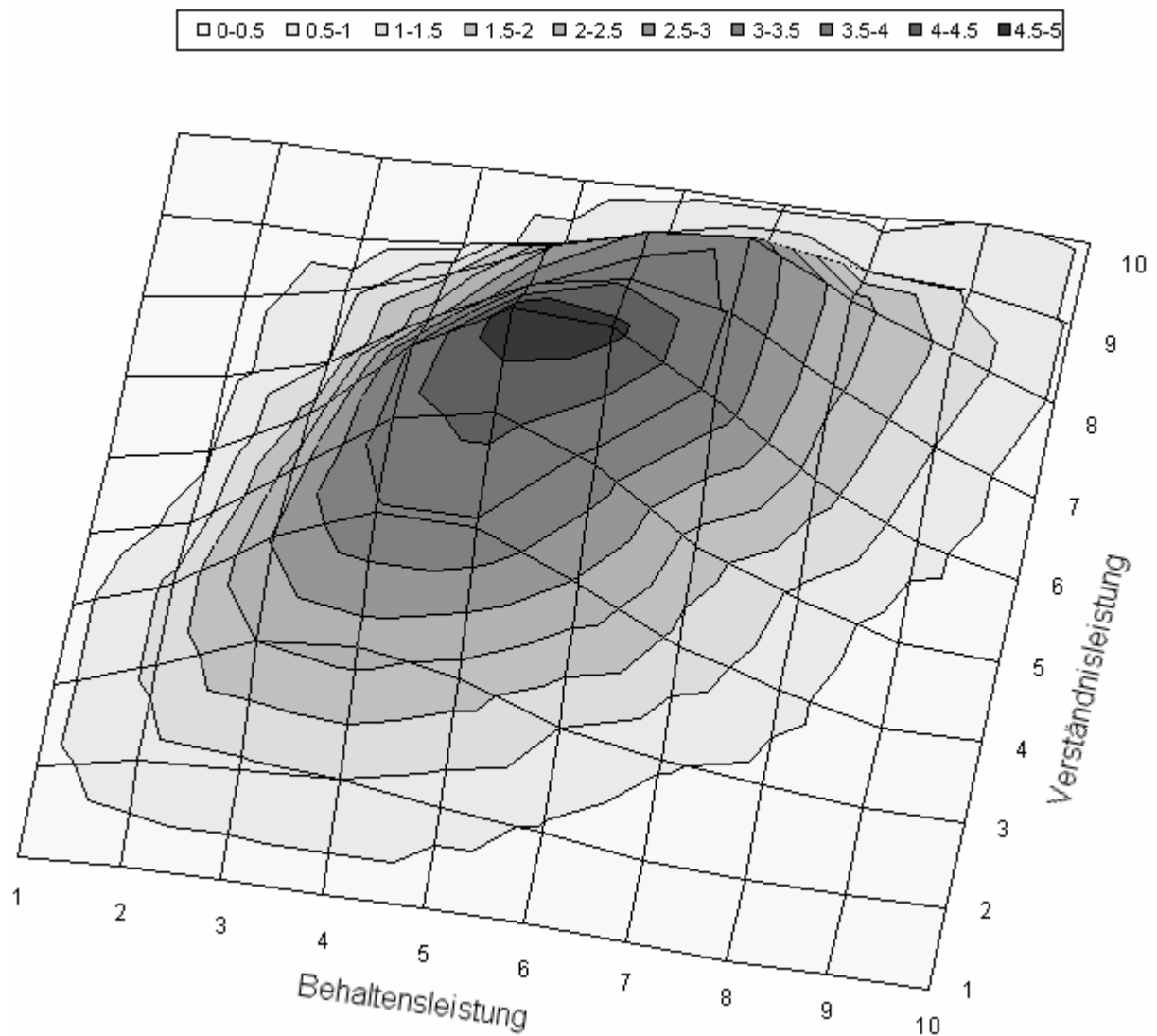


Abb. 33: Dreidimensionale, bivariate Häufigkeitsverteilung mit 3gliedriger Ausgleichung für die Behaltens- und Verständnisleistungen. Die durchschnittlichen Häufigkeiten werden sowohl durch die „Berghöhe“ (z-Achse) als auch durch die Höhenlinien (s. Legende) repräsentiert. Die 3gliedrige Ausgleichung erfolgt gemeinsam (3x3 Matrix) für beide abhängigen Variablen.

Zusammenfassend lassen die graphischen Prüfungen sowie die statistischen Tests auf univariater Ebene die begründete Vermutung zu, dass die Annahme der multivariaten Normalverteilung beibehalten werden kann. Selbst bei Vorliegen einer Annahmeverletzung würde die MANOVA weitgehend robust auf die fehlende multivariate Normalverteilung reagieren, sofern große Stichproben vorlägen und die verglichenen Stichproben gleichgroß wären (Ito, 1969; Ito & Schull, 1964; Stevens, 1979). Aufgrund der Zellenverteilung von je 28 Probanden für die Bedingungen eins bis drei und 29 Versuchsteilnehmern für die Bedingung vier können die Stichproben in der Untersuchung als nahezu gleichgroß bezeichnet werden.

Da auch bei den nachfolgenden, berichteten Experimenten mit Ausnahme der Organismusvariablen „Geschlecht“ die Zellen annähernd gleich verteilt sind, wurde bei diesen Experimenten auf eine graphische Inspektion zur Überprüfung der multivariaten Normalverteilung verzichtet. Stattdessen erfolgt – auch aus Gründen der Übersichtlichkeit – lediglich die Angabe der entsprechenden *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte zur Überprüfung der univariaten Normalverteilung.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Neben der Unabhängigkeit der Beobachtungen und der multivariaten Normalverteilung sollten die beobachteten Varianz-Kovarianz-Matrizen der einzelnen Faktorstufenkombinationen homogen sein. Zur Prüfung dieser Voraussetzung kann u.a. der *Levene*-Test als auch der *Box*-Test (Stevens, 2001) herangezogen werden. Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau verfehlen ($p = .079$ für den *Box*-Test; für den *Levene*-Test: $p = .376$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .867$ für die abhängige Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box*-Test zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).

Anhang K: Berücksichtigung der Alphafehlerkumulierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm mit $\alpha = .05$.

n	p_n	p-Wert für Hypothese:	m-(n-1)	$\alpha'_n = \alpha/(m-(n-1))$	$p_n < \alpha'_n$
1	.006	Hypothese 1, Verständnis	4	.0125	*
2	.031	Hypothese 1, Behalten	3	.0167	n. s.
3	.034	Hypothese 2, Verständnis	2		
4	.536	Hypothese 3, Verständnis	1		

Abbruch!

Anmerkungen: n = Nummer der in eine Rangreihe gebrachten Tests; p_n = empirisch ermittelte Wahrscheinlichkeit des Tests mit der Nummer n; m = Anzahl der simultanen Tests, die in der Korrektur berücksichtigt werden; α'_n = adjustiertes α -Niveau der sequentiellen Bonferoni-Korrektur nach Holm; α = berücksichtigtes α -Niveau von 5%; Der erste p -Wert erreicht noch das Signifikanzniveau, während bereits beim zweiten p -Wert das korrigierte 5%-Niveau verfehlt wird und somit der Abbruch erfolgt.

Bezüglich der Alphafehlerkumulierung wurden lediglich hypothesenrelevante (ohne Post hoc Hypothesen) p -Werte in der Analyse berücksichtigt. Für alle nicht-hypothesenrelevante, inferenzstatistischen Auswertungen (z.B. Zellenverteilung der Moderatorvariablen für die Stichprobe) kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass zumindest einer der durchgeführten Signifikanztests fälschlicherweise signifikant wird.

Als Korrekturverfahren wurde die sequentielle Bonferoni-Korrektur nach Holm (z.B. Bortz, 2004) verwendet.

Anhang L: Fragen zum Behalten und Verständnis des zweiten Experiments.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Welche Aussage trifft (eher) für die Animation zu, die einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisieren soll?

- Die "Wirkung" konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die "Ursache" wurde daraufhin vom Computer "rückwirkend" berechnet und angezeigt.
- Die "Ursache" konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die "Wirkung" wurde daraufhin vom Computer berechnet und angezeigt.

Welcher Satz trifft (eher) für die interaktive Animation zu?

- Aus dem Netto-Input ergibt sich ein Aktivitätslevel.
- Aus dem Aktivitätslevel ergibt sich ein Netto-Input.

Was war der niedrigste "Netto-Input-Wert" für die lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle in der interaktiven Animation?

- 10
- 0

Welche Farbe besaß das "Thermometer", welches den Netto-Input in der interaktiven Animation darstellte?

- Grün
- Rot

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von -1 auf 0.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von 0 auf 1.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von -1 auf 0.
- Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von 0 auf 1.

Welche Farbe besaß das "Thermometer", welches die "Ursache" in der interaktiven Animation darstellte?

- rot
- grün

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für die sigmoide Aktivitätsfunktion in der Animation?

- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Zwischen 0 und 10.

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Netto-Input von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von -1 auf 0.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Aktivitätslevel von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von 0 auf 1.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Aktivitätslevel von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von -1 auf 0.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Netto-Input von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von 1 auf 2.

Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für alle auswählbare Aktivitätsfunktionen in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Für zwei Aktivitätsfunktionen zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für eine zwischen -10 und 10.
- Für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für zwei zwischen -10 und 10.

Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für die binäre Schwellenfunktion in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Keine der anderen Antwortmöglichkeiten ist korrekt.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 0.
- Zwischen -10 und 10.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Können Sie in der interaktiven Animation mit dem Schieberegler den Netto-Input oder den Aktivitätslevel eines Neurons verändern?

- Aktivitätslevel
- Netto-Input

Angenommen der Aktivitätslevel beträgt 76,3. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Netto-Input bei einer linearen Aktivitätsfunktion in der interaktiven Animation?

Angenommen der Netto-Input beträgt 27,5. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Aktivitätslevel bei einer sigmoiden Aktivitätsfunktion?

Angenommen der Aktivitätslevel beträgt 13,2. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Netto-Input bei einer linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle in der interaktiven Animation?

In der interaktiven Animation ist bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle jedem Aktivitätslevel genau ein einziger Netto-Input zugeordnet.

- richtig
- falsch

Was wurde mit Hilfe des Schiebereglers verändert?

- Der Aktivitätslevel, d. h. die Ursache.
- Der Netto-Input, d. h. die "zurückgerechnete" Wirkung.
- Der Aktivitätslevel, d. h. die "zurückgerechnete" Wirkung.
- Der Netto-Input, d. h. die Ursache.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Welche Aktivitätsfunktion hat im Wertebereich von 1 bis 2 für die "Wirkung" den stärksten Anstieg der "Ursache" zu verzeichnen?

- Lineare Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle
- Binäre Schwellenfunktion
- Sigmoide Aktivitätsfunktion
- keine der 4 Antworten ist korrekt

Für welche beiden Aktivitätsfunktionen gilt: Der Netto-Input liegt bei 1,5 bei einem Aktivitätslevel von 1,5. Netto-Input und Aktivitätslevel sind beim Wert 0 für beide Aktivitätsfunktionen identisch.

- Lineare Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Lineare Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Binäre Aktivitätsfunktion

Für welche beiden Aktivitätsfunktionen gilt in der interaktiven Animation:

Der Aktivitätslevel liegt bei 0 für einen Netto-Input von -8.

Netto-Input und Aktivitätslevel sind beim Wert 1 für beide Aktivitätsfunktionen identisch.

- Lineare Aktivitätsfunktion und Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle
- Lineare Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion
- Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Binäre Aktivitätsfunktion
- Sigmoide Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion

Wie viele mögliche Zustände besitzt der Netto-Input bei einer binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion?

- zwei Zustände
- mehrere Zustände

Weiter

Anhang M: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des zweiten Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Auch für das zweite Experiment ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen (s. Anhang J) sichergestellt.

Multivariate Normalverteilung

Für die Behaltensleistung ergeben sich für alle acht Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* *Z*-Werte liegen bei 0.449 bis 0.884, die *p*-Werte zwischen .415 und .988.

Auch für die Verständnisseleistungen überschreiten die *p*-Werte in keinem der acht Fälle das 5%-Signifikanzniveau. Sie betragen zwischen .367 und .914 (*Kolmogorov-Smirnov* *Z*-Werte von 0.558 bis 0.919).

Demnach kann in keinem der insgesamt sechzehn Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb beibehalten¹².

