

Buchstaben im Arbeitsgedächtnis: Sind Repräsentationen von Schrift visuell?

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

der

Erziehungswissenschaftlichen Fakultät

der Universität Erfurt

Vorgelegt von

Dipl.-Psych. Anne Fürstenberg

Erfurt 2013

Gutachter:

1. Prof. Dr. Ralf Rummer (Universität Erfurt)
2. Prof. Dr. Gerhard Blanken (Universität Erfurt)
3. Prof. Dr. Hubert Zimmer (Universität des Saarlandes)

Datum der Disputation: 28.10.2013

Datum der Promotion: 28.10.2013

urn:nbn:de:gbv:547-201300458

Danksagung

Mein Dank richtet sich an viele Menschen und Institutionen, deren jeweiligen Beiträge zum Gelingen dieser Arbeit ganz verschieden und allesamt wertvoll und unverzichtbar waren.

An erster Stelle danke ich Ralf Rummer für seinen Zuspruch und seine Unterstützung in allen Phasen meines Projekts, für die Freiheit, meine Vorgehensweise selbst zu bestimmen, und für die interessierten, kritischen und ermutigenden Gespräche im richtigen Moment. Judith Schweppe danke ich für zahllose Gespräche zwischendurch, für ihre unermüdliche Bereitschaft mit- und weiterzudenken und sich einzubringen. Gerhard Blanken und Hubert Zimmer danke ich für ihre Bereitschaft, meine schwergewichtige Arbeit zu begutachten.

Ralf Rummer, Judith Schweppe, Sandra Kuhn und Almut Ketzer danke ich für ihre Kommentare zu Teilen dieser Arbeit, und Antje Zindler für anregende Gespräche. Christoph Scheepers von der Uni Glasgow danke ich für den Raum, den er mir freundlich für meine dortige Erhebung zur Verfügung gestellt hat. Lena de Mol danke ich dafür, dass sie mir mehrfach mit ihren Englischkenntnissen geholfen hat. René Schlegelmilch, Anika Radkowitzsch, Theresa Frank, Anna Platte und Oleg Wahl danke ich für ihre Hilfe bei der Erhebung von Experiment I-4. Meinen 320 Probanden danke ich dafür, dass sie meine anstrengenden Experimente engagiert mitgemacht haben.

Weiterhin danke ich der Universität Erfurt, die mich während der dreijährigen Promotionsphase mit einem Christoph-Martin-Wieland-Stipendium unterstützt hat, das nicht nur eine finanzielle und materielle Ausstattung, sondern auch die Förderung von Schlüsselkompetenzen und interdisziplinären Austausch beinhaltete. Mit meinem Projekt hatte ich Anschluss an die Forschungsgruppe „Sprachbeherrschung“ des **Erfurter Promovierenden- und Postdoktoranden-Programms**. Für das Interesse, den Austausch und die Inspiration danke ich den aktuellen und ehemaligen Mitgliedern, insbesondere Gerhard Blanken, Beate Hampe, Christian Lehmann, Gerd Mannhaupt, Christian Marschke, Ralf Rummer und Judith Schweppe.

Dankbar bin ich nicht zuletzt für den Austausch jenseits des Fachlichen; für gute Gespräche, unterhaltsame Mittagessen und außerakademische Unternehmungen mit meinen KollegInnen Agnes, Almut, Antje, Christian, Christin, Frank, Judith, Julia, Julia, Katja, Kerstin, Lena, Margret, Nicola, Niels, Nora, Nour, Sandra, Sandra, Stefanie, Steffi, Susanne, Teresa, Theresia, Wasi, Wei-Ming, Weiwei und Yahya.

Meiner Familie möchte ich bei dieser Gelegenheit für die Unterstützung und das Verständnis danken; auch für das ausdauernde Interesse an meinem Dissertationsthema. Besonderer Dank gilt meinem Mann Malte für seinen unerschütterlichen Rückhalt. Mit seiner vollen Aufmerksamkeit und humorvoller Anteilnahme konnte ich jederzeit rechnen. Zudem hat er Teile dieser Arbeit Korrektur gelesen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	23
1. Einleitung	25
2. Überblick	31
3. Text-Bild-Interferenzen im visuellen Arbeitsgedächtnis	34
3.1 Der theoretische Hintergrund der Interferenzannahme	36
3.2 Prämissen der Interferenzannahme	39
4. Das Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses	42
4.1 Die Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses	45
4.2 Repräsentationen im Multikomponenten-Arbeitsgedächtnis	48
4.2.1 Repräsentationen in der phonologischen Schleife	48
4.2.1.1 Einflüsse phonologischer Ähnlichkeit	49
4.2.1.2 Einflüsse der Wortlänge	51
4.3 Verbal = phonologisch?	53
4.4 Nicht-phonologische Repräsentationen von Schrift	56
4.5 Repräsentationen im visuellen Arbeitsgedächtnis	61
4.6 Interferenzen von verbaler und bildhafter Information	66
5. Arbeitsgedächtnis als Fokussierung verarbeitungsrelevanter Repräsentationen	71
5.1 Struktur des unitären Arbeitsgedächtnisses	71
5.2 Repräsentationen im unitären Arbeitsgedächtnismodell	73

5.3	Interferenzen von Schrift und Bild?	75
6.	Die neuronale Verarbeitung von Schrift	77
6.1	Die frühen Stadien der visuellen Verarbeitung	77
6.2	Die extrastriäre visuelle Verarbeitung	80
6.2.1	Schriftspezifische Verarbeitung	81
6.2.2	Vor den Wortformen	82
6.3	Interferenzen von Schrift und Bild?	84
7.	Repräsentationen von Schrift	87
7.1	Visuelle Repräsentationen von Schrift	88
7.1.1	Visuelle Merkmale in der Buchstabenrezeption	89
7.1.2	Visuelle Merkmale im <i>Letter Matching</i> -Paradigma	91
7.1.3	Allographen in der Buchstabenproduktion	96
7.1.4	Fazit: Repräsentationen visueller Merkmale von Schrift	98
7.2	Grapheme oder abstrakte Buchstabenrepräsentationen	100
7.3	Orthographische Information	104
7.3.1	Orthographische Information in alphabetischer Schrift	104
7.3.2	Orthographische Information in ideographischen Zeichen	109
7.4	Fazit: Abstrakte Repräsentationen von Schrift	111
8.	Zusammenfassung des Forschungsstands	113
9.	Empirischer Teil I	127
9.1	Zusammenfassung und Überblick über die Experimente	127
9.2	Materialerstellung	131

9.2.1 Kontrolle phonologischer Einflüsse	131
9.2.2 Kontrolle der Frequenz und Sonstiges	132
9.2.3 Vorstudie zur Variantenähnlichkeit	132
9.3 Experiment I-1	135
9.3.1 Design	135
9.3.2 Methode	135
9.3.2.1 Stichprobe	135
9.3.2.2 Material	135
9.3.2.3 Ablauf	136
9.3.2.4 Hypothesen	138
9.3.3 Ergebnisse	139
9.3.3.1 Datenaufbereitung	139
9.3.3.2 Auswertung	139
9.3.4 Diskussion	142
9.4 Experiment I-2	145
9.4.1 Design	145
9.4.2 Methode	145
9.4.2.1 Stichprobe	145
9.4.2.2 Material	146
9.4.2.3 Ablauf	147
9.4.2.4 Hypothesen	147
9.4.3 Ergebnisse	147

9.4.4 Diskussion	150
9.5 Experiment I-3	151
9.5.1 Design	151
9.5.2 Methode	152
9.5.2.1 Stichprobe	152
9.5.2.2 Material	152
9.5.2.3 Ablauf	153
9.5.2.4 Hypothesen	153
9.5.3 Ergebnisse	154
9.5.4 Diskussion	158
9.6 Experiment I-4	163
9.6.1 Design	163
9.6.2 Methode	163
9.6.2.1 Stichprobe	163
9.6.2.2 Material	164
9.6.2.3 Ablauf	164
9.6.2.4 Hypothesen	164
9.6.3 Ergebnisse	165
9.6.4 Diskussion	167
9.7 Diskussion der Experimente I-1 – I-4	168
10. Empirischer Teil II	174
10.1 Experiment II	175

10.1.1 Design	176
10.1.2 Methode	176
10.1.2.1 Stichprobe	176
10.1.2.2 Material	177
10.1.2.3 Ablauf	178
10.1.2.4 Hypothesen	180
10.1.3 Ergebnisse	181
10.1.3.1 Datenaufbereitung	181
10.1.3.2 Auswertung	181
10.1.4 Diskussion	184
11. Konkrete und abstrakte visuelle Schriftmerkmale	189
11.1 Varianten- und Schriftartinformation	190
11.1.1 Variantenspezifische Grapheme	190
11.1.2 Die Relevanz der Varianteninformation	193
11.1.3 Fazit	194
11.2 Empirische Kontrastierung von Schriftart und Variante	196
11.2.1 Motivation für die Vorgehensweise	197
11.2.2 Experimentelle Umsetzung	200
12. Empirischer Teil III	205
12.1 Zusammenfassung und Überblick über die Experimente	205
12.2 Materialerstellung	209
12.3 Experiment III-1a	210

12.3.1 Design	210
12.3.2 Methode	211
12.3.2.1 Stichprobe	211
12.3.2.2 Material	211
12.3.2.3 Ablauf	214
12.3.2.4 Hypothesen	216
12.3.3 Ergebnisse	217
12.3.3.1 Datenaufbereitung	217
12.3.3.2 Auswertung	220
12.3.4 Diskussion	224
12.4 Experiment III-1b	228
12.4.1 Design	228
12.4.2 Methode	228
12.4.2.1 Stichprobe	228
12.4.2.2 Material	228
12.4.2.3 Ablauf	228
12.4.2.4 Hypothesen	228
12.4.3 Ergebnisse	229
12.4.3.1 Datenaufbereitung	229
12.4.3.2 Auswertung	229
12.4.4 Diskussion	232
12.5 Modifikation des Paradigmas	236

12.5.1 Vorbemerkungen	241
12.6 Experiment III-2a	242
12.6.1 Design	243
12.6.2 Abweichungen im varianzanalytischen Design	243
12.6.3 Methode	246
12.6.3.1 Stichprobe	246
12.6.3.2 Material	247
12.6.3.3 Ablauf	248
12.6.3.4 Hypothesen	250
12.6.4 Ergebnisse	254
12.6.4.1 Datenaufbereitung	254
12.6.4.2 Auswertung	256
12.6.5 Diskussion	261
12.7 Experiment III-2b	269
12.7.1 Design	270
12.7.2 Methode	270
12.7.2.1 Stichprobe	270
12.7.2.2 Material	270
12.7.2.3 Ablauf	271
12.7.2.4 Hypothesen	271
12.7.3 Ergebnisse	272
12.7.3.1 Datenaufbereitung	272

12.7.3.2 Auswertung	272
12.7.4 Diskussion	278
12.8 Experiment III-3a	288
12.8.1 Design	288
12.8.2 Methode	289
12.8.2.1 Stichprobe	289
12.8.2.2 Material	289
12.8.2.3 Ablauf	290
12.8.2.4 Hypothesen	290
12.8.3 Ergebnisse	292
12.8.3.1 Datenaufbereitung	292
12.8.3.2 Auswertung	294
12.8.4 Diskussion	298
12.9 Experiment III-3b	300
12.9.1 Design	300
12.9.2 Methode	300
12.9.2.1 Stichprobe	300
12.9.2.2 Material	301
12.9.2.3 Vorgehen	301
12.9.2.4 Hypothesen	301
12.9.3 Ergebnisse	301
12.9.3.1 Datenaufbereitung	301

12.9.3.2 Auswertung	302
12.9.4 Diskussion	305
12.10 Diskussion der Experimente III-2a bis III-3b	305
13. Abschließende Diskussion	310
13.1 Schlussfolgerungen hinsichtlich der Arbeitsgedächtnismodelle	315
13.2 Schlussfolgerungen mit Blick auf Repräsentationsarten	317
13.3 Schlussfolgerungen mit Blick auf die Interferenzannahme	318
13.4 Einschränkungen dieser Studie	319
13.5 Fazit	320
Zusammenfassung	321
Abstract	323
Literaturverzeichnis	325
Anhang A Variantenähnlichkeits- <i>Ratings</i>	356
Anhang B Experimental <i>items</i>	358
Anhang C Experimentalinstruktionen	373
Anhang D Wiedergabebogen	384
Anhang E Zusätzliche Analysen zum Empirischen Teil III	385
Abkürzungsverzeichnis	394
Ehrenwörtliche Erklärung	396

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Verdeutlichung der Annahme von Buchstabenrepräsentationen, die jeweils unterschiedliche Informationen beinhalten. Dieser Veranschaulichung sind keine Annahmen über Aktivationsrouten zu entnehmen.....28

Abbildung 3-1. Schematische Veranschaulichung der Interferenzannahme beim Lernen mit Text und Bildern: Wird der Text visuell präsentiert, ist die Speicherkapazität für visuelles Material zweifach beansprucht.....36

Abbildung 3-2. Darstellung der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens nach Mayer (2001; aus Rummer et al., 2008).....37

Abbildung 4-1. a) Gedächtnismodell nach Atkinson und Shiffrin (1968). Wenn- gleich die Autoren Kurzzeitspeicher auch für nonverbale Codes erwähnen, gehen sie im Fall von Buchstaben explizit davon aus, dass diese aus dem visuell-sensorischen Speicher in den auditiv-verbal-linguistischen Kurzzeitspeicher transferiert werden (dort z.B. S. 98). Information im Kurzzeitspeicher wird durch solche aus dem Langzeitspeicher ergänzt und umgekehrt. b) Im Rahmen des Multikomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley & Logie, 1999) werden eine Subkomponente für phonologische und eine für visuell-räumliche Repräsentationen näher beschrieben. Die Ergänzung dieser Repräsentationen durch Langzeitwissen geschieht im sog. episodischen Speicher (z.B. Baddeley, 2000), und die Steuerung der Verarbeitungsprozesse obliegt der zentralen Exekutive (z.B. Baddeley, 1986).....43

Abbildung 4-2. Veranschaulichung der phonologischen Rekodierung eines Buchstabens in seinen Namen durch subvokale Artikulation. Der Artikulationsprozess dient zugleich der Reaktivierung von Repräsentationen im phonologischen Speicher...46

Abbildung 4-3. Schematische Darstellung der *Fast Priming*-Technik, wie Lee et al. (1999; der Beispielsatz ist S. 633 entnommen) sie in ihrer Studie verwendeten. Die gestrichelte Linie markiert die unsichtbare Grenze, die der Blick passieren musste, um die Präsentation zunächst des *Primes* und dann des *Targets* auszulösen. Die beiden *Primes* unterschieden sich bei vergleichbarer orthographischer Ähnlichkeit in ihrer phonologischen Ähnlichkeit zum *Target*.....54

Abbildung 4-4. Graphische Darstellung des Ablaufs eines Experimentaldurchgangs entlang dem Zeitstrahl. Das Beispiel zeigt eine Liste von variantenähnlichen Buchstaben mit perfekter Wiedergabe. Die eckigen Klammern dienen der Differenzierung variantenähnlicher Groß- und Kleinbuchstaben.....60

Abbildung 4-5. Schematische Darstellung des Ablaufs eines Experimentaldurchgangs in Rummer et al. (2010, Exp. 1). Die Satz wiedergabe erfolgte mündlich. Beide Schweregrade der Matrixerkennungsaufgabe sind exemplarisch veranschaulicht; die Antwort wäre jeweils „Nein“.....68

Abbildung 5. Veranschaulichung der Grundidee des unitären Arbeitsgedächtnismodells. Exemplarisch ist dargestellt, dass im Arbeitsgedächtnis Einheiten aufrechterhalten und manipuliert werden, die sensorische Eindrücke und Langzeitrepräsentationen beinhalten können. Der äußere Kreis symbolisiert das aktivierte Gedächtnis, der innere den Fokus der Aufmerksamkeit (Cowan, 1999) bzw. *Region of Direct Access* (Oberauer, 2002). Rot hervorgehoben ist die aktuell fokussierte Repräsentation, die Oberauer (2006) als Fokus der Aufmerksamkeit definiert. Die Repräsentationsarten sind als Beispiele zu verstehen.....72

Abbildung 6-1. Zur Orientierung im Blick auf die linke Seite des Gehirns: Die Begriffe zur Position der in diesem Kapitel zentralen Areale. 1 primärer visueller Cortex; 2 Areal V4; 3 (linkshemisphärisch) Wortformenareal.....77

Abbildung 6-2. Veranschaulichung der angenommenen neuronalen Verarbeitungsstadien von Buchstaben (1) im primären visuellen Cortex, (2) im extrastriären Cortex und (3) nahe dem Wortformanareal im inferotemporalen Cortex am Beispiel eines Z.....79

Abbildung 7-1. Veranschaulichung des Prinzips der *Bubbles-Technique* (Fiset et al., 2008, 2009). Zu identifizieren sind A, B und C, wobei die sichtbaren Merkmale nicht genügen, um Alternativen zu „B“ auszuschließen.....89

Abbildung 7-2. a) Schema korrekter Antworten bei *Name Match*- und bei *Physical Match*-Instruktion. b) Veranschaulichung des Posner-Paradigmas bei Kirsner und Sang (1979); die oberen beiden Durchgänge mit ähnlichen, der untere mit unähnlichen Schriftarten.....92

Abbildung 7-3. Einfache Darstellung der am schriftlichen bzw. mündlichen Buchstabieren beteiligten Repräsentationsebenen, sowie links (blau) die entsprechenden Repräsentationsebenen der Wortrezeption. In der Literatur finden sich Annahmen über Verflechtungen der schriftspezifischen mit phonologischen Repräsentationen für alle Ebenen jenseits der senso-motorischen (hier nicht dargestellt). Die graphemische Ebene wird sowohl rezeptions-als auch produktionsseitig häufig dem orthographischen Lexikon zugewiesen (auch was einzelne Buchstaben anbelangt; z.B. Evett & Humphreys, 1981).....99

Abbildung 7-4. Veranschaulichung des Experimentaldesigns von Besner et al. (1984). Unabhängig von der phonologischen Ähnlichkeit konnten orthographisch verschiedene Kunstwörter schneller voneinander unterschieden werden als orthographisch (nicht visuell!) identische Kunstwörter.....107

Abbildung 9-1. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-1 präsentiert wurden.....137

Abbildung 9-2. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-1, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....140

Abbildung 9-3. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-2 präsentiert wurden.....146

Abbildung 9-4. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-2, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....148

Abbildung 9-5. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-3 präsentiert wurden.....153

Abbildung 9-6. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-3 unabhängig von der Listenlänge, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....155

Abbildung 9-7. Variantenfehler (%) Experiment I-3, aufgeschlüsselt nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS), Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und Listenposition (1-4).....158

Abbildung 9-8. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-4, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....166

Abbildung 10-1. Graphische Darstellung des Ablaufs eines Durchgangs in Exp. II entlang dem Zeitstrahl. Das Beispiel zeigt eine DIS-Liste mit perfekter Wiedergabe mit Bildbehalten (unten) bzw. Tonfolgen-Behalten (oben) als Zweitaufgabe.....179

Abbildung 10-2. Hits-minus-False Alarms-Raten in Exp. II, aufgeschlüsselt jeweils nach Zweitaufgabe (Zeichen, Töne) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....182

Abbildung 10-3. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Exp. II, aufgeschlüsselt jeweils nach Zweitaufgabe (Zeichen, Töne) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).....183

Abbildung 11-1. Veranschaulichung des Gedankens, dass variantenspezifische Repräsentationen abstrakter sind als schriftartspezifische Repräsentationen, da sie durch verschiedene konkrete Wahrnehmungsereignisse aktiviert werden.....192

Abbildung 11-2. Beispielhafte Darstellung des Anteils geteilter Merkmale zwischen konkreten (unten) und abstrakten (oben) Buchstabengestalten von „M“ und „H“196

Abbildung 11-3. Veranschaulichung des N-Back-Paradigmas. Bei N = 1 betrifft der kritische Vergleich den unmittelbaren Vorgänger, bei N = 2 den vorletzten, und bei N = 3 den vorvorletzten Buchstaben. Sichtbar ist jeweils nur der aktuelle Buchstabe.....200

Abbildung 11-4. Veranschaulichung der drei verwendeten Versionen des N-Back-Paradigmas (im Beispiel N = 2). (a) die *Go/No Go*-Version, (b) die *Physical Match*-Version, (c) die *Name Match*-Version. Positive Vergleiche sind grün, negative rot und unkritische schwarz gekennzeichnet.....201

Abbildung 12-1. Paare kritischer Buchstaben (am Beispiel von P/p und B/b) in allen möglichen Kombinationen von Schriftart und Variante, wie sie in Exp. III-1a und III-1b präsentiert wurden.....209

Abbildung 12-2. Beispielhafter Beginn eines Durchgangs mit $N = 1$ in Exp. III-1a (oben) und Exp. III-1b (unten). Rechts ist jeweils eine Folge von Bildschirmausschnitten entlang einer Zeitachse zu sehen. Jeder Bildschirm wurde für zwei Sekunden gezeigt.....215

Abbildung 12-3. *Hits-minus-False Alarms* (%) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-1a, aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.....221