Auf multivariater Ebene existiert zur Prüfung der Normalverteilung derzeit noch kein ausgereifter Test (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Da die MANOVA weitgehend robust auf eine fehlende multivariate Normalverteilung reagiert (s. Anhang J), wird auf eine graphische Inspektion auf bivariater Ebene verzichtet. Kritisch angemerkt werden muss jedoch, dass zwar für die ersten beiden unabhängigen Variablen „Leserichtung und „Horizontal-Vertikal“ des zweiten Experiments eine annähernde Gleichverteilung der Bedingungskombinationen vorliegt (zwischen 23 und 25 Probanden für je eine der 4 Bedingungen), nicht jedoch für die Organismusvariable Geschlecht. Frauen waren in der Studie mit einem Anteil von 64.2% deutlich überrepräsentiert.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Zur Prüfung der Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen kann u.a. der *Levene*-Test als auch der *Box*-Test (Stevens, 2001) herangezogen werden. Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau deutlich verfehlen ($p = .999$ für den *Box*-Test; für den *Levene*-Test: $p = .849$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .760$ für die abhängige

¹² Auch hier könnte zur weiteren Untermauerung dieser Behauptung zusätzlich noch eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (s. z. B. Bortz, 2004) vorgenommen werden. Die Begründung, warum auf ein derartiges Verfahren verzichtet wurde, ist der Fußnote 11 auf Seite 2 zu entnehmen.

Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box*-Test zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).

Anhang N: Deskriptiv- und inferenzstatistische Auswertung der Lernleistungen von Männern bezüglich der Anordnung graphischer Objekte in den ersten beiden Experimenten.

Im ersten Experiment zeigt sich, dass Männer bessere Behaltensleistungen ($d = 0.60$) bei Nichteinhalten der Leserichtung ($M = 6.82$; $SD = 1.40$) als bei Einhalten ($M = 5.91$; $SD = 1.64$) erzielen. Inferenzstatistisch wird dabei das Signifikanzniveau von 5% verfehlt ($F(1, 18) = 1.183$; $p = .291$; $1-\beta = .405$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Hinsichtlich der Verständnisseleistungen der Männer tritt ein sehr schwacher Leserichtungseffekt auf ($d = 0.10$). Die Verständnismittelwerte unterscheiden sich zwischen den beiden Gruppen kaum voneinander ($M_{\text{Links-Rechts}} = 6.41$ ($SD_{\text{Links-Rechts}} = 1.63$) zu $M_{\text{Rechts-Links}} = 6.27$ ($SD_{\text{Rechts-Links}} = 1.06$)). Der schwache Effekt lässt sich folglich auch nicht inferenzstatistisch absichern ($F(1, 18) = 0.026$; $p = .816$; $1-\beta = .405$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Für das zweite Experiment kann zunächst deskriptivstatistisch festgehalten werden, dass bei Männern die Behaltensleistungen in der Bedingung „Nichteinhalten der Leserichtung“ ($M = 7.65$; $SD = 1.87$) höher ausfallen als bei Einhalten der Leserichtung ($M = 6.94$; $SD = 2.38$). Die Effektstärke für diesen umgekehrten Leserichtungseffekt beträgt $d = 0.33$. Dieser Effekt lässt sich jedoch bei einem Alpha-Niveau von 5% nicht auf die Population generalisieren ($F(1, 30) = 0.835$; $p = .368$; $1-\beta = .589$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Bei der Verständnisseleistung wird ein ganz ähnlich schwacher Leserichtungseffekt wie im ersten Experiment ermittelt ($d = 0.10$), wobei die männlichen Probanden in der Stichprobe bei Darbietung des Kausalzusammenhanges in Leserichtung ($M = 7.06$; $SD = 2.36$) geringfügig besser abschneiden als jene, in denen die Leserichtung nicht eingehalten wird ($M = 6.82$; $SD = 2.32$). Auch hier wird das Signifikanzniveau von 5% deutlich verfehlt ($F(1, 30) = 0.137$; $p = .714$; $1-\beta = .589$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Betrachtet man neben dem Leserichtungseffekt noch die Behaltens- und Verständnisseleistungen männlicher Probanden in der zweiten Studie für die horizontale vs. vertikale Anordnung graphischer Objekte, so ergeben sich auch hier keine signifikanten Unterschiede in den Lernleistungen.

Die Behaltensleistungen von Männern fallen in der Bedingung „Horizontal“ ($M = 7.12$; $SD = 2.20$) geringfügig niedriger aus als bei vertikaler Positionierung der graphischen Objekte ($M = 7.47$; $SD = 2.12$). Die Effektstärke liegt bei $d = 0.16$ und stellt keinen überzufälligen Unterschied dar ($F(1, 30) = 0.173$; $p = .681$; $1-\beta = .589$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Bei Betrachtung der Verständnisleistungen von Männern zeigt sich ebenfalls, dass bei horizontaler Darbietung des Kausalzusammenhanges die Mittelwerte niedriger ausfallen ($M = 6.41$; $SD = 2.21$) als bei vertikaler Präsentation ($M = 7.47$; $SD = 2.35$). Die Effektstärke beträgt hier $d = 0.46$ und beschreibt nach Cohen (1977) somit einen annähernd mittleren Effekt. Dieser verfehlt jedoch ebenfalls das Signifikanzniveau ($F(1, 30) = 1.783$; $p = .192$; $1 - \beta = .589$ bei $f^2 = .15$ (mittlerer Effekt) und $\alpha = .05$).

Bei allen berichteten inferenzstatistischen Kennwerten sind die niedrigen Teststärken zu beachten.

Anhang O: Fragen zum Behalten und Verständnis des dritten Experiments.

Behaltensfragen:

1. Wie viele mögliche Zustände besitzt der Netto-Input bei einer binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion?

zwei Zustände

mehrere Zustände

2. Welcher Satz trifft (eher) für die interaktive Animation zu?

Aus dem Netto-Input ergibt sich ein Aktivitätslevel.

Aus dem Aktivitätslevel ergibt sich ein Netto-Input.

3. Was war der niedrigste „Netto-Input-Wert“ für die lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle in der interaktiven Animation?

-10

0

4. Welche Farbe besaß das „Thermometer“, welches den Netto-Input in der interaktiven Animation darstellte?

Grün

Rot

5. Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von -1 auf 0.

Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von 0 auf 1.

Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Aktivitätslevels von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von -1 auf 0.

Bei der binären Schwellen- bzw. Aktivitätsfunktion erfolgte der abrupte Übergang des Netto-Inputs von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von 0 auf 1.

6. Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für die sigmoide Aktivitätsfunktion in der Animation?

- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Zwischen 0 und 10.

7. Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Netto-Input von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von -1 auf 0.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Aktivitätslevel von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von 0 auf 1.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Aktivitätslevel von 0 auf 1 durch Verändern des Netto-Inputs von -1 auf 0.
- Bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle erhöht sich der Netto-Input von 0 auf 1 durch Verändern des Aktivitätslevels von 1 auf 2.

8. Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für alle auswählbare Aktivitätsfunktionen in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -10 und 10.
- Für zwei Aktivitätsfunktionen zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für eine zwischen -10 und 10.
- Für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 1, für eine Aktivitätsfunktion zwischen 0 und 10 und für zwei zwischen -10 und 10.

9. Zwischen welchen Werten variierte der Netto-Input für die binäre Schwellenfunktion in der Animation?

- Zwischen -1 und 1.
- Keine der anderen Antwortmöglichkeiten ist korrekt.
- Zwischen 0 und 1.
- Zwischen -1 und 0.
- Zwischen -10 und 10.

10. Welche Farbe besaß das „Thermometer“, welches die „Ursache“ in der interaktiven Animation darstellte?

- Rot
- Grün

Verständnisfragen:

11. Konnten Sie in der zweiten Animation mit dem Schieberegler den Netto-Input oder der Aktivitätslevel eines Neurons verändern?

- Aktivitätslevel
- Netto-Input

12. Angenommen der Aktivitätslevel beträgt 76,3. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Netto-Input bei einer linearen Aktivitätsfunktion in der interaktiven Animation?

.....

13. Angenommen der Netto-Input beträgt 27,5. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Aktivitätslevel bei einer sigmoiden Aktivitätsfunktion?

.....

14. Angenommen der Aktivitätslevel beträgt 13,2. Wie hoch ist dann (ungefähr) der Netto-Input bei einer linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle?

.....

15. In der interaktiven Animation ist bei der linearen Aktivitätsfunktion mit Schwelle jedem Aktivitätslevel genau ein einziger Netto-Input zugeordnet.

richtig

falsch

16. Was wurde mit Hilfe des Schiebereglers verändert?

Der Aktivitätslevel, d.h. die Ursache.

Der Netto-Input, d.h. die „zurückgerechnete“ Wirkung.

Der Aktivitätslevel, d.h. die „zurückgerechnete“ Wirkung.

Der Netto-Input, d.h. die Ursache.

Keine der 4 Antworten ist korrekt

17. Welche Aktivitätsfunktion hat im Wertebereich von 1 bis 2 für die „Wirkung“ den stärksten Anstieg der „Ursache“ zu verzeichnen?

Lineare Aktivitätsfunktion

Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle

Binäre Schwellenfunktion

Sigmoide Aktivitätsfunktion

keine der 4 Antworten ist korrekt

18. Für welche beiden Aktivitätsfunktionen gilt: Der Netto-Input liegt bei 1,5 bei einem Aktivitätslevel von 1,5. Netto-Input und Aktivitätslevel sind beim Wert 0 für beide Aktivitätsfunktionen identisch.

Lineare Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion

Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Lineare Aktivitätsfunktion

Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Binäre Aktivitätsfunktion

19. Für welche beiden Aktivitätsfunktionen gilt: Der Aktivitätslevel liegt bei 0 für einen Netto-Input von -8. Netto-Input und Aktivitätslevel sind beim Wert 1 für beide Aktivitätsfunktionen identisch.

Lineare Aktivitätsfunktion und Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle

Lineare Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion

Lineare Aktivitätsfunktion mit Schwelle und Binäre Aktivitätsfunktion

Sigmoidale Aktivitätsfunktion und Binäre Aktivitätsfunktion

20. Welche Aussage trifft (eher) für die Animation zu, die einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang visualisieren soll?

Die „Wirkung“ konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die „Ursache“ wurde daraufhin vom Computer „rückwirkend“ berechnet und angezeigt.

Die „Ursache“ konnte mit Hilfe des Schiebereglers verändert werden; die „Wirkung“ wurde daraufhin vom Computer berechnet und angezeigt.

Anhang P: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des dritten Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Auch für das dritte Experiment ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen (s. Anhang J) sichergestellt.

Multivariate Normalverteilung

Für die Behaltensleistung ergeben sich für sieben der acht Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte liegen bei 0.454 bis 1.080, die *p*-Werte zwischen .194 und .986. Lediglich in einer der acht Bedingungen wird das 5%-Niveau unterschritten (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Wert von 1.471; *p*-Wert von .026).

Auch für die Verständnisleistungen überschreiten die *p*-Werte nur in einem der acht Fälle das 5%-Signifikanzniveau. Sie betragen zwischen .032 und .997 (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte von 0.404 bis 1.439).

Wegen der auftretenden Alphafehlerkumulierung wird für die 16 *p*-Werte eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (z.B. Bortz, 2004) vorgenommen (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Berücksichtigung der Alphafehlerkumulierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm mit $\alpha = .05$. Keiner der *p*-Werte erreicht das fünfprozentige Signifikanzniveau, bereits nach dem ersten *p*-Wert wird der vorzeitige Abbruch eingeleitet.

n	p_n	p-Wert für Bedingung:	m-(n-1)	$\alpha'_n = \alpha/(m-(n-1))$	$p_n < \alpha'_n$
1	.026	Oben-Unten; Männer; Behalten	16	.003	n. s.
2	.032	Rechts-Links; Männer; Verständnis	15	Abbruch!	

Anmerkungen: n = Nummer der in eine Rangreihe gebrachten Tests; p_n = empirisch ermittelte Wahrscheinlichkeit des Tests mit der Nummer n; m = Anzahl der simultanen Tests, die in der Korrektur berücksichtigt werden; α'_n = adjustiertes α -Niveau der sequentiellen Bonferoni-Korrektur nach Holm; α = berücksichtigtes α -Niveau von 5%; Bereits der erste *p*-Wert erreicht nicht das adjustierte Signifikanzniveau, sodass ein sofortiger Abbruch erfolgt. Die verbleibenden Werte der Tabelle wurden folglich nicht mehr abgetragen.

Nach Adjustierung des Alphafehlers kann in keinem der insgesamt sechzehn Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb vorläufig beibehalten.

Auf multivariater Ebene existiert zur Prüfung der Normalverteilung derzeit noch kein ausgereifter Test (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Da die MANOVA weitgehend robust auf

eine fehlende multivariate Normalverteilung reagiert (s. Anhang J), wird auf eine graphische Inspektion auf bivariater Ebene verzichtet. Hierbei muss jedoch kritisch hervorgehoben werden, dass zwar für die erste unabhängige Variable „Anordnung graphischer Objekte“ eine annähernde Gleichverteilung der Bedingungskombinationen vorliegt (zwischen 42 und 49 Probanden für je eine der 4 Bedingungen), nicht jedoch für die Organismusvariable Geschlecht. Männer waren in der Studie mit einem Anteil von 77.5% deutlich überrepräsentiert. Jedoch kann auch dieses Argument, welches gegen die Anwendung der MANOVA als inferenzstatistisches Verfahren spricht, entkräftet werden, da die beiden formulierten Hypothesen der dritten Untersuchung keinerlei direkten inferenzstatistischen Vergleich zwischen Männern und Frauen implizieren.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Zur Prüfung der Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen kann u.a. der *Levene*-Test als auch der *Box*-Test (Stevens, 2001) herangezogen werden. Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau deutlich verfehlen ($p = .927$ für den *Box*-Test; für den *Levene*-Test: $p = .561$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .820$ für die abhängige Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box*-Test zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).

Anhang Q: Darstellung des eigenständig entwickelten inferenzstatistischen Verfahrens für das dritte Experiment.

Das inferenzstatistische Auswertungsverfahren für das dritte Experiment wurde auf Basis von Bootstrap-Stichproben entwickelt (vgl. Efron & Tibshirani, 1993).

Das Grundprinzip stellt dabei die Generierung einer Stichprobenkennwerteverteilung dar, die durch Simulation einer Population mit Hilfe der aktuellen Stichprobe zustande kommt. Hinsichtlich des Algorithmus kann man hierbei mehrere Schritte voneinander unterscheiden. Im ersten Schritt wird eine neue Stichprobe zufällig durch Ziehen mit Zurücklegen aus der aktuellen Stichprobe generiert. Diese künstlich erstellte Stichprobe besitzt die gleiche „Versuchspersonenanzahl“ wie die Ausgangsstichprobe. Im zweiten Schritt wird für die generierte Stichprobe der interessierende Stichprobenkennwert (z.B. der Mittelwert einer bestimmten Versuchsbedingung) ermittelt. Diese ersten beiden Schritte werden mehrfach wiederholt (z.B. 10000 Wiederholungen).

Die so gewonnenen Kennwerte sind in eine Häufigkeitsverteilung – der Stichprobenkennwerteverteilung – einzuzeichnen. Aus dieser lassen sich relative Flächenanteile (Konfidenzintervalle) bestimmen. Hierzu wird der Kennwert aus der Vielzahl der zuvor berechneten Kennwerte ermittelt, der die Fläche unter der Verteilung in zwei Anteile (z.B. 95% links von dem Kennwert und 5% rechts davon) unterteilt. Folglich wird eine inferenzstatistische Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der zu untersuchenden Hypothese ermöglicht. Der graphisch bestimmte Kennwert, der 5% der Verteilung von dem verbleibenden, links vom Kennwert befindlichen Flächenanteil trennt, fungiert dabei als kritischer Wert. Fällt dieser größer aus als der empirisch ermittelte Kennwert (z.B. der Mittelwert einer anderen Versuchsbedingung), dann kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, sondern ist vorläufig beizubehalten. Ist der empirische Wert hingegen größer als der kritische, über Bootstrap-Stichproben gewonnene Kennwert, so ist eine Entscheidung zugunsten der Alternativhypothese auf dem 5%-Niveau möglich.

Im vorliegenden Fall wurde auf die Erstellung der Häufigkeitsverteilung und graphische Ermittlung der Konfidenzintervalle verzichtet. Stattdessen wurden die relevanten p -Werte rechnerisch bestimmt, um größere Präzision gewährleisten zu können. Dabei erfolgte im ersten Schritt die Berechnung der beiden miteinander zu vergleichenden Mittelwerte über die zufällig generierten Bootstrap-Stichproben. Im zweiten Schritt wurde von den beiden Werten der größere bestimmt. Die Ermittlung des größeren Wertes wurde entsprechend der Anzahl

der Bootstrap-Stichproben wiederholt (im vorliegenden Fall 10000 Mal). Im Anschluss erfolgte die Auszählung dieser Häufigkeiten für die beiden betrachteten Mittelwerte.

Sind die beiden Ausgangsstichproben annähernd identisch, so ist davon auszugehen, dass die absoluten Häufigkeiten für die beiden Mittelwerte nahezu gleich ausfallen. Die relativen Häufigkeiten betragen entsprechend etwa 50% für beide Mittelwerte. Je unterschiedlicher beide Mittelwerte sind, desto stärker weichen deren Häufigkeiten ab. Damit wird die Annahme, dass beide – für die Mittelwerte verantwortlichen – Stichproben derselben Population entstammen, umso unwahrscheinlicher. Diese Annahme ist dann zu verwerfen, wenn die relative Wahrscheinlichkeit für die Häufigkeit des a priori postulierten kleineren Wertes unter 5% fällt. Anders formuliert: Die Nullhypothese wird verworfen.

Hierbei ist zu beachten, dass es sich um einen einseitigen Test handelt. Soll eine zweiseitige Testung vorgenommen werden, so sind die ermittelten p -Werte entsprechend zu verdoppeln. Alternativ kann auch das Signifikanzniveau halbiert werden.

Die hier skizzierte Vorgehensweise hat sich in einer eigenen Simulationsstudie im Vergleich zu einem herkömmlichen t -Test bewährt. Sowohl die Auftretenswahrscheinlichkeit des Alpha- als auch des Betafehlers ist bei dem skizzierten Vorgehen (bei zweiseitiger Testung) geringer als bei einem zweiseitigen t -Test für unabhängige Stichproben. Nähere Informationen hierzu werden im Anhang R erörtert. Eingehendere Angaben zum Thema Bootstrap sind an anderer Stelle zu entnehmen (z.B. Efron & Tibshirani, 1993).

Anhang R: Ergebnisse einer Simulationsstudie zum Vergleich zwischen einem herkömmlichen zweiseitigen *t*-Test für unabhängige Stichproben und dem entsprechendem auf Bootstrap basierendem, zweiseitigem inferenzstatistischem Auswertungsverfahren.

		In der Population gilt:	
		H ₀ trifft zu	H ₁ trifft zu
<i>t</i> -Test postuliert	H ₀ wird angenommen	2831	1531
	H ₁ wird angenommen	169	1469
Bootstrap postuliert	H ₀ wird angenommen	2839	1457
	H ₁ wird angenommen	161	1543

Anmerkungen: H₀ = Nullhypothese; H₁ = Alternativhypothese; „*t*-Test“ bezieht sich auf einen zweiseitigen *t*-Test für unabhängige Stichproben; „Bootstrap“ hingegen auf das auf Bootstrap basierende, zweiseitige inferenzstatistische Auswertungsverfahren, welches im Anhang Q eingehend erörtert wird.

In der Simulationsstudie wurden insgesamt 10000 (1000 Mal wurden 10 verschiedene Stichproben miteinander verglichen) zufällig generierte Stichproben mit je 30 simulierten Versuchspersonen ($n = 30$) generiert. Jeder dieser simulierten Versuchspersonen wurde eine zufällige Zahl zwischen 0 und 10 zugeordnet (vgl. II.1.4 Experiment 3: Online-Untersuchung). Die 10 verschiedenen Stichproben wurden sowohl mit Hilfe von sechs *t*-Tests als auch durch sechs Tests, die auf dem selbstständig entwickeltem, auf Bootstrap basierendem, zweiseitigem inferenzstatistischem Auswertungsverfahren erstellt wurden, ausgewertet. Die Kennwerte für letzteres Verfahren wurden auf der Basis von je 100 Bootstrap-Stichproben pro zu ermittelndem Kennwert berechnet. Vermutlich hätte eine höhere Anzahl an Bootstrap-Stichproben die Trefferquote (s. obige Tabelle) der sechs Tests noch erhöhen können. Aufgrund der erhöhten Rechenzeit wurde jedoch hierauf verzichtet. Die Berechnung der *p*-Werte erfolgte für die sechs Tests mit Hilfe der Bootstrap-Stichproben analog zum generierten Auswertungsverfahren des dritten Experiments (s. Anhang Q), wobei eine zweiseitige Testung vorgenommen wurde.

In den ersten drei der sechs Vergleiche pro Auswertungsverfahren wurde die erste Stichprobe der zweiten, dritten und vierten Stichprobe gegenübergestellt. Die Daten in diesen Stichproben wurden zufällig generiert, sodass auftretende Mittelwertsunterschiede rein zufälliger Natur waren. Damit sollten je drei Tests pro Auswertungsverfahren simuliert werden, in denen in der Population kein Effekt vorlag. In den verbleibenden drei Vergleichen wurden die Stichproben 5 gegen 6, 7 gegen 8 und 9 gegen 10 kontrastiert. Hier wurden die Stichproben so generiert, dass zu den Zufallswerten der Stichproben 6, 8 und 10

ein zusätzlicher Term addiert wurde (vgl. Rauschen und Signal in der Signaldetektionstheorie). Bei diesem Term handelte es sich einmal um einen schwachen ($d = 0.20$), einmal um einen mittleren ($d = 0.50$) und einmal um einen starken ($d = 0.80$) Effekt. Überprüft werden sollte, wie häufig die t -Tests die drei Effekte im Vergleich zum selbsterstellten, inferenzstatistischen Verfahren detektieren und gleichzeitig die ersten drei Mittelwertsunterschiede als nicht signifikant zurückweisen würden.

Diese 6 Vergleiche wurden 1000 Mal vorgenommen, sodass – jeweils getrennt für t -Test und das „modifizierte Bootstrap-Verfahren“ – 6000 Entscheidungen vorgenommen wurden. 3000 Entscheidungen, in denen idealerweise die Nullhypothese beibehalten und 3000, in denen die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese abgelehnt werden sollte. Die obige Tabelle zeigt, dass der t -Test geringfügig häufiger einen Alphafehler begeht als das auf Bootstrap basierende inferenzstatistische Verfahren (169 zu 161). Auch hinsichtlich des Betafehlers schneidet der t -Test schlechter ab. Hier finden sich 1531 Fehlentscheidungen im Vergleich zu 1457 fälschlichen Einschätzungen beim „modifizierten Bootstrap-Verfahren“.

Zusammenfassend zeigt sich, dass das selbsterstellte Verfahren nicht nur eine höhere Teststärke (51.43% zu 48.97%) aufweist, sondern zugleich geringfügig weniger Alphafehler produziert. Zu vermuten ist, dass dieses Ergebnis durch die Annahmeveraussetzung der Normal- bzw. t -Verteilung beim t -Test zustande kam, während das auf Bootstrap basierende inferenzstatistische Verfahren sich dieser Annahme nicht bedient. Dadurch kann bei Verteilungen, die von der Normal- bzw. t -Verteilung abweichen, eine präzisere Entscheidung zugunsten der Null- oder Alternativhypothese getroffen werden. Da in dieser ersten Simulationsstudie Stichproben generiert wurden, deren Daten gleichverteilt waren, müsste der Einfluss der Verteilung der Daten in weiteren Simulationsstudien systematisch überprüft werden.

Anhang S: Versuchsteilnehmer aufgeschlüsselt nach Studienfächer für das vierte Experiment.

Studienfach	Anzahl
Psychologie	46
BWL/VWL	10
Jura	8
Politikwissenschaften	6
Germanistik	5
Soziologie	4
Geschichte	3
Lehramt	3
Anglistik	2
Informatik	2
kein Student	2
Mathematik	2
LDV	1
Medienwissenschaften	1
Sportwissenschaften	1
Gesamt	96

Anhang T: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des vierten Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Auch für das vierte Experiment ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen (s. Anhang J) sichergestellt.

Multivariate Normalverteilung

Hinsichtlich der Überprüfung der multivariaten Normalverteilung sowie der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen ist zu beachten, dass bei der inferenzstatistischen Überprüfung der Hypothesen in Abhängigkeit der Hypothesen (s. Abschnitt II.1.5.3) auch die Moderatorvariablen Computererfahrung und räumliches Vorstellungsvermögen sowie das Geschlecht Berücksichtigung finden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll hier lediglich beispielhaft die Überprüfung der Annahmeveraussetzungen für die vier Versuchsbedingungen und der Computererfahrung, die zuvor einem Median-Split (s. Abschnitt II.1.5.3) unterzogen wurde, vorgenommen werden.