Abbildung 12-4. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version des *N-Back*-Paradigmas aus Exp. III-1a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N ($1 - 3$) zwischen den beiden Buchstaben.....223

Abbildung 12-5. Darstellung des Einflusses der Variantenähnlichkeit (DIS vs. SIM) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) auf die Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms* %) über die Abstände (N $1-3$) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben aus Exp. III-1a.....225

Abbildung 12-6. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) über die Abstände (N $1-3$) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben aus Exp. III-1a.....226

*Abbildung 12-7. Hits-minus-False Alarms (%) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der Go/No Go-Version der N-Back-Aufgabe aus Exp. III-1b, aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.....*230

*Abbildung 12-8. Hits-minus-False Alarms (%) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) über die Abstände (N 1–3) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben aus Exp. III-1b.....*230

*Abbildung 12-9. Antwortgeschwindigkeit (Speed) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der Go/No Go-Version der N-Back-Aufgabe aus Exp. III-1b, aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.....*231

*Abbildung 12-10. Buchstabenpaare in allen möglichen Kombinationen von Schriftart und Variante, am Beispiel des variantenähnlichen (SIM) Buchstabens P/p und des variantenverschiedenen (DIS) Buchstabens B/b, wie sie in Exp. III-2a – 3b verwendet wurden.....*239

*Abbildung 12-11. Beispielhafter Ausschnitt aus einem Durchgang mit N = 1 aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung; oben) und III-2b (mit Nachbildmaskierung; unten). Dargestellt sind eine Folge von Bildschirmhalten entlang dem Zeitstrahl sowie die richtigen Antworten in Form von grünen („Ja“) und roten („Nein“) Pfeilen.....*240

Abbildung 12-12. Veranschaulichung der Ähnlichkeitsbeziehungen von zu vergleichenden Buchstaben in Exp. III-2a und III-2b. Abgesehen von der Variantenähnlichkeit (variantenverschieden vs. –ähnlich: DIS vs. SIM) wurde variiert, ob die Variante wechselte (CASE, gleiche vs. andere Variante: = vs. ≠) und ob die Schriftart wechselte (FONT, einheitlich vs. wechselnd: UNI vs. MIXED). In die ANOVA gingen nur die mit
XVIII

VARIANTE, SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE bezeichneten Bedingungskombinationen ein.....245

Abbildung 12-13. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).....257

Abbildung 12-14. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).....260

Abbildung 12-15. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).....273

Abbildung 12-16. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).....277

Abbildung 12-17. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) in Abhängigkeit von dem Aspekt, in dem sich die beiden unterschieden (Schrift, Variante oder Schrift + Variante [S+V]), für die Bedingungen unter N = 1. Die Daten des Experiments ohne Nachbildmaskierung (III-2a; ohne Maske) sind in weiß dargestellt, die des Experiments mit Nachbildmaskierung (III-2b; mit Maske) farblich an die Maske angelehnt.....284

Abbildung 12-18. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*; oben) sowie Antwortgeschwindigkeit (*Speed*; unten) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben für die Bedingungen mit Variantenwechsel (VARIANTE & SCHRIFT+VARIANTE) zusammengefasst, aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach Experiment (Exp. III-2a: ohne Maske und Exp. III-2b: mit Maske).....286

Abbildung 12-19. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*; oben) sowie Antwortgeschwindigkeit (*Speed*; unten) in Abhängigkeit von dem Aspekt, in dem sich die beiden unterschieden (Schrift, Variante oder Schrift + Variante [S+V]). Die Daten des Experiments ohne Nachbildmaskierung (III-2a) sind in gestrichelten Linien abgetragen, die des Experiments mit Nachbildmaskierung (III-2b) in durchgezogenen Linien. Die Bedingungen mit N = 1 sind in Blau gehalten, in Lila die Bedingungen mit N = 2.....287

Abbildung 12-20. Beispielhafter Ausschnitt aus einem Durchgang mit N = 1 in Exp. III-3a (ohne Nachbildmaskierung; oben) und Exp. III-3b (mit Nachbildmaskierung; unten). Dargestellt sind eine Folge von Bildschirminhalten entlang dem Zeitstrahl sowie die richtigen Antworten in Form von grünen („Ja“) und roten („Nein“) Pfeilen.....290

Abbildung 12-21. Anteil korrekter Antworten (*Hits*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version

der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).....295

Abbildung 12-22. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).....297

Abbildung 12-23. Anteil korrekter Antworten (*Hits*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).....302

Abbildung 12-24. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).....304

Abbildung E-1. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit und -Geschwindigkeit aus Exp. III-1a. In den oberen Diagrammen findet sich jeweils die Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) für die Bedingung

mit einheitlicher Schriftart links und mit wechselnder Schriftart rechts, aufgeschlüsselt nach Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und dem Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben ($N = 1 - 3$). In den unteren Diagrammen finden sich die jeweils entsprechenden Daten zur Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms-Raten*).....386

Abbildung E-2. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit und -Geschwindigkeit aus Exp. III-1b. In den oberen Diagrammen findet sich jeweils die Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) für die Bedingung mit einheitlicher Schriftart links und mit wechselnder Schriftart rechts, aufgeschlüsselt nach Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und dem Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben ($N = 1 - 3$). In den unteren Diagrammen finden sich die jeweils entsprechenden Daten zur Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms-Raten*).....387

Abbildung E-3. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit (links) und -Geschwindigkeit (rechts) aus Exp. III-2a in Abhängigkeit von Variantenähnlichkeit (DIS, SIM), dem Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (1, 2) und den Aspekten, in denen diese sich unterscheiden (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE [S+V]).....389

Abbildung E-4. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit (links) und -Geschwindigkeit (rechts) aus Exp. III-2b in Abhängigkeit von Variantenähnlichkeit (DIS, SIM), dem Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (1, 2) und den Aspekten, in denen diese sich unterscheiden (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE [S+V]).....392

Tabellenverzeichnis

Tabelle 9-1. Phonetische Beschreibung der Namen der Buchstaben (im Deutschen), die in der vorliegenden Arbeit als Experimentalmaterial verwendet wurden, gemäß IPA (2005). Variantenverschiedene Buchstaben sind grün, variantenähnliche Buchstaben orange gekennzeichnet.....134

Tabelle 9-2. Mittelwerte (und Standardabweichungen) aus Exp. I-1 – I-4, aufgeschlüsselt nach Fehlertyp (Buchstabenidentität, Listenposition und Buchstabenvariante), sowie anhand der Faktoren ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG (ohne/mit AS) und VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. G - g/SIM, z.B. C - c).....173

Tabelle 10. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms*-Raten) in der Zweitaufgabe sowie der Fehler bei der Wiedergabe der Buchstabenlisten bzgl. Identität, Listenposition und Variante der Buchstaben (in %) in Exp. II. Die Daten sind aufgeschlüsselt nach Zweitaufgabe (Bilder oder Tonfolgen differenzieren) und nach Variantenähnlichkeit (DIS, z.B. B – b und SIM, z.B. C - c).....184

Tabelle 12-1. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms* in %) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Exp. III-1a und II-1b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 3), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c) und FONT (UNI, z.B. C - C/MIXED, z.B. C - C).....219

Tabelle 12-2. Schematischer Überblick über die Unterschiedshypothesen zu Experiment III-2a. Hypothesen zur Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation sind in Blau gehalten, die Hypothesen zum Einfluss der Variantenähnlichkeit in Schwarz. Für N = 1 unterscheiden sich die Hypothesen je nach abhängiger Variable (*Speed* und *Correct Rejections*).....251

Tabelle 12-3. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (% *Correct Rejections*) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Exp. III-2a und III-2b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 2), CS (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c) und V-SIM (SCHRIFT, z.B. **C** - *ℓ*/VARIANTE, z.B. **C** - **c**/SCHRIFT+VARIANTE [S+V], z.B. *ℓ* - **c**). Zusätzlich wird der Anteil an Hits sowie die Antwortgeschwindigkeit bei identischen Paaren (IDENT.) aufgeführt.....255

Tabelle 12-4. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (% *Hits*) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Experimenten III-3a und III-3b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c), CASE (=, z.B. *ℓ* - *ℓ*≠, z.B. **b** - **B**) und FONT (UNI, z.B. **C** - **c**/MIXED, z.B. *ℓ* - **C**).....293

1. Einleitung

Wir begegnen ihnen ständig, und ihre Gestalten sind uns so vertraut, dass wir sie auch im Vorbeigehen unwillkürlich aufnehmen: Buchstaben. Doch was genau passiert, wenn wir sie aufnehmen? Bitte lesen Sie:

C - c

Wenn der Prozess des Lesens bei Ihnen so abläuft wie bei den meisten Lesern, dann haben Sie erst so etwas wie /tse:/ gedacht, also innerlich ein Lautmuster produziert, als würden Sie in Gedanken sprechen. Wahrscheinlich haben sie das Ergebnis dieser subvokalen Artikulation auch in Ihrem inneren Ohr gehört. Und danach haben Sie vermutlich das Gleiche noch einmal erlebt. Waren die beiden inneren Ereignisse der Verarbeitung von C und c für Sie zu unterscheiden? Wenn nicht, dann wird Sie das vielleicht nicht irritieren, schließlich unterscheiden sich auch die beiden äußeren Ereignisse, die Reize, kaum voneinander. Wie aber verhält es sich mit dem Folgenden:

ġ - g

Vielleicht ließen sich die Buchstaben dieses Mal nicht ganz so reibungslos lesen, aber wahrscheinlich haben Sie wiederum in beiden Fällen in Ihrem Kopf ein /ge:/ produziert und wahrgenommen. Konnten Sie einen Unterschied zwischen Ihrem inneren ġ und Ihrem inneren g feststellen? Wenn nicht, dann werden Sie zustimmen, dass es dieses Mal nicht daran liegt, dass auf dem Papier zwei Mal das Gleiche passiert ist.

Dieses Merkmal der Buchstabenwahrnehmung, dass die zahlreichen Erscheinungen und möglichen Orientierungen der Reize auf einer abstrakten Ebene als identisch erkannt werden, bezeichnet man als Invarianz (z.B. Chauncey,

Holcomb & Grainger, 2008; Dehaene, 2010). Doch was geschieht mit den visuellen Merkmalen, die den ursprünglichen Sinneseindruck ausmachten, wenn Sie einem Buchstaben seine invarianten Merkmale entnommen und sich von Schnörkeln oder Schräglagen nicht haben irritieren lassen? Für einen Augenblick befand sich schließlich das Abbild des Buchstabens in seiner konkreten Ausgestaltung auf Ihrer Retina; sonst hätten Sie ihn nicht wahrnehmen können. Auf dieselbe Weise wie die Buchstabenidentitäten selbst, als /tse:/ oder /ge:/ sind sie jedenfalls nicht repräsentiert, sonst wären innerlich Unterschiede beispielsweise zwischen G und g auszumachen. Doch wann gehen sie verloren – oder gehen sie überhaupt verloren? Und wenn sie nicht verloren gehen, wie sind sie dann repräsentiert?

Nun tragen, selbst wenn man nur einen Buchstaben betrachtet, viele Aspekte zum visuellen Gesamteindruck bei, und nicht alle davon sind wichtig, um den Buchstaben zu identifizieren. In anderen Worten gibt es neben definierenden Merkmalen auch oberflächliche Merkmale der konkreten Ausgestaltung. Bei Merkmalen der konkreten Ausgestaltung könnte man an die Schriftart (z.B. Arial oder Times New Roman; z.B. Kirsner & Sang, 1979; Sanocki, 1988) und den Schriftstil (Druck- oder Schreibschrift; z.B. Venneri, Pestell & Caffarra, 2002) denken, an die absolute Größe (z.B. Chauncey et al., 2008; Dehaene, 2010, S. 30ff), an die Lokalisation im Raum (z.B. Healy, 1975; Kennedy, Brooks, Flynn & Prophet, 2003), oder auch an die Farbe (Light & Berger, 1974). Definierende Merkmale sind solche, die für die Identifikation eines Buchstabens zentral sind, die den Unterschied zu jedem anderen ausmachen. Dabei könnte es sich etwa um die Teile des Buchstabens handeln, aus denen ersichtlich ist, wie die einzelnen Striche zueinander angeordnet sind, wie Schnittpunkte oder Linienenden (vgl. Fiset, Blais, Éthier-Majcher, Arguin, Bub & Gosselin, 2008). Zu den defi-

nierenden Merkmalen zählen für Buchstaben, deren Varianten einander nicht ähnlich sehen (wie G/g), auch die Charakteristika der jeweiligen Variante (vgl. Wong & Gauthier, 2007). Das heißt, Buchstaben mit unterschiedlichen Varianten lassen sich gleich zwei Sätze definierender Merkmale zuweisen.

Wenn im Arbeitsgedächtnis modalitätsspezifische (visuelle) Repräsentationen für Schrift existierten, welche Merkmale würden sie abbilden? Die Erscheinung als Ganzes? Die Aspekte, die den Buchstaben erkennbar machen, die ihn definieren und gegen andere Buchstaben abgrenzen? Oder lassen sich sogar Repräsentationen von definierenden Merkmalen von den konkreten Merkmalen ihrer jeweiligen Ausgestaltung unterscheiden? In dieser Arbeit geht es um verschiedene Repräsentationen, die für Schrift, insbesondere für Buchstaben spezifisch sind. Um räumliche oder farbliche Aspekte geht es dabei nicht, obwohl die den Buchstabengestalten zugewiesene räumliche Positionierung und Farbe auch repräsentiert sein mögen. Diese Merkmale gehen jedoch nicht in die Gestalten ein, während andere in die Gestalten integriert sind und die Gestalten selbst modifizieren. Bildhaft gesprochen wären Variante oder Schriftart der Stoff, aus dem Buchstaben gemacht sind, ohne den es keinen Buchstaben gäbe. Man kann ihn nach Belieben färben oder positionieren, ohne etwas an der Existenz dieses Buchstaben zu ändern. Es ist denkbar, dass solche Merkmale gesondert von dem repräsentierten Objekt, dem Buchstaben selbst, verarbeitet und gespeichert werden, oder dass sie anders verarbeitet und gespeichert werden.

Unter den schriftspezifischen Repräsentationen gibt es auch solche, die nicht anhand der Reizmerkmale beschreibbar sind. Sie sind nur insofern „visuell“, als sie spezifisch für Schrift – im Gegensatz zu gesprochener/gehörter Sprache – sind; konkrete visuelle Merkmale beinhalten sie jedoch nicht (vgl. Bowers, 1996, 2000). Sie zeigen sich in Verbindungen zwischen gestaltlich verschiedenen

Buchstaben, die sich über die Verbundenheit im gemeinsamen Namen hinaus nachweisen lassen (vgl. Abb. 1). In der psycholinguistischen Sprachproduktionsforschung werden Repräsentationen beschrieben, die zwar (im Grunde visuell vermittelte) Information zur Schreibweise von Wörtern enthalten, aber auch beim mündlichen Buchstabieren genutzt werden und insofern nicht spezifisch für die visuelle Sprachverarbeitung sind (d.h. orthographische Repräsentationen; z.B. Buchwald & Rapp, 2009). Repräsentationen dieses Abstraktionsgrades scheinen von der Modalität der Sprachrezeption (gehört, gelesen) und der Sprachproduktion (gesprochen, geschrieben) unabhängig zu sein (z.B. Rapp & Caramazza, 1989). Es besteht daher die Möglichkeit, dass sie keine modalitätsspezifischen Informationen beinhalten und also nicht visuell sind.

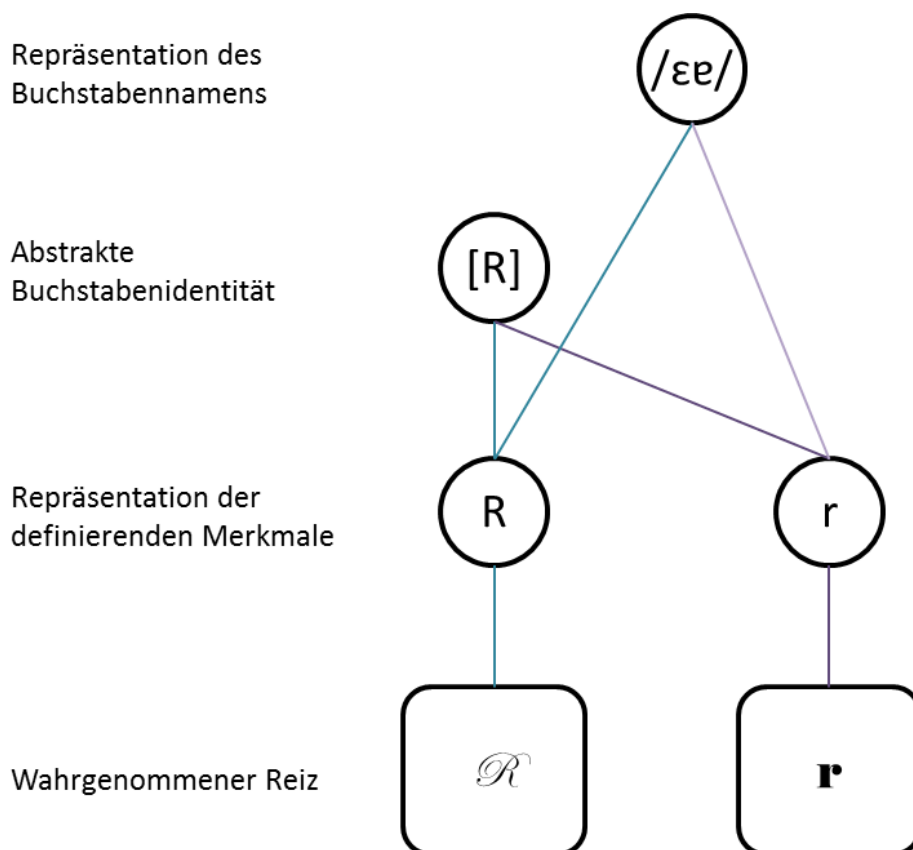


Abbildung 1. Verdeutlichung der Annahme von Buchstabenrepräsentationen, die jeweils unterschiedliche Informationen beinhalten. Dieser Veranschaulichung sind keine Annahmen über Aktivationsrouten zu entnehmen.

Es soll geklärt werden, welche Informationen die Repräsentationen von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis beinhalten. Unter Arbeitsgedächtnis verstehe ich mit Baddeley und Logie (1999, S. 28) „...aspects of on-line cognition – the moment-to-moment monitoring, processing, and maintenance of information...“. Dieser Arbeitsgedächtnisbegriff bezieht sich auf (a) Repräsentationen von Information, die (b) im Rahmen kognitiver Operationen verwendet und (c) dafür verfügbar gehalten werden können. Häufig und auch hier verweist der Begriff außerdem darauf, dass die Inhalte (Repräsentationen) willkürlich aufrechterhalten werden, da es um kontrollierte Prozesse mit bewussten Verarbeitungszielen geht (s. hierzu Hassin, Bargh, Engell & McCulloch, 2009, die selbst eine andere Auffassung von Arbeitsgedächtnis vertreten). Die Frage, um die es in dieser Arbeit geht, lässt sich also umformulieren: Welche Informationen beinhalten diejenigen Repräsentationen von Buchstaben, die willkürlich aufrechterhalten werden können?

Klärungsbedarf wird aus der instruktionspsychologischen Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009) abgeleitet. Diese Theorie besagt, dass schriftlicher Text und Bilder im visuellen Arbeitsgedächtnis interferieren. Interferenzen kann man sich als Verwechslungen zwischen Repräsentationen vorstellen. Diese gehen darauf zurück, dass die Repräsentationen Gemeinsamkeiten besitzen, etwa weil die Reize in der Außenwelt, die sie jeweils kognitiv abbilden, bestimmte physikalische oder semantische Eigenschaften teilen. Interferenzen zwischen schriftlichen Texten und Bildern im Arbeitsgedächtnis würden also bedeuten, dass den Repräsentationen beider Reizarten Eigenschaften gemeinsam sind. Da die Interferenzen gemäß der Annahme der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens im visuellen Arbeitsgedächtnis auftreten, muss es sich um Eigenschaften handeln, die im visuellen Arbeitsge-

dächtnis repräsentiert sind. Im Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1992), auf das die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens Bezug nimmt, ist das visuelle Arbeitsgedächtnis eine unabhängige Komponente, die für die Verarbeitung bildhafter Information zuständig ist (wie geometrische Figuren oder komplexe Szenen; z.B. Alvarez & Cavanagh, 2004; Logie, 1995). Repräsentationen bildhafter Information reflektieren die visuellen Eigenschaften ihres Gegenstands (z.B. Kosslyn, 1975).