Für die Behaltensleistung ergeben sich für alle acht Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte variieren dabei zwischen 0.441 und 1.136, die *p*-Werte zwischen .151 und .990. Auch für die Verständnisseleistungen überschreiten die *p*-Werte in keinem der acht Fälle das 5%-Signifikanzniveau. Sie betragen zwischen .162 und .974 (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte von 0.482 bis 1.121).

Demnach kann in keinem der insgesamt sechzehn Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb beibehalten¹³.

Auf multivariater Ebene existiert zur Prüfung der Normalverteilung derzeit noch kein ausgereifter Test (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Da die MANOVA weitgehend robust auf eine fehlende multivariate Normalverteilung reagiert (s. Anhang J), wird auf eine graphische Inspektion auf bivariater Ebene verzichtet.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau verfehlen ($p = .789$ für den *Box*-Test; für den *Levene*-Test: $p = .154$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .582$ für die abhängige

¹³ Auch hier könnte zur weiteren Untermauerung dieser Behauptung zusätzlich noch eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (s. z. B. Bortz, 2004) vorgenommen werden. Die Begründung, warum auf ein derartiges Verfahren verzichtet wurde, ist der Fußnote 11 auf Seite 2 zu entnehmen.

Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box*-Test zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).

Anhang U: Diskussion von Boden- und Deckeneffekten als Alternativerklärungen für die verschiedenen Moderatoreffekte in den ersten vier Experimenten.

Insbesondere bezüglich der zweiten und vierten Hypothese des vierten Experiments, die den moderierenden Einfluss des Geschlechtes aufklären sollen, ist auf mögliche Boden- oder Deckeneffekte hinzuweisen. Denkbar wäre, dass der in den ersten drei Experimenten entdeckte Geschlechtseffekt aufgrund divergierender Lernleistungen von Männern und Frauen und dadurch bedingten unterschiedlich starken Boden- oder Deckeneffekten zustande gekommen ist. Sind für diese geschlechtsspezifischen Leistungsunterschiede das räumliche Vorstellungsvermögen oder die Erfahrungen mit Computern verantwortlich oder führen diese beiden Variablen unabhängig vom Geschlecht zu unterschiedlichen Lernleistungen (was beispielsweise bezüglich des räumlichen Vorstellungsvermögens zu vermuten ist), dann könnten auch hier Boden- oder Deckeneffekte diesen Effekt bedingen. Insofern könnte eine Bestätigung der zweiten oder vierten Hypothese auch auf einem methodischen Artefakt beruhen. Diese Einschränkung gilt in ähnlicher Form für die erste und dritte Hypothese, wobei hier der moderierende Einfluss des Geschlechts und dort auftretende Boden- oder Deckeneffekte nicht von Belang sind.

Um diesen Methodenartefakt als Erklärung auszuschließen wird zunächst geprüft, ob sich die Lernleistungen von Männern und Frauen in den ersten drei Experimenten unterscheiden. Tabelle 16 zeigt, dass Männer in allen drei Experimenten sowohl bei den Behaltens- als auch den Verständnisleistungen besser abschneiden. Dass sich die Lernleistungen zwischen Männern und Frauen signifikant voneinander unterscheiden ist hierbei nicht zwingend erforderlich und soll daher auch nicht weiter überprüft werden. Die deskriptivstatistischen Kennwerte deuten allerdings darauf hin, dass dies in den meisten Fällen nicht der Fall ist. Gegen den Einfluss eines Deckeneffektes (Bodeneffekte sind aufgrund der hohen Lernleistungen auszuschließen) auf den oben aufgeführten Moderatoreffekt spricht, dass die Mittelwerte in den drei Experimenten für die einzelnen Gruppen (siehe Tabelle 16) zwischen 4.96 und 7.29 betragen und somit noch relativ weit entfernt vom maximal zu erreichenden Wert 10 entfernt liegen. Dennoch wäre es zumindest denkbar, dass bei Männern ein stärker auftretender Deckeneffekt als bei Frauen verhindert hat, dass hier ein Einfluss durch die Anordnung graphischer Objekte nachgewiesen werden kann. Wenn wirklich ein Deckeneffekt den moderierenden Einfluss des Geschlechts bedingt, dann müssten bei den Männern geringere Standardabweichungen als bei Frauen in den einzelnen Gruppen anzutreffen sein. Tabelle 16 zeigt, dass dies lediglich in den ersten beiden Experimenten der Fall ist. Hier könnte man einwenden, dass im dritten Experiment vornehmlich gezeigt wird,

dass die unterschiedliche Anordnung graphischer Objekte in interaktiven Animationen bei Männern keinen Einfluss auf die Lernleistungen besitzt, während dies bei Frauen im dritten Experiment nur tendenziell der Fall ist.

Neben den Mittelwerten und Standardabweichungen sollten die Verteilungen bei Männern rechtssteiler als jene der Frauen ausfallen. Auch hier zeigt sich, dass in allen drei Experimenten bei Männern sowohl bei den Behaltens- als auch den Verständnisleistungen die berechneten Schiefen negativer und damit rechtssteiler als in den entsprechenden Gruppen der Frauen sind (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Darstellung der Mittelwerte, Standardabweichungen und Schiefen für die Behaltens- und Verständnisleistungen der ersten drei Experimente getrennt für Männer und Frauen.

			Männer	Frauen
Experiment 1	Behalten	$M (\alpha^1)$	6.36	5.65
		$SD (\alpha^2)$	1.56	1.96
		$Sch (\alpha^3)$	-0.51	-0.07
	Verständnis	$M (\alpha^1)$	6.34	4.96
		$SD (\alpha^2)$	1.34	1.90
		$Sch (\alpha^3)$	-1.01	0.53
Experiment 2	Behalten	$M (\alpha^1)$	7.29	6.60
		$SD (\alpha^2)$	2.14	2.41
		$Sch (\alpha^3)$	-0.64	-0.40
	Verständnis	$M (\alpha^1)$	6.94	6.10
		$SD (\alpha^2)$	2.31	2.43
		$Sch (\alpha^3)$	-0.35	-0.08
Experiment 3	Behalten	$M (\alpha^1)$	7.04	6.98
		$SD (\alpha^2)$	2.47	2.31
		$Sch (\alpha^3)$	-0.73	-0.48
	Verständnis	$M (\alpha^1)$	6.83	6.71
		$SD (\alpha^2)$	2.00	1.98
		$Sch (\alpha^3)$	-0.77	-0.26

Anmerkungen: $M (\alpha^1)$ = Mittelwert (1. Potenzmoment); $SD (\alpha^2)$ = Standardabweichung (2. Potenzmoment); $Sch (\alpha^3)$ = *Schiefe* (3. Potenzmoment)

Um weitgehend ausschließen zu können, dass der in den ersten drei Experimenten gefundene moderierende Einfluss des Geschlechts auf einem methodischen Artefakt beruht

und gleichzeitig zu gewährleisten, dass die ersten vier genannten Hypothesen des vierten Experiments nicht selbigem anheim fallen, soll an dieser Stelle potentiell auftretenden Deckeneffekten besondere Beachtung geschenkt werden. Falls Deckeneffekte eine Rolle spielen, sollten mit den Lernleistungen korrelierte Drittvariablen den Leserichtungseffekt und andere Effekte, die sich auf die Anordnung graphischer Objekte beziehen, immer in einer bestimmten Weise moderierend wirken. Solche Drittvariablen könnten beispielsweise die Computererfahrung, das räumliche Vorstellungsvermögen sowie die ebenfalls im vierten Experiment miterfasste verbale Intelligenz der Probanden darstellen. Bei Annahme von Deckeneffekten müssten sich mit ansteigenden Werten der Drittvariablen der Effekt der Leserichtung (oder anderer Effekte, die auf die Anordnung graphischer Objekte zurückgehen) am oberen Rand der Behaltens- und/oder Verständnisleistung abschwächen.

An dieser Stelle soll exemplarisch für die Moderatorvariable Computererfahrung gezeigt werden, dass sich die Unterschiede der Verständnisleistungen zwischen der Bedingung Links-Rechts und den anderen drei Bedingungen nicht auf einen Deckeneffekt zurückführen lassen. Sowohl Abb. 27 als auch Abb. 28 im Ergebnisteil des vierten Experiments (s. Abschnitt II.1.5.3) lassen erkennen, dass mit steigender Computererfahrung der Leserichtungseffekt sich in horizontaler Richtung für die Verständnisleistungen nicht abschwächt, wie bei Annahme von Deckeneffekten zu erwarten wäre, sondern sich hingegen deutlich verstärkt. Vor allem die Stärke des Effektes ($d = 1.25$ bei der durchgeführten Analyse mittels Median-Split, s. Abschnitt II.1.5.3) widerspricht der Annahme eines Deckeneffektes deutlich.

Damit wird exemplarisch gezeigt, dass sich die vorliegenden Befunde des vierten Experiments kaum auf einen Methodenartefakt in Form eines Deckeneffektes zurückführen lassen dürften. Eine erneute Prüfung von Deckeneffekten für die verbleibenden drei Hypothesen sowie für den moderierenden Einfluss des Geschlechts sollte sich erübrigen, da sich der Einfluss eines Deckeneffektes für sämtliche Moderatorvariablen zeigen sollte, die in der unter II.1.3.1 und unter II.1.5.1 näher spezifizierten Weise mit den abhängigen Variablen korrelieren.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Sehr geehrte(r) Versuchsteilnehmer(in),

vielen Dank, daß Sie sich bereit erklärt haben an diesem Versuch teilzunehmen.

Sie erhalten im Folgenden einen sehr anspruchsvollen, illustrierten Einführungstext über kompetitive Netze und Kohonennetze (= bestimmte Arten von neuronalen Netzen). Dort werden prüfungsrelevante Inhalte für das Psychologie-Hauptstudium behandelt. Ergänzt wird der Text durch eine interaktive Animation, in der Sie selbst Parameter modifizieren und die sich ergebenden Veränderungen beobachten können.

Lesen sich diesen Lehrtext bitte aufmerksam durch und probieren Sie vor allem die interaktive Animation aus. Dabei dürfen Sie sich leider keine Notizen machen.

Die Inhalte des Einführungstextes sind dabei auf mehreren "Folien" verteilt. Bitte beachten Sie, daß Sie jede Seite (einschließlich der interaktiven Animation) beliebig lange betrachten können. Wenn Sie zur nächsten Seite wechseln wollen, drücken Sie bitte die "Weiter"-Taste (rechts unten). Ein Zurückspringen zu einer vorangegangenen Seite oder Animation ist leider nicht möglich.

Im Anschluss an den Lehrtext möchte ich Sie bitten, einige Fragen über neuronale Netze zu beantworten. Auch hier ist keinerlei Zeitbegrenzung für Sie vorgesehen.

Um die teilweise sehr anspruchsvollen Fragen richtig zu lösen, sollten Sie insbesondere die interaktive Animation ganz genau betrachten. Nutzen Sie hier vor allem die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden und experimentieren Sie ausführlich mit der Animation!

Bei Rückfragen stehe ich Ihnen als Versuchsleiter gerne jederzeit zur Verfügung.

Viel Spaß und Erfolg!

(Sie können die Untersuchung nun durch Betätigen der "Weiter"-Taste rechts unten starten.)

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Einleitung

Neuronale Netze bestehen aus mehreren Neuronen. Man unterscheidet 3 verschiedene Arten von Neuronen (auch Unit, Einheit oder Knoten genannt):

- **Input-Units:** Units, die von der Außenwelt Signale (Reize, Muster) empfangen können.
- **Hidden-Units:** Units, die sich zwischen Input- und Output-Units befinden und eine interne Repräsentation der Außenwelt beinhalten.
- **Output-Units:** Units, die Signale an die Außenwelt weitergeben.

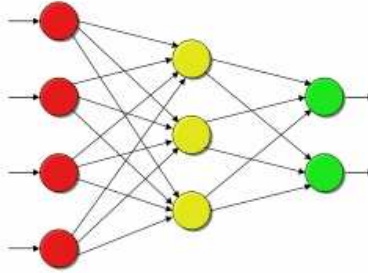


Abb.: Schematische Darstellung eines neuronalen Netzes

Units sind miteinander durch Kanten verbunden. Die Stärke der Verbindung zwischen zwei Neuronen wird durch ein Gewicht ausgedrückt. Je größer der Absolutbetrag des Gewichtes ist, desto größer ist der Einfluss einer Unit auf eine andere Unit.

Das **Wissen** eines neuronalen Netzes ist in seinen Gewichten gespeichert. **Lernen** kann man bei neuronalen Netzen als Gewichtsveränderungen zwischen den Einheiten definieren. Gelemt wird in der sogenannten "Trainingsphase". Lernregeln geben dabei die Art und Weise an, wie das neuronale Netz diese Veränderungen vornimmt. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen:

- **supervised learning:** Der korrekte Output wird vorgegeben und daran werden die Gewichte optimiert.
- **unsupervised learning:** Es wird kein Output vorgegeben.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kompetitive Netze

Kompetitive Netze sind neuronale Netze mit einer Input- und einer Outputschicht. Sie besitzen demnach keine Hidden-Units. Die Trainingsphase kompetitiver Netze erfolgt in 3 Schritten:

1. **Erregung:** Zunächst wird für alle Output-Units der Netto-Input durch eine Formel bestimmt.
2. **Wettbewerb** (Competition): Anschließend werden die Netto-Inputs sämtlicher Output-Units miteinander verglichen. Diejenige Unit mit dem höchsten Netto-Input ist der Gewinner.
3. **Adjustierung der Gewichte:** Im letzten Schritt werden die Gewichte verändert und zwar bei allen Verbindungen, die zur Gewinner-Unit führen. Alle anderen Gewichte werden nicht verändert ("The Winner takes it all."). Die Gewichte zum Gewinner werden so modifiziert, dass sie dem Input ähnlicher gemacht werden. Auch dies lässt sich wiederum als Formel darstellen.

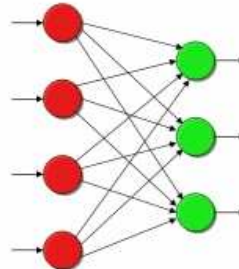


Abb.: Schematische Darstellung eines kompetitiven Netzes mit 4 Input- (rot) und 3 Output-Units (grün).

Im Gegensatz zu anderen Netztypen sind kompetitive Netze unsupervised, d. h. sie kommen ohne Vorgabe eines korrekten, externen Output-Reizes aus.

Bei kompetitiven Netzen kann es vorkommen, dass die Gewichte zu einer einzigen oder einigen wenigen Outputunits so groß werden, dass diese den Wettbewerb unabhängig vom Muster des Inputs gewinnen. In diesem Fall leistet ein kompetitives Netz keine "sinnvolle" Kategorienbildung mehr. Um dies zu verhindern kann man z. B. alle einzelnen Gewichtsvektoren (Gewichtsvektor = alle Gewichte einer bestimmten Outputunit) auf einen konstanten Wert festlegen.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonenetze / Selforganizing Maps

Was sind Kohonenetze?

Kohonenetze stellen eine Erweiterung kompetitiver Netze dar. Auch bei ihnen wird der korrekte Output nicht festgelegt und dem neuronalen Netz zurückgemeldet, sondern sie agieren ohne einen externen Lehrer (=unsupervised learning).

Kohonenetze können in selbstorganisierender Weise lernen, Karten (maps) von einem Inputraum zu erstellen (man kann auch sagen: Kohonenetze clustern den Inputraum).



Abb.: Teuvo Kohonen (1934 -)

Der Begriff "Kohonen" stammt von **Teuvo Kohonen** (1982), der ein sehr bekanntes Kohonenetz konzipierte. Allerdings wurde das Erstellen von solchen Karten durch Kompetition bereits durch **Christoph von der Malsburg** im Jahr 1973 vorgenommen.



Abb.: Christoph von der Malsburg

Ein wesentlicher Vorteil von Kohonenetzen im Vergleich zu konventionellen neuronalen Netzen liegt in der biologischen Plausibilität, da Menschen vermutlich Probleme in der Regel auch ohne externen Lehrer lösen.

Beispiele für selbstorganisiertes Lernen im menschlichen Gehirn finden sich beim Sehsinn im Okzipitallappen (siehe hierzu auch die Arbeiten von **David Hubel und Torsten Wiesel** (1962)) oder aber im somatosensorischen und motorischen Kortex.

Bei diesen sind die topographischen Anordnungen nicht vollständig genetisch festgelegt, sondern sensorische Erfahrung ist eine notwendige Bedingung, um solche Karten auszubilden.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonenetze / Selforganizing Maps

Aufbau

Kohonenetze bestehen aus zwei Schichten von Neuronen, einer Input- und einer Output-Schicht (es existieren wie bei den kompetitiven Netzen keine Hidden-Units).

Von jedem Input-Neuron führen Verbindungen zu sämtlichen Outputneuronen. Häufig ist bei Kohonenetzen die Outputschicht 2-dimensional aufgebaut (s. Abb.). Dabei spielt die Distanz zwischen den einzelnen Output-Neuronen eine wichtige Rolle.

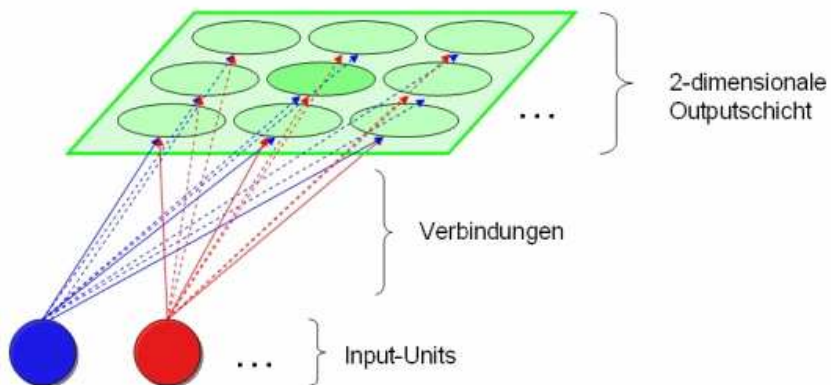


Abb.: Schematische Darstellung eines 2-dimensionalen Kohonenetzes. In blau und rot: 2 Input-Units mit ihren Verbindungen zu sämtlichen Output-Units (in grün), die 2-dimensional angeordnet sind.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetze / Selforganizing Maps

Berechnung

Die Berechnung von Kohonennetzen erfolgt in folgenden Schritten:

1. **Startwerte festlegen:** Die Gewichte werden zufällig generiert. Außerdem legt man die Lernkonstante, den Radius, die Nachbarschaftsfunktion sowie die maximale Anzahl der Durchläufe fest.
2. **Auswahl eines Inputvektors:** Ein Input Vektor wird ausgewählt bzw. zufällig generiert.
3. **Aktivitätsberechnung und Auswahl:** Die Aktivität der Output-Neuronen wird berechnet. Die Unit mit der maximalen Erregung wird ausgewählt (das ist jene, die die geringste Distanz zum Inputmuster aufweist, sprich dem Input am ähnlichsten ist).
4. **Gewichtsmodifikation:** Die Gewichte werden so verändert, dass sie dem Input-Vektor ein wenig ähnlicher werden. Ebenso die Gewichte aus der Nachbarschaft dieser Unit. Zudem wird der Lernparameter (alpha) reduziert und gegebenenfalls der Radius für die Nachbarschaft eingegrenzt. Danach geht es wieder mit dem ersten Schritt von vorne los.
5. **Abbruch:** Der Abbruch erfolgt, wenn die maximale Anzahl der Durchläufe erreicht ist. Durch die ständigen Gewichtsveränderungen werden einzelne Gewichte bestimmten Inputvektoren immer ähnlicher (wie bei den kompetitiven Netzen). Die Lernkonstante wird kontinuierlich reduziert, wodurch die Korrekturen der Gewichte zu Beginn größer ausfallen als am Ende des Trainings. Somit "pendelt" sich das Netz in einen stabilen Zustand ein. Zusätzlich kann noch der Radius der Nachbarschaft reduziert werden, um den Einfluss auf benachbarte Units kontinuierlich zu reduzieren.

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetze / Selforganizing Maps

wichtige Parameter

Damit das Netz einen stabilen Zustand erreichen kann (also etwas lernt), sind folgende Aspekte wichtig:

- » Zähler: Anzahl der Durchläufe
- » Radiusgröße: Größe der ausgewählten Nachbarschaft
- » Lernparameter
- » Matrixgröße: Anzahl der Outputneuronen
- » Einfluss (der Gewinner-Unit) auf die benachbarten Neuronen
- » Form der Nachbarschaftsfunktion
- » Art und Weise, wie die oben genannten Parameter im Lerndurchgang verändert werden
- » Dimension (2-dimensional, 3-dimensional, ..., n-dimensional) des Kohonennetzes

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

In der interaktiven Animation auf der nächsten Seite können Sie selbst experimentieren wie ein Kohonennetz funktioniert.

Bitte schauen Sie sich diese interaktive Animation genau an und experimentieren Sie ausgiebig mit allen Parametern, die Sie verändern können.

Versuchen Sie dabei insbesondere herauszufinden, welche Parameter welchen Einfluss auf die Animation besitzen! Sie können die meisten Parameter auch verändern, während das Kohonennetz generiert wird.

Zur Erinnerung: Die im Anschluss gestellten, zum Teil sehr anspruchsvollen Fragen beziehen sich vornehmlich auf die Inhalte dieser interaktiven Animation!

Weiter

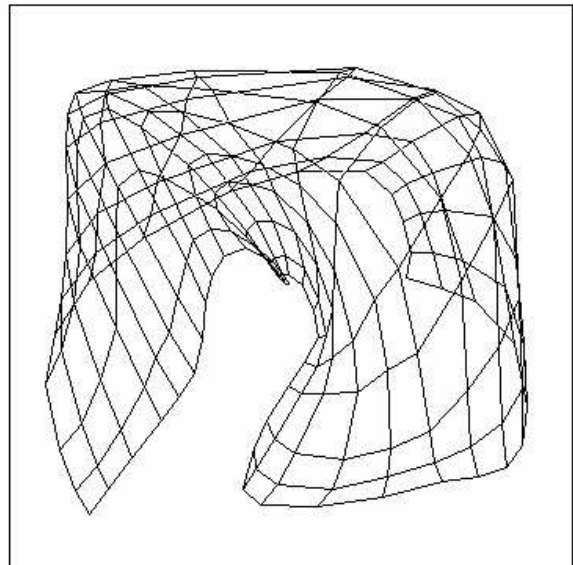
Anhang X: Dynamische, interaktive Visualisierung der zweiten Untersuchungsserie (beispielhaft dargestellt: die zweite Versuchbedingung).



Neuronale Netze

Eine Einführung

<input type="button" value="Kohonennetzeigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Darstellungseigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Abbildungsvorlagen einblenden"/>	
Lernparameter: 1 <input type="text"/>	aktueller Lernparameter: 0
Zähler: 741 <input type="text"/>	aktueller Zähler: 741
Matrixgröße: 14x14 <input type="text"/>	Radiusgröße: 2 <input type="text"/>
Einfluß auf die benachbarten Neuronen: 40 % <input type="text"/>	



Anhang Y: Einblendung der Darstellungseigenschaften der interaktiven Animation.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetzeigenschaften einblenden

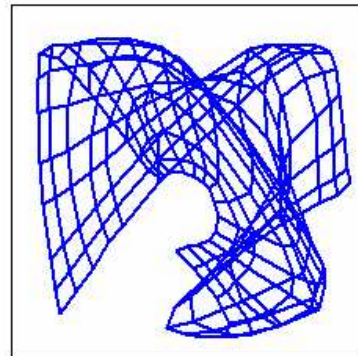
Darstellungseigenschaften einblenden

Abbildungsvorlagen einblenden

Bildgröße: 3400



"Bleistiftstärke": —



Reset

Kohonennetz starten

Weiter

Anhang Z: Einblendung der Abbildungsvorlagen der interaktiven Animation.