Unter der Voraussetzung, dass Wörter auf Ebene der Buchstaben identifiziert werden (z.B. Pelli, Farell & Moore, 2003), ist es auch mit Blick auf die Erschließung von Texten interessant, etwas über Repräsentationen von Buchstaben zu erfahren. Da auch Buchstaben visuelle Eigenschaften aufweisen, erscheint es auf den ersten Blick plausibel, dass sie ähnlich Bildern im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden. Der Nachweis, dass visuelle Merkmale von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sind, ist der zentrale Anhaltspunkt hierfür: Wären nur phonologische Repräsentationen von Buchstaben (wie /tse:/ und /ge:/) im Arbeitsgedächtnis relevant, sollte es nicht zu Interferenzen mit bildhaften Repräsentationen kommen. Sind jedoch visuelle Merkmale in Arbeitsgedächtnisaufgaben nachweisbar, liegt die Annahme nahe, dass die entsprechenden Repräsentationen dieselbe kognitive Ressource beanspruchen wie Bilder, so dass Interferenzen zu erwarten wären. Doch besteht auch die Möglichkeit, dass die repräsentierten visuellen Merkmale abstrakt sind, keine Abbilder des Sinneseindrucks, sondern eine Zusammenstellung der wesentlichen, definierenden Merkmale. Dann wiederum wäre es fraglich, ob die im Arbeitsgedächtnis genutzten Buchstabenrepräsentationen mit bildhaften Repräsentationen vergleichbar sind, ob es also das visuelle Arbeitsgedächtnis ist, das ihre Aufrechterhaltung leistet.

2. Überblick

In dieser Arbeit wird zunächst (Kap. 3) die Annahme der Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009) dargestellt, dass schriftlicher Text mit Bildern im Arbeitsgedächtnis interferiert. Die Annahme impliziert bei näherer Betrachtung, dass Schrift im Arbeitsgedächtnis wie Bilder behandelt wird. Mit Bezug auf das Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1986; Baddeley & Logie, 1999), welches die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens zur Grundlage nimmt heißt das, dass Schrift in der visuellen Arbeitsgedächtniskomponente gespeichert wird.

Betrachtet man wiederum das Multikomponentenmodell (z.B. Baddeley, 1986, 2000; Kap. 4) genauer so zeigt sich, dass sprachliche Information darin in einer phonologischen Komponente verarbeitet wird – selbst wenn sie schriftlich präsentiert wird (z.B. Conrad & Hull, 1964). Die visuelle Arbeitsgedächtniskomponente gewährleistet die Aufrechterhaltung von bildhafter Information (z.B. Alvarez & Cavanagh, 2004; Logie, 1995). Da bei Informationen, die verbalisiert werden können, phonologische Repräsentationen dominieren, wird das visuelle Arbeitsgedächtnis in der Regel anhand solcher visueller Stimuli untersucht, die unvertraut sind und daher nicht verbal enkodiert werden (s. aber Poirier, Saint-Aubin, Musselwhite, Mohanadas & Mahammed, 2007). Auch wenn neben phonologischen auch visuelle Repräsentationen von Schrift nachgewiesen werden könnten, wäre nicht zu erwarten, dass diese die Eigenschaften aufweisen, die das visuelle Arbeitsgedächtnis charakterisieren.

Grundsätzlich ließe sich einwenden, dass die Vorstellungen des Multikomponentenmodells unzutreffend sein könnten und Schrift und Bilder im Arbeitsgedächtnis jenseits der angenommenen Strukturen interferieren. Dies legt nahe, (a) ein weiteres Arbeitsgedächtnismodell hinzuzuziehen, aufgrund dessen

eine Aussage über die Annahme von Schrift-Bild-Interferenzen getroffen werden könnte und (b) diese Annahme als empirische Frage zu betrachten. Erstaunlicherweise ist dies im Kontext der Theorie Multimedialen Lernens bislang kaum geschehen. Wie könnte entsprechende empirische Evidenz aussehen? Einerseits – die gemeinsame Nutzung begrenzter Ressourcen vorausgesetzt – sollten Schrift und Bilder einander stören, wenn sie gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden sollen. Andererseits – sofern die Eigenschaften der wahrgenommenen Reize auch in den Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis kodiert sind – sollten die visuellen Merkmale von Schrift in geeigneten Aufgaben nachweisbar sein.

In Kapitel 5 wird die Arbeitsgedächtniskonzeption von Cowan (1999) vorgestellt. Dieses Modell nimmt an, dass jegliche im Verarbeitungsprozess enkodierte Informationen auch im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein können. Unter dieser Prämisse ist es interessant, Überschneidungen und Abweichungen im Verarbeitungsweg von Schrift und Bildern auf neuronaler Ebene nachzuvollziehen (Kap. 6). Schließlich behandeln zahlreiche empirische Arbeiten aus verschiedenen Forschungsbereichen die Frage, was bei der Rezeption oder Produktion von Schrift repräsentiert ist (Kap. 7). Die Recherchen führen insgesamt zu keiner zufriedenstellenden Antwort auf die Frage, ob Schrift im Arbeitsgedächtnis wie Bilder repräsentiert ist.

Dies motiviert die Experimente der vorliegenden Arbeit. Zunächst wird ein Experiment von Logie, Della Sala, Wynn und Baddeley (2000) aufgegriffen, das vielversprechende Hinweise darauf bietet, dass die visuellen Gestalten von Buchstabenvarianten im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden. Anschließend wird geprüft, ob diese Repräsentationen durch die zusätzliche Aufrechterhaltung nicht verbalisierbarer visueller Information mehr gestört werden als durch

nicht verbalisierbare auditive Information. Schließlich wird neben Repräsentationen von Variantengestalten noch nach Buchstabenrepräsentationen im Arbeitsgedächtnis geforscht, die hinsichtlich der Schriftart spezifiziert sind.

Die Befunde werden mit Bezug auf die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens interpretiert. Sie sind außerdem interessant mit Blick auf Fragen, die im Rahmen von Arbeitsgedächtnismodellen adressiert werden: Sind Aspekte des Wahrgenommenen im Arbeitsgedächtnis repräsentiert, und wenn ja, welche? Diese Arbeit bietet einen Einblick in die kognitive Darstellung hoch vertrauter und bedeutsamer Reize, also Buchstaben, auch im Unterschied zu neuartigen, bedeutungslosen Stimuli und gibt Anhaltspunkte zur Verfügbarkeit und Störbarkeit relevanter und oberflächlicher Aspekte von Buchstaben. Da Buchstaben die Elemente von Schrift sind, trägt diese Arbeit zum Verständnis des Lesens bei.

3. Text-Bild-Interferenzen im visuellen Arbeitsgedächtnis

Inwiefern wäre es von Bedeutung, wenn Schrift das visuelle Arbeitsgedächtnis belasten würde? Im Folgenden wird eine instruktionspsychologische Anwendung der kognitiven Psychologie vorgestellt, für die diese Annahme weitreichende Konsequenzen hat. Im Kontext der Lehr-/Lernforschung geht es unter anderem um die kognitiven Prozesse, die ablaufen, wenn man sich mittels verbaler und bildhafter Information mehr oder weniger komplexe Lerninhalte aneignet. Was geschieht im kognitiven System des Lernenden, wenn er etwa das Prinzip der Photosynthese (z.B. Nerdel, 2003), die Funktionsweise der Niere (z.B. Cierniak, Scheiter & Gerjets, 2009) oder die Entstehung von Blitzen (z.B. Moreno & Mayer, 1999; Schmidt-Weigand, 2011) mit Hilfe erklärender Texte und schematischer Abbildungen zu verstehen versucht?

Unter Rückgriff auf Annahmen über die kognitiven Prozesse ist die Instruktionspsychologie unter anderem mit der Frage befasst, wie derartige Lehr-/Lernmaterialien idealerweise gestaltet sein sollten. Das Ziel besteht darin, die Lektion optimal an die Gegebenheiten der menschlichen Informationsverarbeitung anzupassen. In diesem Zusammenhang zentral ist das Konzept des Arbeitsgedächtnisses, das als der kritische Engpass im kognitiven System schlechthin beschrieben wird. Die instruktionspsychologische Forschung ist von dem Gedanken geprägt, dass das Arbeitsgedächtnis als kognitive Ressource kapazitär begrenzt ist und die kognitive Belastung, die nicht dem Lernen selbst geschuldet ist, möglichst gering gehalten werden muss, damit die notwendigen Verarbeitungsprozesse ohne Reibungsverluste ablaufen können (*Cognitive Load Theory*; z.B. Chandler & Sweller, 1991, 1996; Leahy, Chandler & Sweller, 2003; Mousavi, Low & Sweller, 1995; Paas & van Merriënboer, 1994; Sweller, 1994; Sweller & Chandler, 1994; Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990). Unnöti-

ge kognitive Belastung im Sinne einer Überlastung der verfügbaren Speicherkapazitäten soll vermeidbar sein, indem die Informationen in angemessenen Quantitäten auf die verfügbaren Komponenten verteilt werden.

An dieser Stelle muss vorgehend eine Grundannahme des Multikomponentenmodells expliziert werden, dass nämlich die verbale und die visuelle Arbeitsgedächtniskomponente über jeweils eigene Speicherkapazitäten verfügen (z.B. De Renzi & Nichelli, 1975; Smith & Jonides, 1997; s. aber z.B. Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne & Engle, 2004). Diese Arbeitsgedächtniskomponenten sind voneinander unabhängig und können parallel genutzt werden, ohne dass die jeweils gespeicherten Inhalte interferieren (z.B. Cocchini, Logie, Della Sala, Mac Pherson & Baddeley, 2002; Logie et al., 1990). Die kapazitive Begrenzung ergibt sich daraus, dass zur Aufrechterhaltung der Informationen jeweils bestimmte Prozesse durchgeführt werden (vgl. hierzu Rummel, Mohr & Zimmer, 1998). Diese benötigen Zeit, wobei über die Zeit auch die (neuronalen) Aktivierung der Repräsentationen abnimmt. So mag ein Teil der Information in der Masse der nicht akut aktivierten Repräsentationen verloren gehen, während ein anderer Teil der Information reaktiviert wird. In der Folge werden Interferenzen wahrscheinlicher, wenn es an spezifischen Eigenschaften fehlt, anhand derer Repräsentationen gegeneinander abgegrenzt werden können.

Die seitens des Lernenden gegebenen kognitiven Ressourcen sollen also mit größtmöglicher Effizienz genutzt werden. Aus der Unabhängigkeit der verbalen und der visuellen Speicherkapazitäten folgt, dass sich die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses erhöhen lässt, wenn man die Information auf beide Komponenten verteilt. Zwei Komponenten können mehr Information je Zeiteinheit verarbeiten als eine, deren Speicher dieselbe Informationsmenge bereits überlasten könnte (z.B. Kalyuga, Chandler & Sweller, 1999; Mayer & Moreno,

1998). Diese Logik bildet den Hintergrund für eine Annahme, die ich im Folgenden Interferenzannahme nenne und die in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt ist: die Annahme, beim Lernen mit Texten und Bildern könne visuelle Textdarbietung zu einer Überlastung der Speicherkapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses führen.