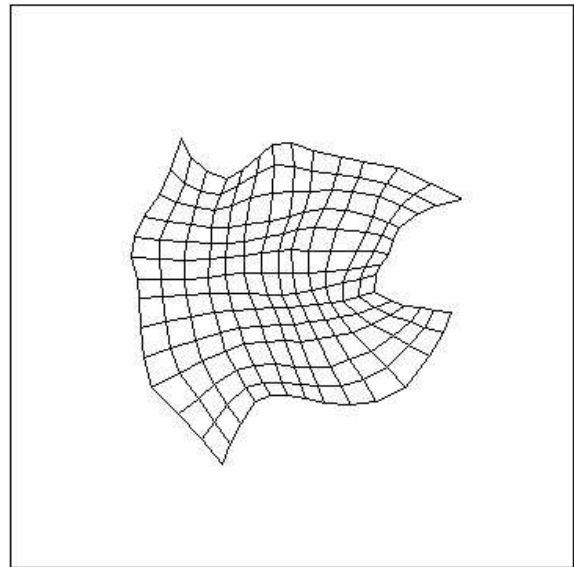
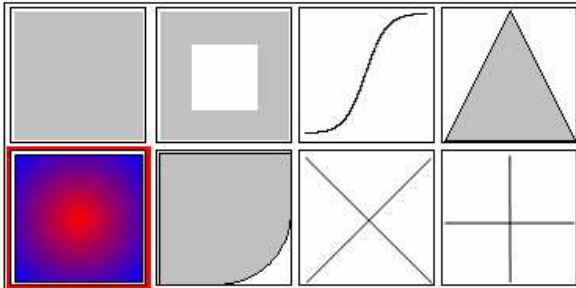
Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetzeigenschaften einblenden

Darstellungseigenschaften einblenden

Abbildungsvorlagen einblenden



Reset

Kohonennetz starten

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetze / Selforganizing Maps

Anwendungsmöglichkeiten

Wozu kann man solche Kohonennetze verwenden?

Unter anderem existieren folgende **Anwendungsmöglichkeiten** :

- » **Approximation von Funktionen** (u. a. bei der keine analytische Lösung existiert)
- » **Inverse Kinematik**, z. B. bei mechanischen Armen von Robotern im 2-dimensionalen Raum
- » Im Rahmen der inversen Kinematik: Kohonennetze können den **kürzesten Weg zwischen 2 Punkten finden** auch wenn sich auf dem direkten Weg Hindernisse befinden (vorausgesetzt, diese Hindernisse verändern ihre Position nicht)
- » **n-dimensionale Figuren** kann man in 2- (oder mehr) dimensionale Figuren **transformieren** ohne die kritischen Informationen dabei zu verlieren (für den Menschen von Nutzen, da dieser sich nur 2- oder 3-dimensionale Objekte vorstellen und visualisieren kann)
- » **Traveling Salesman Problem** mit dem sogenannten elastischen Netzalgorithmus
- » **Spracherkennung** (Phonemfolgen) und Strukturierung von semantischen Netzwerken
- » **Unterschriftenerkennung** (quasi Mustererkennung)

Weiter

Anhang BB: Fragen zum Behalten und Verständnis des fünften Experiments.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Wenn man den Lernparameter auf 3 setzen könnte, dann träfe folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Für die interaktive Animation gilt: Bei Neuberechnung des Kohonennetzes variiert das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) anfänglich stärker und "pendelt" sich dann auf einen stabileren Zustand ein.

- richtig
- falsch

Für die interaktive Animation gilt: Je größer die Radiusgröße, desto weniger Raum nimmt das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) in der Abbildung ein.

- richtig
- falsch

Für die interaktive Animation gilt: Je größer der Zähler ist, desto stärker "entwirrt" sich das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes).

- richtig
- falsch

In welchem Bereich konnten Sie den Einfluss auf die benachbarten Neuronen variieren?

- 0,1% bis 100%
- 0% bis 100%
- 0,1% bis 99,9%
- 0% bis 99,9%

Für die interaktive Animation gilt: Je größer die Matrixgröße, desto weniger Raum nimmt das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) in der Abbildung ein.

- richtig
- falsch

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

In welchem Bereich konnte die Matrixgröße ausgewählt werden?

- 6x6 bis 16x16
- 8x8 bis 18x18
- 8x8 bis 16x16
- 6x6 bis 18x18

Wie viele Kreise befanden sich insgesamt unterhalb des Schiebereglers für die Radiusgröße?

- 64
- 81
- 100
- 121

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler erhöhen sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler reduzieren sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter reduziert sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler erhöht.
- Der aktuelle Lernparameter erhöht sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler reduziert.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

In welchem Wertebereich konnten Sie den Zähler verändern?

- 0 bis 1000
- 1 bis 1000
- 1000 bis 10000
- 0 bis 10000
- 1 bis 10000

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Vergleichen Sie bitte den Einfluss der beiden Parameter "Matrixgröße" und "Radiusgröße" miteinander. Welche Parameterveränderung dürfte (vermutlich eher und in stärkerem Ausmaß) dazu führen, dass das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) weniger Raum in der Abbildung einnimmt?

- Das Verändern des Parameters "Radiusgröße" von 1 auf 4.
- Das Verändern des Parameters "Matrixgröße" von 20 auf 2.

Wie viele Inputvektoren werden dem Kohonennetz bei folgenden Parametern präsentiert (Lernparameter = 1; Zähler = 4; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2)?

4

Angenommen, dass Kohonennetz besitzt folgende Parameter (Lernparameter = 1; Zähler = 1000; Matrixgröße = 15x15; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 60%; Radiusgröße = 3)? Wie groß ist der aktuelle Lernparameter dann (ungefähr) nach 500 Durchläufen?

0,5

Wie groß müsste die Matrixgröße ("Anzahl der Outputneuronen in den Zeilen" X "Anzahl der Outputneuronen in den Spalten") bei einer Radiusgröße von 4 mindestens sein, damit eine "sinnvolle" Berechnung des Kohonennetzes stattfinden kann? "Sinnvoll" bedeutet hier, dass die Radiusgröße für das mittlere Neuron nicht größer ist als das gesamte Netz, sondern maximal genauso groß wie das gesamte Netz (also die Outputschicht).

81 ; 9x9

Vergleichen Sie bitte den Einfluss der beiden Parameter "Radiusgröße" und "Einfluss auf die benachbarten Neuronen" miteinander. Welche Parameterveränderung führt (vermutlich eher) dazu, dass sich das "Gitternetz" (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) stärker und schneller "entfaltet"?

- Das Verändern des Parameters "Radiusgröße" von 1 auf 3.
- Das Verändern des Parameters "Einfluss auf die benachbarten Neuronen" von 0,5% auf 50%.

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 50% auf 200% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 50% auf -50% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".

Wenn man den Lernparameter auf 0 setzen würde, dann trüfe folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) verändert sich nicht mehr und verharrt im aktuellen Zustand. Es wird nichts mehr gelernt.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Angenommen Sie berechnen ein neues Kohonennetz und löschen das alte, bestehende Kohonennetz. Das Kohonennetz soll mit folgenden Parametern berechnet werden: Lernparameter = 0,5; Zähler = 1; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2. Was wird dann vermutlich in der Abbildung nach einem Durchlauf zu sehen sein?

- Pentagramm
- Quadrat
- Strich
- Gar nichts

In der Animation gilt: Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) "entwirrt" sich schneller, je kleiner der Lernparameter ist.

- richtig
- falsch

Weiter

Anhang DD: Fragen zur subjektiven Bewertung der Animation.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Bitte geben Sie an dieser Stelle noch einige Einschätzungen über die interaktive Animation ab.

Sie können dabei eine Bewertung auf einer siebenstufigen Skala abgeben. "+++" stellt dabei eine sehr positive Bewertung bzw. starke Zustimmung zu der Frage dar, während "---" bedeutet, daß Sie eine sehr starke Ablehnung zum Ausdruck bringen möchten bzw. eine sehr negative Bewertung vornehmen.

	---	--	-	0	+	++	+++
Wie beurteilen Sie die im Programm enthaltene Animation?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nutzte Ihnen die Animation beim Verstehen der jeweiligen Inhalte?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
War die Animation intuitiv zu bedienen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Waren die in der interaktiven Animation dargestellten Inhalte schnell zu begreifen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
War Ihrer Meinung nach die Animation didaktisch gut gestaltet?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

(Sie können erst dann den "Weiter"-Button betätigen, wenn Sie zu jeder der fünf Fragen eine Einschätzung abgegeben haben.)

Weiter

Anhang EE: Letzte Seite des Programms mit Fragen zur Person.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Abschließend möchte ich Sie bitten, noch einige Angaben zu Ihrer Person abzugeben.
Bitte füllen Sie hierzu nach Möglichkeit alle Felder aus:

Geschlecht: weiblich
 männlich

Alter:

Studienfach:

Semesterzahl:

Haben Sie im Nov. 2005 oder Feb. 2006
bereits an einem anderen Versuch zu
neuronalen Netzen teilgenommen? ja, habe ich.
 nein, habe ich nicht.

Vorkenntnisse über neuronale Netze:

Bitte geben Sie hier Ihre Email-Adr. an (freiwillige Angabe):

(Zur Zuordnung für evtl. weitere Versuche. Die Daten werden nicht an Dritte weitergegeben!)

Anmerkungen, Kommentare, Verbesserungsvorschläge (insbesondere zu der Animation) in Stichpunkten:

Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme. Wenn Sie mehr über neuronale Netze erfahren möchten, dann besuchen Sie doch die von mir mitgestaltete Webseite www.neuronaalesnetz.de.

(Bitte klicken Sie nun noch ein letztes Mal auf "Weiter" und wenden Sie sich dann an den Versuchsleiter.)

Weiter

Anhang FF: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat.

Für die erste Verständnisfrage mit offenem Antwortformat war die Zahl 4 die richtige Antwort, während die Lösung „ungefähr 0,5“ bei der zweiten Frage als korrekt bewertet wurde. Hier wurden auch diejenigen Antworten als richtig anerkannt, die den genauen Wert „0,5“ oder „0.5“ nannten. Auch Werte wie „0.499“ oder „0.501“ wären als korrekt bewertet worden, jedoch wurde diese Lösung von keinem Probanden eingetragen.

Ähnlich wurde für die dritte Verständnisfrage verfahren. Hier war die richtige Lösung „9x9“ (als Matrixangabe) oder „81“ (als Zahl).

Anhang GG: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des fünften Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Auch für das fünfte Experiment ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen (s. Anhang J) sichergestellt.

Multivariate Normalverteilung

Für die Behaltensleistung ergeben sich für alle vier Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte liegen bei 0.689 bis 0.991, die *p*-Werte zwischen .279 und .729.

Für die Verständnisseleistungen überschreiten die *p*-Werte nur in einem der vier Fälle das 5%-Signifikanzniveau. Sie betragen zwischen .037 und .355 (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte von 0.928 bis 1.410).

Wegen der auftretenden Alphafehlerkumulierung wurden für die acht *p*-Werte eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (z.B. Bortz, 2004) vorgenommen (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Berücksichtigung der Alphafehlerkumulierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm mit $\alpha = .05$. Keiner der *p*-Werte erreicht das fünfprozentige Signifikanzniveau, bereits nach dem ersten *p*-Wert wird der vorzeitige Abbruch eingeleitet.

n	p_n	p-Wert für Bedingung:	m-(n-1)	$\alpha'_n = \alpha/(m-(n-1))$	$p_n < \alpha'_n$
1	.037	Oben-Unten; Männer; Behalten	8	.006	n. s.
2	.170	Rechts-Links; Männer; Verständnis	7	Abbruch!	

Anmerkungen: n = Nummer der in eine Rangreihe gebrachten Tests; p_n = empirisch ermittelte Wahrscheinlichkeit des Tests mit der Nummer n; m = Anzahl der simultanen Tests, die in der Korrektur berücksichtigt werden; α'_n = adjustiertes α -Niveau der sequentiellen Bonferoni-Korrektur nach Holm; α = berücksichtigtes α -Niveau von 5%; Bereits der erste *p*-Wert unterschreitet das adjustierte Signifikanzniveau nicht, sodass ein sofortiger Abbruch erfolgt. Die verbleibenden Werte der Tabelle wurden folglich nicht mehr abgetragen.

Nach Adjustierung des Alphafehlers kann in keinem der insgesamt acht Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb vorläufig beibehalten.

Auf multivariater Ebene existiert zur Prüfung der Normalverteilung derzeit noch kein ausgereifter Test (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Da die MANOVA weitgehend robust auf eine fehlende multivariate Normalverteilung reagiert (s. Anhang J), wird auf eine graphische Inspektion auf bivariater Ebene verzichtet. Selbst bei Vorliegen einer Annahmeverletzung

würde die MANOVA weitgehend robust auf die fehlende multivariate Normalverteilung reagieren, sofern große Stichproben vorlägen und die verglichenen Stichproben gleichgroß wären (Ito, 1969; Ito & Schull, 1964; Stevens, 1979). Aufgrund der Zellenverteilung von je 27 Probanden für die Bedingungen eins, zwei und vier sowie 26 Versuchsteilnehmern für die Bedingung drei können die Stichproben in der Untersuchung als nahezu gleichgroß bezeichnet werden.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Zur Prüfung der Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen kann u.a. der *Levene*-Test als auch der *Box*-Test (Stevens, 2001) herangezogen werden. Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau deutlich verfehlen ($p = .996$ für den *Box*-Test; für den *Levene*-Test: $p = .508$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .513$ für die abhängige Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box*-Test zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).