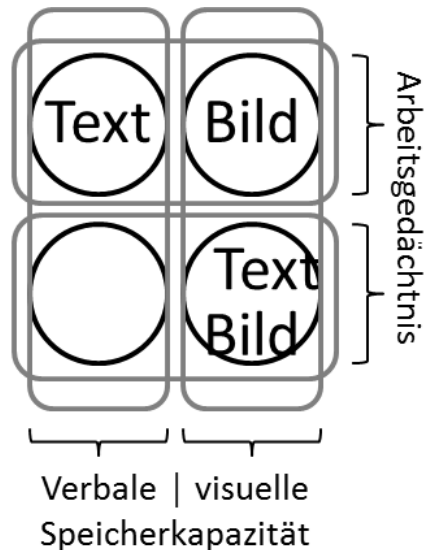


Abbildung 3-1. Schematische Veranschaulichung der Interferenzannahme beim Lernen mit Text und Bildern: Wird der Text visuell präsentiert, ist die Speicherkapazität für visuelles Material zweifach beansprucht.

3.1 Der theoretische Hintergrund der Interferenzannahme

Die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens (Mayer, z.B. 2001, 2009; vgl. Abb. 3-2), die in der Instruktionspsychologie weit verbreitet ist, stellt nach Art eines Rahmenmodells den Ausschnitt aus der menschlichen Informationsverarbeitung dar, der zentral am Lernen mit Text und Bild beteiligt ist. Die verbalen und bildhaften Informationen werden über zwei voneinander weitgehend unabhängige Pfade im kognitiven System verarbeitet. Einer der Pfade (hervorgehoben in den Teilen A und C von Abb. 3-2) beginnt mit der visuellen Informationsaufnahme, mit dem Sehsinn, und führt zunächst zum visuellen Arbeitsgedächtnis. Der Zutritt zum anderen Verarbeitungspfad (B), der zunächst ins Ar-

beitsgedächtnis für Laute führt, erfolgt über das Gehör. Entscheidend ist, dass Bilder und geschriebener Text beide in das visuelle Arbeitsgedächtnis gelangen, da beide über die Augen aufgenommen werden, während auditiver Text eine für Laute zuständige Komponente des Arbeitsgedächtnisses beansprucht.

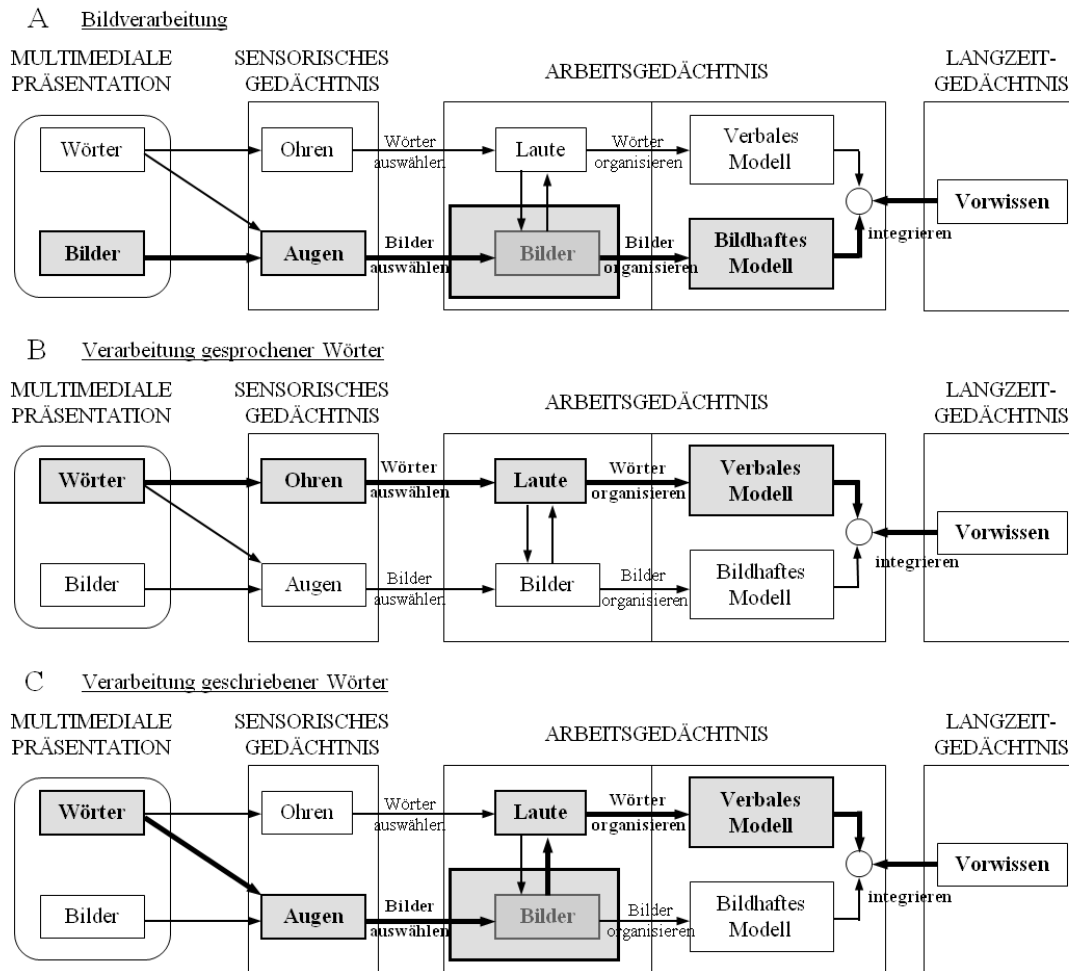


Abbildung 3-2. Darstellung der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens nach Mayer (2001; aus Rummer, Schewpe, Scheiter & Gerjets, 2008).

Aus diesem Modell der Verarbeitung von verbaler und bildhafter Information ist unmittelbar ersichtlich, dass es zwei Engpässe bei der gleichzeitigen Verarbeitung von schriftlichen Texten und Bildern gibt, mit denen bei der gleichzeitigen Verarbeitung auditiver Texte und Bilder nicht gerechnet werden muss. Der erste Engpass besteht bereits bei der Informationsaufnahme und

liegt darin begründet, dass die wenigsten Menschen ihre Augen unabhängig voneinander bzw. auf voneinander entfernte Stellen ausrichten können. Während man etwa eine Grafik betrachtet, kann man bequem verbalen Erläuterungen dazu lauschen. Wenn die verbalen Erläuterungen hingegen gelesen werden, muss die Bildbetrachtung unterbrochen werden, der Blick muss die passende Zeile finden, und während des Lesens steht wiederum das Bild nicht zur Verfügung, um die verbalen Informationen zu veranschaulichen oder zu ergänzen. Die sinnesbezogene Aufmerksamkeit zugleich auf zwei Informationsquellen zu richten (bzw. die Aufmerksamkeit zwischen zwei informativen Sinneserfahrungen zu teilen) ist nur dann möglich, wenn die Texte zu den Bildern auditiv aufgenommen werden. Die hohe räumlich-zeitliche Kontiguität schlägt sich im sogenannten *Split Attention*-Effekt nieder (z.B. Chandler & Sweller, 1992, 1996; Huff, Bauhoff & Schwan, 2012; Moreno & Mayer, 1999): Zumindest unter Zeitrestriktion (Schmidt-Weigand, Kohnert & Glowalla, 2010) zeigen sich bessere Lernergebnissen für auditive verglichen mit visueller Textpräsentation.

Der zweite Engpass wird im Arbeitsgedächtnis verortet. Das Modell sieht vor, dass schriftlicher Text zunächst dieselbe Arbeitsgedächtniskomponente belastet wie Bilder, und dass auditive Textdarbietung von Anfang an eine weitere Speicherressource erschließt. Darin lassen sich die Aussagen begründen, dass bei der Verarbeitung schriftlicher Texte und Bilder die verfügbaren Ressourcen nicht optimal ausgeschöpft werden (z.B. Mousavi et al., 1995; Moreno & Mayer, 1999), bzw. dass die Wahrscheinlichkeit einer Kapazitätsüberlastung in diesem Fall größer ist als bei auditiver Textdarbietung (z.B. Tindall-Ford & Sweller, 2006; Mayer & Moreno, 1998). In jedem Fall folgt aus den Modellvorstellungen, dass die Erfolge beim Lernen mit Texten und Bildern größer sein sollten, wenn die verbale Information auditiv und nicht schriftlich präsentiert wird. Einschlä-

gige Evidenz in diesem Sinne stammt von Moreno und Mayer (1999), die zeigten, dass auditive Textdarbietung selbst bei sequentieller Darbietung von Text und Bild noch von Vorteil ist – wenn also die räumlich-zeitliche Kontiguität von verbaler und bildhafter Information für beide Textmodalitäten gleichermaßen reduziert ist. Da somit ein Nachteil bei der Verarbeitung schriftlicher Texte auf Ebene der Wahrnehmungsprozesse als Erklärung für die schlechteren Lernergebnisse nicht plausibel erschien, wurden die Ursachen in der Nutzung unterschiedlicher Arbeitsgedächtniskapazitäten gesehen.

Vor allem aufgrund dieses sogenannten Modalitätseffekts wird den Designern von Lehr-/Lernmaterialien empfohlen, Bilder grundsätzlich mit auditiven statt mit schriftlichen Texten zu ergänzen (Mayer, z.B. 2001). Mittlerweile legen andere Arbeiten (Rummer, Schweppe, Fürstenberg, Scheiter & Zindler, 2011; Rummer et al., 2010) Erklärungsansätze für den Modalitätseffekt nahe, die ohne die Annahme von Text-Bild-Interferenzen im Arbeitsgedächtnis auskommen, die pauschale Designempfehlung infrage stellen und diese weiter differenzieren (z.B. Kalyuga, 2012; Wong, Leahy, Marcus & Sweller, 2012). Dennoch hat die These, Schrift werde zunächst im visuellen Arbeitsgedächtnis verarbeitet, als zentrale Aussage der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens weiterhin Bestand.

3.2 Prämissen der Interferenzannahme

Den referierten Annahmen zur Arbeitsgedächtnisbelastung beim Lernen mit Texten und Bildern lässt sich entnehmen, dass Schrift im visuellen Arbeitsgedächtnis verarbeitet und aufrechterhalten wird, wie eben auch Bilder (s. Abb. 3-2; vgl. auch Schüler, Scheiter & van Genuchten, 2011). Unter diesen Umständen wären Interferenzen zwischen Repräsentationen bzw. strukturelle Überlastungen möglich. Doch bedeutet das Auftreten des Modalitätseffekts un-

weigerlich, dass Schrift im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist? Interferenzen im verbalen Arbeitsgedächtnis scheiden als Alternativerklärung aus: Würden Schrift und Bild einander die Ressourcen streitig machen, weil Bilder das verbale Arbeitsgedächtnis beanspruchen, sollten vergleichbare Belastungen bei der Verarbeitung visueller wie auditiver Texte mit Bildern entstehen. Dann aber könnte die Interferenzannahme den Modalitätseffekt nicht mehr erklären.

Oben wurde deutlich, warum der Nachteil für die schriftliche Modalität nicht allein damit erklärt werden kann, dass die Aufnahme von schriftlichem Text und Bild nicht gleichzeitig erfolgt. Es dürfte sonst keinen Modalitätseffekt bei sequentieller Präsentation geben. Wenn die Bilder allerdings auch verbalisiert würden, wären Interferenzen bei der Überführung bildhafter und schriftlicher Information ins verbale Arbeitsgedächtnis möglich. Die Übersetzung von Schrift in gesprochene Sprache geschieht bei gewöhnlichen Lesern allerdings schnell und spontan (z.B. Eiter & Inhoff, 2008; Lee, Rayner & Pollatsek, 1999; Seidenberg, Petersen, MacDonald & Plaut, 1996; van Attenveldt, Formisano, Goebel & Blomert, 2004). Also sollte zumindest bei Sequenzen, in denen die Text- der Bildpräsentation vorgeht, kein „Übersetzungsstau“ auf dem Weg ins verbale Arbeitsgedächtnis auftreten; ein Modalitätseffekt jedoch wird auch dann beobachtet (z.B. Moreno & Mayer, 1999, Exp. 2; Rummer et al., 2010, Exp. 2).

Hinzu kommt, dass es bei Texten, die aus mehr als einem oder zwei Sätzen bestehen, eher von Vorteil ist, die Informationen schriftlich vor sich haben, da die Stabilität dieses Präsentationsformats die Möglichkeit bietet, bei Bedarf wiederholt zu lesen (z.B. Kozma, 1991). Durch diesen „externen Informationsspeicher“ sollte die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Anforderungen der Sprachverarbeitung eher reduziert werden. Anders ausgedrückt sollte die Darbietung schriftlichen anstelle auditiven Textes die für die verbale Verar-

beitung zuständige Arbeitsgedächtniskomponente eher entlasten. Bei sequentieller Text-Bild-Präsentation kommen also weder Wahrnehmungsprozesse noch das verbale Arbeitsgedächtnis als Orte der Entstehung des Modalitätseffekts infrage. Im Rahmen der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens muss das visuelle Arbeitsgedächtnis demnach an der Verarbeitung und Aufrechterhaltung schriftlich vermittelter Sprache beteiligt sein.

Die in diesem Modell der multimedialen Informationsverarbeitung enthaltenen Vorstellungen zum Arbeitsgedächtnis werden explizit mit dem Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1986, 1992, 2000; Baddeley & Logie, 1999) in Verbindung gebracht (z.B. Tindall-Ford & Sweller, 2006; Mayer, 2001). Dabei unterscheiden sich die Auffassungen der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens in einem entscheidenden Punkt von denen des Multikomponentenmodells: Im letzteren ergibt sich die Zuständigkeit der Arbeitsgedächtniskomponenten nicht aus der Präsentationsmodalität, sondern daraus, ob die Information verbal oder bildhaft kodiert ist (vgl. z.B. Rummer et al., 2008). Die Vorstellungen zur Verarbeitung von Sprache und Bildern, die dem Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses zu entnehmen sind, werden im folgenden Kapitel ausführlich betrachtet.

4. Das Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses

Das Multikomponentenmodell entwickelte sich aus den von Waugh und Norman (1965) sowie Atkinson und Shiffrin (1968) vorgestellten Gedächtniskonzeptionen, die beide zwischen Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis unterscheiden. Atkinson und Shiffrin (1968; vgl. Abb. 4-1a) postulieren außerdem sensorische Speicher, in denen Information detailreich ist und den ganzen Sinneseindruck umfasst. In dieser Form kann die Information jedoch nicht willkürlich erhalten werden und ist daher nur einen kurzen Moment repräsentiert (z.B. Crowder, 1978; Crowder & Morton, 1969; Mackworth, 1963; Neisser, 1967; Sperling, 1960, 1963). Um die wahrgenommene Information aufrechterhalten und für Arbeitsgedächtnisprozesse nutzen zu können, muss sie in Langzeit-Repräsentationen überführt werden. Danach sind die Repräsentationen per Definitionem nicht mehr „sensorisch“ (Crowder & Morton, 1969, oder auch Frick, z.B. 1988, sprechen dann von kategorialer zw. kategorisierter Information). Diese Abgrenzung von sensorischen Speichern und Arbeitsgedächtnis wird im Multikomponentenmodell fortgeführt (z.B. Logie, 1995, 2011); sensorische Repräsentationen sind nicht Gegenstand von Arbeitsgedächtnisprozessen.

Atkinson und Shiffrin (1968) nahmen an, dass durch einen Prozess im Kurzzeitgedächtnis (das sie „*Auditory-Verbal-Linguistic Store*“ nannten) sensorische Repräsentationen in eine stabilere (verbale) Form rekodiert werden. Der akustisch-sensorische Nachhall beispielsweise, der es einem manchmal ermöglicht, eine Frage zu beantworten, die man nicht bewusst aufgenommen hat, ist vom Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis abzugrenzen, da er nicht der bewussten Wahrnehmung bedarf, um repräsentiert zu sein. Wenn Aufmerksamkeit auf diesen Repräsentationen liegt, kommen sie unter anderem mit den phonologischen Repräsentationen des Langzeitgedächtnisses in Kontakt und werden als

bekannte Laute identifiziert. Erst die dabei aktivierten Repräsentationen sind den Prozessen des Arbeitsgedächtnisses zugänglich. Insofern sind die Arbeitsgedächtnisrepräsentationen vom sensorischen Eindruck abstrahiert, selbst wenn dieser am Beginn der willkürlichen Verarbeitung steht.

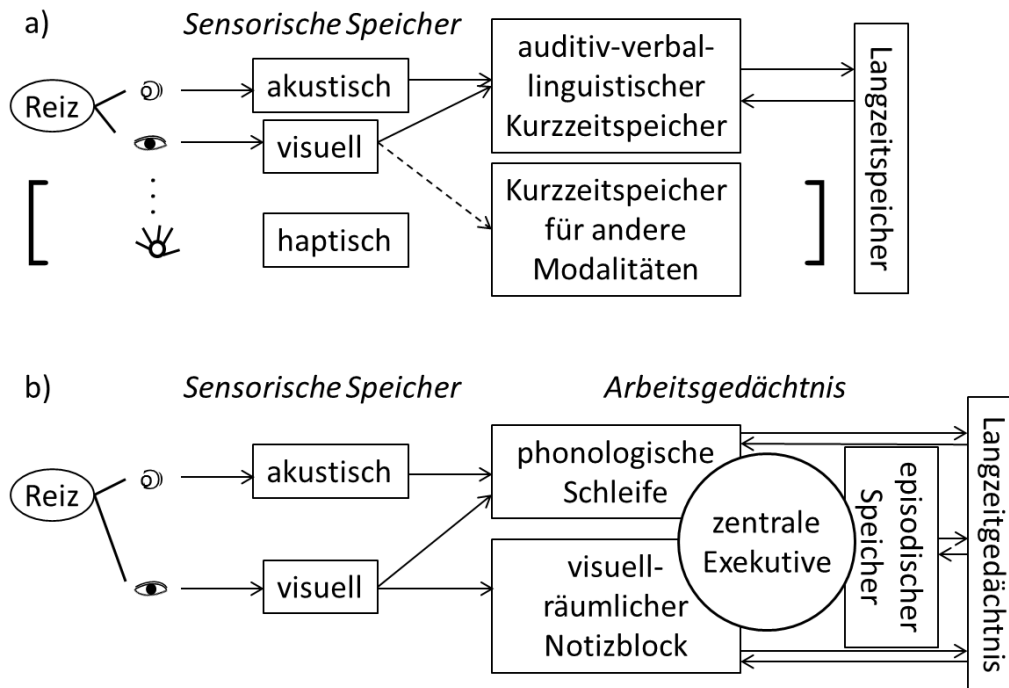


Abbildung 4-1. a) Gedächtnismodell nach Atkinson und Shiffrin (1968). Wenngleich die Autoren Kurzzeitspeicher auch für nonverbale Codes erwähnen, gehen sie im Fall von Buchstaben explizit davon aus, dass diese aus dem visuell-sensorischen Speicher in den auditiv-verbal-linguistischen Kurzzeitspeicher transferiert werden (dort z.B. S. 98). Information im Kurzzeitspeicher wird durch solche aus dem Langzeitspeicher ergänzt und umgekehrt. b) Im Rahmen des Multikomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley & Logie, 1999) werden eine Subkomponente für phonologische und eine für visuell-räumliche Repräsentationen näher beschrieben. Die Ergänzung dieser Repräsentationen durch Langzeitwissen geschieht im sog. episodischen Speicher (z.B. Baddeley, 2000), und die Steuerung der Verarbeitungsprozesse obliegt der zentralen Exekutive (z.B. Baddeley, 1986).

Mehr als im Konzept des Kurzzeitgedächtnisses (z.B. Atkinson & Shiffrin, 1968; Peterson, 1966), in dem die Aufrechterhaltung von Gedächtnisprä-

sentationen im Vordergrund steht, kommt im Arbeitsgedächtniskonzept Aufmerksamkeitsprozessen besondere Bedeutung zu (z.B. Jaeggi, 2005). Diese werden auch als Exekutivfunktionen bezeichnet und erfüllen Aufgaben wie Selektion und Wechsel des Verarbeitungsziels (*Shifting*), Unterdrückung aktuell unpassender Verarbeitungsfoki (*Inhibition*) und – besonders eng mit dem Arbeitsgedächtnis-Begriff verbunden – die dynamische Aktualisierung bzw. Überprüfung der Aktualität der fokussierten Repräsentationen (*Updating/Monitoring*) (vgl. Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter & Wager, 2000; bzgl. *Updating* insbesondere, s. Morris & Jones, 1990). Diese Prozesse erfordern Aufmerksamkeit, was bedeutet, dass sie willkürlich gesteuert werden und den Einschränkungen der Aufmerksamkeitskapazität unterliegen.

Im Multikomponentenmodell (vgl. Abb. 4-1b) ist die sogenannte zentrale Exekutive für die Steuerung der Prozesse zuständig. In jüngeren Versionen des Modells (z.B. Baddeley, 2000) ist der zentralen Exekutive eine weitere Komponente zur Seite gestellt, der episodische Speicher (*Episodic Buffer*). Dieser ermöglicht die Integration zusammengehöriger Informationen aus den verschiedenen Gedächtnissystemen, da er Kopien aller aktuell involvierten Kurz- und Langzeitrepräsentationen in sich vereinigen kann. Diesen zentralen Komponenten sind verschiedene Subkomponenten untergeordnet, welche ihrerseits auf bestimmte Arten von Information festgelegt sind (z.B. Baddeley, 2000; Logie, 2003): die phonologische Schleife (*Phonological Loop*) und der visuell-räumliche Notizblock (*Visuo-Spatial Sketch Pad*; bei Logie, 1995, und im Folgenden „visuelles Arbeitsgedächtnis“). Die Subkomponenten verfügen über jeweils eigene Kapazitäten zur kurzfristigen Aufrechterhaltung von Information (z.B. Jarrold, Baddeley & Hewes, 1999; Wang & Bellugi, 1994) und dienen auch der Konsolidierung neuen Langzeitwissens (z.B. Baddeley, 1992; Baddeley & Logie, 1999).