Neuronale Netze

Eine Einführung

Wenn man den Lernparameter auf 3 setzen könnte, dann träge folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Für die interaktive Animation gilt: Bei Neuberechnung des Kohonennetzes variiert das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) anfänglich stärker und "pendelt" sich dann auf einen stabileren Zustand ein.

- richtig
- falsch

In welchem Wertebereich ließ sich die Radiusgröße variieren?

- 1 bis 3
- 0 bis 2

Für die interaktive Animation gilt: Je größer der gewählte Radius in der interaktiven Animation gewählt wird, desto schneller "entfaltet" sich das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes).

- richtig
- falsch

In welchem Bereich konnten Sie den Einfluss auf die benachbarten Neuronen variieren?

- 0,1% bis 100%
- 0% bis 100%
- 0,1% bis 99,9%
- 0% bis 99,9%

Für die interaktive Animation gilt: Je größer die Matrixgröße, desto weniger Raum nimmt das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) in der Abbildung ein.

- richtig
- falsch

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

In welchem Bereich konnte die Matrixgröße ausgewählt werden?

- 6x6 bis 16x16
- 8x8 bis 18x18
- 8x8 bis 16x16
- 6x6 bis 18x18

In welchem Wertebereich konnten Sie den Lernparameter verändern?

- 0,1 bis 0,9
- 0,1 bis 1
- 0 bis 0,9
- 0 bis 1

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler erhöhen sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler reduzieren sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter reduziert sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler erhöht.
- Der aktuelle Lernparameter erhöht sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler reduziert.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

In welchem Wertebereich konnten Sie den Zähler verändern?

- 0 bis 1000
- 1 bis 1000
- 1000 bis 10000
- 0 bis 10000
- 1 bis 10000

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Vergleichen Sie bitte den Einfluss der beiden Parameter "Matrixgröße" und "Radiusgröße" miteinander. Welche Parameterveränderung dürfte (vermutlich eher und in stärkerem Ausmaß) dazu führen, dass das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) weniger Raum in der Abbildung einnimmt?

- Das Verändern des Parameters "Radiusgröße" von 1 auf 4.
- Das Verändern des Parameters "Matrixgröße" von 20 auf 2.

Angenommen, dass Kohonennetz besitzt folgende Parameter (Lernparameter = 1; Zähler = 4000; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2) Wie groß ist der aktuelle Lernparameter dann (ungefähr) nach einem Durchlauf?

Angenommen, dass Kohonennetz besitzt folgende Parameter (Lernparameter = 1; Zähler = 1000; Matrixgröße = 15x15; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 60%; Radiusgröße = 3)? Wie groß ist der aktuelle Lernparameter dann (ungefähr) nach 500 Durchläufen?

Wie groß müsste die Matrixgröße ("Anzahl der Outputneuronen in den Zeilen" X "Anzahl der Outputneuronen in den Spalten") bei einer Radiusgröße von 4 mindestens sein, damit eine "sinnvolle" Berechnung des Kohonennetzes stattfinden kann? "Sinnvoll" bedeutet hier, dass die Radiusgröße für das mittlere Neuron nicht größer ist als das gesamte Netz, sondern maximal genauso groß wie das gesamte Netz (also die Outputschicht).

Vergleichen Sie bitte den Einfluss der beiden Parameter "Radiusgröße" und "Einfluss auf die benachbarten Neuronen" miteinander. Welche Parameterveränderung führt (vermutlich eher) dazu, dass sich das "Gitternetz" (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) stärker und schneller "entfaltet"?

- Das Verändern des Parameters "Radiusgröße" von 1 auf 3.
- Das Verändern des Parameters "Einfluss auf die benachbarten Neuronen" von 0,5% auf 50%.

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 50% auf 200% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 5% auf 105% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".
- Keine der 4 Antworten ist korrekt
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.

Wenn man den Lernparameter auf 0 setzen würde, dann träre folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) verändert sich nicht mehr und verharrt im aktuellen Zustand. Es wird nichts mehr gelernt.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Angenommen Sie berechnen ein neues Kohonennetz und löschen das alte, bestehende Kohonennetz. Das Kohonennetz soll mit folgenden Parametern berechnet werden: Lernparameter = 0,5; Zähler = 1; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2. Was wird dann vermutlich in der Abbildung nach einem Durchlauf zu sehen sein?

- Pentagramm
- Quadrat
- Strich
- Gar nichts

In der Animation gilt: Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) "entwirrt" sich schneller, je kleiner der Lernparameter ist.

- richtig
- falsch

Weiter

Anhang II: Zusatztexte für die Lernenden, die jeweils auf der ersten Faktorstufe der drei unabhängigen Variablen des siebten Experiments dargeboten wurden.

Erste unabhängige Variable Zeit-Feedback: Der eingeblendeter Text für den Lernenden (wenn die Betrachtungszeit unter 5 Minuten lag und die Weiter-Taste betätigt wurde):

Sehr geehrte(r) Versuchsteilnehmer(in), ich möchte Sie darauf hinweisen, dass Sie sich die interaktive Animation weniger als 5 Minuten angesehen haben. Unsere Analysen mit dem Lernprogramm haben ergeben, dass Lerner(innen) die besten Leistungen zeigen, wenn Sie sich die Animation mindestens 5 Minuten lang ansehen. Sie können an dieser Stelle selbst entscheiden: Wenn Sie auf 'Ja' drücken, dann wird die dynamische Visualisierung beendet. Drücken Sie auf 'Nein', so erhalten Sie die Gelegenheit, die Animation weiter auszuprobieren. Wollen Sie die interaktive Animation wirklich beenden und die Untersuchung fortführen?

Zweite unabhängige Variable Reset-Feedback: Der eingeblendeter Text für den Lernenden (wenn der Reset-Button weniger als 30 Mal betätigt wurde und der Lernende anschließend die Weiter-Taste drückte):

Sehr geehrte(r) Versuchsteilnehmer(in), ich möchte Sie darauf hinweisen, dass der Reset-Button weniger als 30 Mal von Ihnen betätigt wurde. Unsere Analysen mit dem Lernprogramm haben ergeben, dass Lerner(innen) die besten Leistungen zeigen, wenn der Reset-Button zwischen 30 und 45 Mal gedrückt wird. Sie können an dieser Stelle selbst entscheiden: Wenn Sie auf 'Ja' drücken, dann wird die dynamische Visualisierung beendet. Drücken Sie auf 'Nein', so erhalten Sie die Gelegenheit, die Animation weiter auszuprobieren und ggf. den Reset-Button weitere Male einzusetzen.

Wollen Sie die interaktive Animation wirklich beenden und die Untersuchung fortführen?

Zweite unabhängige Variable Reset-Feedback: Der eingeblendete Text für den Lernenden (erschien beim 45ten Anklicken des Reset-Buttons):

Sehr geehrte(r) Versuchsteilnehmer(in), ich möchte Sie darauf hinweisen, dass der Reset-Button bereits 45 Mal von Ihnen betätigt wurde. Unsere Analysen mit dem Lernprogramm haben ergeben, dass Lerner(innen) die besten Leistungen zeigen, wenn der Reset-Button zwischen 30 und 45 Mal gedrückt wird. Sie haben nachfolgend die Möglichkeit, den Reset-Button trotzdem weitere Male zu betätigen. Wenn Sie dies nicht mehr wünschen, so können

Sie im Anschluss auf den Weiter-Button klicken, um die interaktive Animation zu beenden und die Untersuchung fortzuführen.

Dritte unabhängige Variable Reset-Hinweis: Der Text wurde unmittelbar vor der Darbietung der dynamischen, interaktiven Visualisierung präsentiert:

Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!



Neuronale Netze

Eine Einführung

Kohonennetze / Selforganizing Maps

wichtige Parameter

Damit das Netz einen stabilen Zustand erreichen kann (also etwas lernt), sind folgende Aspekte wichtig:

- » **Zähler:** Der Zähler gibt die Anzahl der Durchläufe an. Wird der Zähler zum Beispiel auf 1000 eingestellt, so generiert der PC nacheinander zufällig 1000 Input-Vektoren (nach jedem Durchlauf wird das Kohonennetz neu berechnet und dann wird der nächste Input-Vektor erstellt, die Berechnung erfolgt von neuem usw.).
- » **Radiusgröße:** Die Radiusgröße stellt die Größe der ausgewählten Nachbarschaft dar. Ist die Radiusgröße klein (z. B. 1), so werden neben dem Gewicht zur Output-Unit, die dem Input am ähnlichsten war, nur die Gewichte der unmittelbar benachbarten Output-Units verändert. Mit steigendem Radius erhöht sich die Anzahl der Gewichte, die verändert werden. Man könnte statt von Radiusgröße auch von Nachbarschaftsgröße sprechen.
- » **Lernparameter:** Der Lernparameter beschreibt, wie stark die Gewichte zwischen der Input-Unit und den betroffenen Output-Units verändert werden. Ist der Lernparameter groß, so werden die Gewichte sehr stark verändert. Ist der Lernparameter sehr klein, so fällt die Gewichtsveränderung nur sehr gering aus.
- » **Matrixgröße:** Die Matrixgröße ist nichts anderes als die Anzahl der Outputneuronen. Je größer die Matrixgröße, desto größer ist das Kohonennetz.
- » **Einfluss (der Gewinner-Unit) auf die benachbarten Neuronen:** Der Einfluss auf die benachbarten Neuronen bezieht sich wie der Lernparameter auf die Stärke der Gewichtsveränderung. Allerdings geht es hier darum, wie stark die Gewichte der benachbarten Output-Units verändert werden soll (s. Radiusgröße). Wenn der Einfluss groß ist, werden auch die Gewichte in der Nachbarschaft stark verändert. Ist der Einfluss hingegen klein, so fallen auch die Gewichtsveränderungen in der Nachbarschaft um die "Gewinner"-Unit relativ klein aus.

Weiter

Anhang KK: Textseite, die unmittelbar vor der interaktiven Animation des siebten Experiments dargeboten wurde. Der letzte Satz wurde nur den Probanden präsentiert, die auf der ersten Faktorstufe der dritten unabhängigen Variablen „Reset-Hinweis“ untersucht wurden.



Neuronale Netze

Eine Einführung

In der interaktiven Animation auf der nächsten Seite können Sie selbst experimentieren wie ein Kohonennetz funktioniert. Die Visualisierung zeigt, wie die Output-Units in Abhängigkeit ihrer Gewichte im Raum angeordnet werden. Die "Knoten" des "Flickenteppichs" stellen dabei die Positionen der jeweiligen Output-Units dar.

Bitte schauen Sie sich diese interaktive Animation genau an und experimentieren Sie ausgiebig mit allen Parametern, die Sie verändern können.

Versuchen Sie dabei insbesondere herauszufinden, welche Parameter welchen Einfluss auf die Animation besitzen! Sie können die meisten Parameter auch verändern, während das Kohonennetz generiert wird.

Zur Erinnerung: Die im Anschluss gestellten, zum Teil sehr anspruchsvollen Fragen beziehen sich vornehmlich auf die Inhalte dieser interaktiven Animation!

Verwenden Sie vor allem den Reset-Button, um systematisch zu überprüfen, was die einzelnen Parameter bewirken!