Das sensorische Gedächtnis wird entlang der Sinnesmodalitäten differenziert: Sensorische Repräsentationen lassen sich beispielsweise als visuell oder auditiv oder besser als akustisch beschreiben. Im Arbeitsgedächtnis dagegen werden unabhängige Komponenten für verbal und bildhaft kodierte Information nebeneinandergestellt (z.B. Logie, Zucco & Baddeley, 1990). Zimmer (2008) bezeichnet die sensorischen Speicher als modalitätsspezifisch, die Arbeitsgedächtnissubsysteme als domänenspezifisch. Für die vorliegende Arbeit ist die Unterscheidung zwischen einem verbalen und einem visuellen Subsystem kritisch, da Schrift als visueller und verbaler Reiz prinzipiell beiden Subsystemen zugeordnet werden könnte. Welche Arbeitsgedächtniskomponente die Aufrechterhaltung und Speicherung von Information leistet, folgt nicht automatisch aus der Sinnesmodalität, die bei ihrer Aufnahme angesprochen wurde (vgl. Abb. 4-1). Mackworth (1963, S. 62) etwa formuliert im Zusammenhang mit dem kurzfristigen Bildbehalten, es gebe „a direct representation of the visual situation, of brief duration, and [...] its translation into a more durable form, often verbal“. Die Annahme, der visuelle Reiz werde in ein verbales Format überführt, ist für visuell präsentierte Schriftzeichen besonders naheliegend. Hierzu finden sich explizite Aussagen in der Konzipierung der phonologischen (z.B. Baddeley, 1992, 2000) bzw. artikulatorischen (z.B. Baddeley, 1986) Schleife.

4.1 Die Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses

Die zentralen Aussagen zum Aufbau der phonologischen Schleife lauten knapp zusammengefasst wie folgt: Dieses Arbeitsgedächtnissubsystem setzt sich aus einer Speicherkomponente und einem Mechanismus zur aktiven Aufrechterhaltung der gespeicherten Repräsentationen zusammen (Baddeley, z.B. 1986). Die Speicherkomponente wird als phonologischer Speicher bezeichnet, da hierin Repräsentationen in einem phonologischen Format aufrechterhalten

werden. Die phonologischen Repräsentationen können etwa zwei Sekunden lang aus dem Speicher abgerufen werden. Um länger verfügbar zu sein, müssen sie reaktiviert bzw. wieder aufgefrischt werden. Dies geschieht in einem als Mechanismus konzipierten artikulatorischen Kontrollprozess, den man sich als „mentale Rede“ oder subvokales Sprechen (*Inner Speech*) vorstellen kann (z.B. Baddeley, 1992). Dieser dient nicht nur der Reaktivierung von Repräsentationen im phonologischen Speicher, sondern auch dazu, geschriebene Sprache überhaupt erst darin aufzunehmen: Schriftliche verbale Information muss erst subvokal artikuliert werden, um zu dem phonologischen Repräsentationsformat rekodiert zu werden, mit dem die phonologische Schleife operieren kann (vgl. Abb. 4-2).

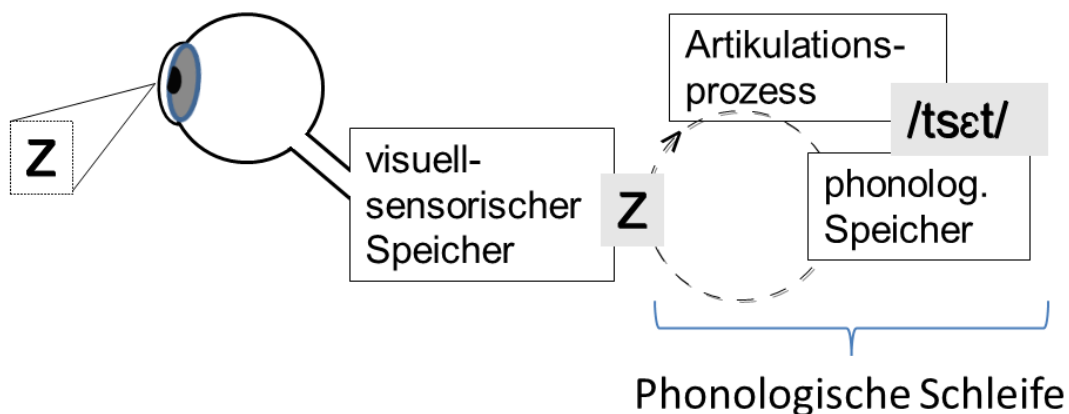


Abbildung 4-2. Veranschaulichung der phonologischen Rekodierung eines Buchstaben in seinen Namen durch subvokale Artikulation. Der Artikulationsprozess dient zugleich der Reaktivierung von Repräsentationen im phonologischen Speicher.

Das visuelle Arbeitsgedächtnis gleicht im Aufbau der phonologischen Schleife (z.B. Logie, 2011). Auch dieses Arbeitsgedächtnissubsystem besteht aus einer Speicherkomponente, dem visuellen *Cache*, und einem Mechanismus zur Reaktivierung der gespeicherten Information, der der aktiven Zuwendung von Aufmerksamkeit bedarf (*Inner Scribe*; z.B. Logie, 1995, 2003). Gemäß Logie (z.B. 2011) dient die Speicherkomponente der kurzfristigen Aufrechterhaltung

von einer (mit einem Blick erfassbaren oder imaginierten) Anordnung visueller Stimuli, der Reaktivierungsmechanismus dem kurzfristigen Behalten von Bewegungen. Obwohl visuelle und räumliche Informationen in der Welt, wie wir sie wahrnehmen, untrennbar miteinander verknüpft sind, legen zahlreiche Studien nahe, dass eine primär visuelle von einer räumlichen Teilkomponente zu unterscheiden ist (z.B. Logie, 2003; Logie & van der Meulen, 2009; s. aber Zimmer, 2010, der einen anderen Ansatz vorschlägt).

Das visuelle Arbeitsgedächtnis wird explizit von den sensorischen Gedächtniskomponenten abgegrenzt. Logie (2003, S. 42) schreibt dazu: „Working memory does not handle raw sensory patterns of edges, contours, shades, and textures directly from the environment. Rather, it deals with objects and shapes that have been identified by the processes of perception and that draw on our knowledge base of past experience.“ Demnach würden Aspekte des Langzeitwissens über einen bereits bekannten Reiz in die Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses transferiert. Auch neuartige Reize würden, wenn man der Logik folgt, anhand ihrer Bezüge und Ähnlichkeiten zu Altbekanntem aufrechterhalten. Die Muster des sensorischen Eingangssignals wären den Prozessen des Arbeitsgedächtnisses wahrscheinlich einfach nicht zugänglich. Um in dem entworfenen Bild zu bleiben: Es wäre nicht möglich, den sensorischen Eindruck in die Speicher des Arbeitsgedächtnisses zu überführen.

Buchstabenrepräsentationen sollte es in verschiedenen Bereichen des Langzeitgedächtnisses geben. Nicht nur, dass sie eine phonologische Übersetzung (den Buchstabennamen) nahelegen: Sie sind – auf alle Fälle bei studentischen Stichproben – auch als visuelle Einheiten vielfach überlernt und seit Jahren oder Jahrzehnten fest im Langzeitgedächtnis installiert. Sie sind vermutlich lexikalisiert, das heißt, sie sind als Verknüpfungen kleinerer und größerer be-

deutungstragender Elemente Teil des mentalen Lexikons. Soweit könnte man annehmen, dass Buchstabengestalten unter Rückgriff auf Langzeitrepräsentationen im visuellen Arbeitsgedächtnis verfügbar gehalten werden, die durch einen geeigneten Reiz aktiviert wurden. Auch theoretisch soll das visuelle Arbeitsgedächtnis die visuelle Gestalt von Buchstaben oder Wörtern repräsentieren können (z.B. Baddeley, 1986, zitiert nach Logie, 1995). Empirisch sind solche Gestalten im Arbeitsgedächtnis jedoch meist nicht nachzuweisen.

4.2 Repräsentationen im Multikomponenten-Arbeitsgedächtnis

Mit Blick auf die Fragestellung, ob schriftlich präsentierte Sprache im visuellen Arbeitsgedächtnis mit Bildern interferiert, scheint es vielversprechend, etwas darüber zu erfahren, was einerseits Repräsentationen von Schrift und andererseits Repräsentationen im visuellen Arbeitsgedächtnis auszeichnet. Arbeitsgedächtnisrepräsentationen sind nicht einfach zu definieren. „Hence, although we believe that the phonological loop uses much of the same system as is involved in speech perception and production, we would maintain that it represents a supplementary system that is specialized for the temporary maintenance of sound-based information [...]. We accept that this system is influenced by existing phonological knowledge, but suggest that it must be sufficiently independent of that knowledge so that it can represent novel experiences with minimal distortion.” (Baddeley & Logie, 1999, S. 49). Wie aus diesem sowie aus dem obigen Zitat von Logie (s. S. 48) hervorgeht, sind Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis nicht nur gegen sensorische Repräsentationen abzugrenzen, sondern auch nicht mit Langzeitrepräsentationen gleichzusetzen.

4.2.1 Repräsentationen in der phonologischen Schleife

Die phonologische Schleife nutzt ein phonologisches Repräsentationsformat, das heißt, die Repräsentationen sollten Eigenschaften aufweisen, in denen

sich die phonologischen Merkmale, die lautliche Form der jeweiligen Sprache wiederfinden. Im Sinne dieser Behauptung werden hier zwei Befunde herangezogen, der phonologische Ähnlichkeitseffekt und der Wortlängeneffekt, denen besondere Bedeutung bei der theoretischen Entwicklung des Multikomponentenmodells zukommt.

4.2.1.1 Einflüsse phonologischer Ähnlichkeit

In typischen Arbeitsgedächtnis-Experimenten der 60er/70er-Jahre wurden Listen von mehreren *Items* wie Buchstaben oder Wörter als Stimuli verwendet, die den Probanden häufig der Reihe nach gezeigt wurden. Die Probanden sollten die Liste danach auf ein Signal hin möglichst genau, auch in der richtigen Reihenfolge wiedergeben (*Serial Recall*). Der phonologische Ähnlichkeitseffekt tritt dabei zuverlässig auf (z.B. Baddeley, 1966; Conrad, 1