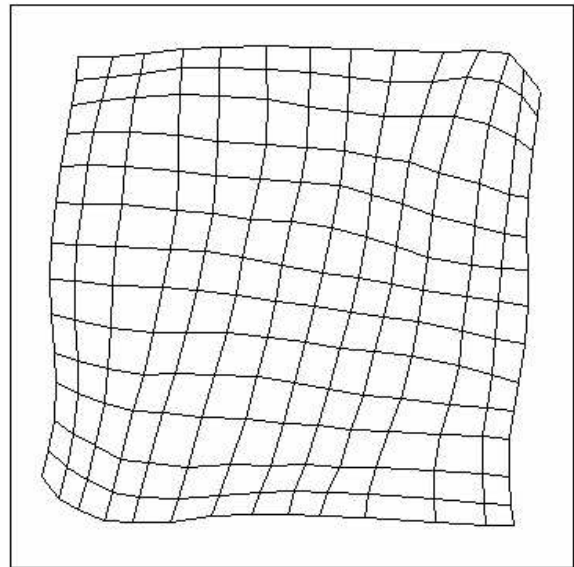
Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

<input type="button" value="Kohonennetzeigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Darstellungseigenschaften einblenden"/>	
<input type="button" value="Abbildungsvorlagen einblenden"/>	
Lernparameter: 1 <input type="text"/>	aktueller Lernparameter: 0
Zähler: 5000 <input type="text"/>	aktueller Zähler: 5000
Matrixgröße: 14x14 <input type="text"/>	Radiusgröße: 2 <input type="text"/>
Einfluß auf die benachbarten Neuronen: 40 % <input type="text"/>	



Anhang MM: Fragen zum Behalten und Verständnis des siebten Experiments.



Neuronale Netze

Eine Einführung

Wenn man den Lernparameter auf 3 setzen könnte, dann träfe folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Für die interaktive Animation gilt: Bei Neuberechnung des Kohonennetzes variiert das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) anfänglich stärker und "pendelt" sich dann auf einen stabileren Zustand ein.

- richtig
- falsch

Je größer der prozentuale Einfluss auf die benachbarten Neuronen in der interaktiven Animation gewählt wird, desto schneller „entfaltet“ sich das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes).

- richtig
- falsch

Grundsätzlich gilt: Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) „entwirrt“ sich schneller, je größer die Matrixgröße ausgewählt wird.

- falsch
- richtig

In welchem Bereich konnten Sie den Einfluss auf die benachbarten Neuronen variieren?

- 0,1% bis 100%
- 0% bis 100%
- 0,1% bis 99,9%
- 0% bis 99,9%

Für die interaktive Animation gilt: Je größer die Matrixgröße, desto weniger Raum nimmt das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) in der Abbildung ein.

- richtig
- falsch

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

In welchem Bereich konnte die Matrixgröße ausgewählt werden?

- 6x6 bis 16x16
- 8x8 bis 18x18
- 8x8 bis 16x16
- 6x6 bis 18x18

In welchem Wertebereich konnten Sie den Lernparameter verändern?

- 0,1 bis 0,9
- 0,1 bis 1
- 0 bis 0,9
- 0 bis 1

Welche Aussage trifft für die interaktive Animation zu?

- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler erhöhen sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter und der aktuelle Zähler reduzieren sich im Laufe eines Durchganges.
- Der aktuelle Lernparameter reduziert sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler erhöht.
- Der aktuelle Lernparameter erhöht sich im Laufe eines Durchganges, während sich der aktuelle Zähler reduziert.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

In welchem Wertebereich konnten Sie den Zähler verändern?

- 0 bis 1000
- 1 bis 1000
- 1000 bis 10000
- 0 bis 10000
- 1 bis 10000

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Vergleichen Sie bitte den Einfluss der beiden Parameter "Matrixgröße" und "Radiusgröße" miteinander. Welche Parameterveränderung dürfte (vermutlich eher und in stärkerem Ausmaß) dazu führen, dass das Kohonennetz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) weniger Raum in der Abbildung einnimmt?

- Das Verändern des Parameters "Radiusgröße" von 1 auf 4.
- Das Verändern des Parameters "Matrixgröße" von 20 auf 2.

Angenommen, das Kohonennetz besitzt folgende Parameter (Lernparameter = 0,6; Zähler = 4000; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2) Wie groß ist der aktuelle Lernparameter dann (ungefähr) nach 4000 Durchläufen?

Angenommen, das Kohonennetz besitzt folgende Parameter (Lernparameter = 1; Zähler = 1000; Matrixgröße = 15x15; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 60%; Radiusgröße = 3)? Wie groß ist der aktuelle Lernparameter dann (ungefähr) nach 500 Durchläufen?

Wie groß müsste die Matrixgröße ("Anzahl der Outputneuronen in den Zeilen" X "Anzahl der Outputneuronen in den Spalten") bei einer Radiusgröße von 4 mindestens sein, damit eine "sinnvolle" Berechnung des Kohonennetzes stattfinden kann? "Sinnvoll" bedeutet hier, dass die Radiusgröße für das mittlere Neuron nicht größer ist als das gesamte Netz, sondern maximal genauso groß wie das gesamte Netz (also die Outputschicht).

Bei einer Matrixgröße von 50x50 würde sich das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) schneller „entwirren“ als bei einer Matrixgröße von 25x25.

- richtig
- falsch

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 50% auf 200% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Keine der 4 Antworten ist korrekt

Weiter



Neuronale Netze

Eine Einführung

Was würde passieren, wenn man den Einfluss auf die benachbarten Neuronen von 5% auf 105% setzen würde?

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "implodieren", d. h. in sich selbst zusammenfallen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde "explodieren", d. h. nach außen "auseinander brechen".
- Keine der 4 Antworten ist korrekt
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich langsamer "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) würde sich schneller "entfalten" und dann einen stabilen Zustand einnehmen.

Wenn man den Lernparameter auf 0 setzen würde, dann träre folgende Aussage zu:

- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich stärker als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) verändert sich nicht mehr und verharrt im aktuellen Zustand. Es wird nichts mehr gelernt.
- Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) variiert anfänglich schwächer als bei einem Lernparameter von 1 und "pendelt" sich dann auf einen stabilen Zustand ein.

Angenommen Sie berechnen ein neues Kohonennetz und löschen das alte, bestehende Kohonennetz. Das Kohonennetz soll mit folgenden Parametern berechnet werden: Lernparameter = 0,5; Zähler = 1; Matrixgröße = 10x10; Einfluss auf die benachbarten Neuronen = 50%; Radiusgröße = 2. Was wird dann vermutlich in der Abbildung nach einem Durchlauf zu sehen sein?

- Pentagramm
- Quadrat
- Strich
- Gar nichts

In der Animation gilt: Das Netz (genauer gesagt die Output-Schicht des Netzes) "entwirrt" sich schneller, je kleiner der Lernparameter ist.

- richtig
- falsch

Weiter

Anhang NN: Auswertungsschema für die drei Verständnisfragen mit offenem Antwortformat des siebten Experiments.

Für die erste Verständnisfrage mit offenem Antwortformat war die Zahl 0 (oder „ungefähr 0“) die richtige Antwort, während die Lösung „ungefähr 0,5“ bei der zweiten Frage als korrekt bewertet wurde. Hier wurden auch diejenigen Antworten als richtig anerkannt, die den genauen Wert „0,5“ oder „0.5“ nannten. Auch Werte wie „0.499“ oder „0.501“ wären als korrekt bewertet worden, jedoch wurde diese Lösung von keinem Probanden eingetragen.

Ähnlich wurde für die dritte Verständnisfrage verfahren. Hier war die richtige Lösung „9x9“ (als Matrixangabe) oder „81“ (als Zahl).

Anhang OO: Prüfung der inferenzstatistischen Voraussetzungen für die MANOVA des siebten Experiments.

Unabhängigkeit der Beobachtungen

Auch für das siebte Experiment ist die Unabhängigkeit der Beobachtungen (s. Anhang J) sichergestellt.

Multivariate Normalverteilung

Für die Behaltensleistung ergeben sich für alle acht Bedingungen insignifikante Befunde. Die *Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte liegen bei 0.572 bis 0.817, die *p*-Werte zwischen .518 und .899.

Auch für die Verständnisseleistungen überschreiten die *p*-Werte in keinem der acht Fälle das 5%-Signifikanzniveau. Sie betragen zwischen .141 und .810 (*Kolmogorov-Smirnov* Z-Werte von 0.638 bis 1.151).

Demnach kann in keinem der insgesamt sechzehn Fälle gezeigt werden, dass die empirisch ermittelten Daten statistisch signifikant von den entsprechenden univariaten Normalverteilungen abweichen. Somit kann die Normalverteilungsannahme auf univariater Ebene nicht verworfen werden und wird deshalb beibehalten¹⁴.

Auf multivariater Ebene existiert zur Prüfung der Normalverteilung derzeit noch kein ausgereifter Test (Bortz, 2004; Stevens, 2001). Da die MANOVA weitgehend robust auf eine fehlende multivariate Normalverteilung reagiert (s. Anhang J), wird auf eine graphische Inspektion auf bivariater Ebene verzichtet. Selbst bei Vorliegen einer Annahmeverletzung würde die MANOVA weitgehend robust auf die fehlende multivariate Normalverteilung reagieren, sofern große Stichproben vorlägen und die verglichenen Stichproben gleichgroß wären (Ito, 1969; Ito & Schull, 1964; Stevens, 1979). Aufgrund der Zellenverteilung von je 13 Personen in den Bedingungen eins, drei, sieben und acht, je 14 für die Bedingungen zwei, vier und sechs sowie 12 Probanden in der fünften Versuchsbedingung können die Stichproben in der Untersuchung als nahezu gleichgroß bezeichnet werden.

Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen

Zur Prüfung der Voraussetzung der Homogenität der Varianz-Kovarianz-Matrizen kann u.a. der *Levene*-Test als auch der *Box*-Test (Stevens, 2001) herangezogen werden. Weil beide Tests das 5%-Signifikanzniveau deutlich verfehlen ($p = .870$ für den *Box*-Test; für den

¹⁴ Auch hier könnte zur weiteren Untermauerung dieser Behauptung zusätzlich noch eine Alphafehleradjustierung mittels sequentieller Bonferoni-Korrektur nach Holm (s. z. B. Bortz, 2004) vorgenommen werden. Die Begründung, warum auf ein derartiges Verfahren verzichtet wurde, ist der Fußnote 11 auf Seite 2 zu entnehmen.

Levene-Test: $p = .404$ für die abhängige Variable Behalten und $p = .606$ für die abhängige Variable Verständnis) wird die Annahme, dass die Varianz-Kovarianz-Matrizen homogen seien, beibehalten. Da der *Box-Test* zudem sehr sensitiv auf Annahmeverletzungen der Normalverteilung reagiert (Stevens, 2001), wird durch das insignifikante Ergebnis ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Annahme einer multivariaten Normalverteilung erbracht (siehe oben).

Danksagung

Die vorliegende Dissertation wäre ohne Unterstützung zahlreicher Personen nicht zustande gekommen.

An erster Stelle sei meinen Betreuern – Herrn Professor Dr. Karl Friedrich Wender und Herrn PD Dr. Werner Wippich – ganz herzlichst gedankt für die Übernahme und Betreuung meiner thematischen Fragestellung. Auch meinen weiteren Abteilungskollegen danke ich für das sehr angenehme Arbeitsklima vor und während meiner Promotion.

Danken möchte ich den zahlreichen Versuchsteilnehmern, die an der Universität Trier und über das Internet an den Untersuchungen teilgenommen haben. Ein großes Dankeschön ist meiner Empra-Gruppe (Katharina Berens, Ricarda Bergmann, Elena Dietz, Ivan Evdokimov, Patricia Feith, Manuela Hesser, Vera Lothar, Sandra Schäfer, Anne Schirmer und Thomas Schörner) auszusprechen, die für mich die Datenerhebung kompetent und äußerst gewissenhaft in einzelnen Untersuchungen vorgenommen hat.

Neben meinen Freunden, Bekannten und Verwandten, bei denen ich mich für die Unterstützung während meiner Dissertation bedanken möchte, gilt insbesondere all jenen Dank, die meine Arbeit mühevoll Korrektur gelesen haben. Namentlich sind hier u.a. und in alphabetischer Reihenfolge Katrin Arens, Fabian Beck, Sabrina Ehses, Thomas Hartmann, Christine Landgraf, Melanie Schlich, Rebekka Schmidt, Wolfgang Steinmann, Sandra Steverding und Aylin Thiel zu nennen.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinem Bruder, die mir stets eine ganz entscheidende Stütze gewesen sind.

Am allermeisten aber möchte ich mich bei meiner Freundin Denise Reimnitz bedanken. Sie hat mir nicht nur aufgrund ihrer unzähligen stilistischen und orthografischen Korrekturvorschläge entscheidend beim Anfertigen der Dissertation geholfen, sondern mich vor allem während der gesamten Zeit meiner Promotion emotional gestützt.

Viele Personen, die mir bei dieser Arbeit ebenfalls geholfen haben, sind ungenannt geblieben. Auch ihnen sei an dieser Stelle Dank gesagt.

Erklärung zur Dissertation

Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Dissertation habe ich bisher an keiner anderen Universität in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt. Sie wurde bisher auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift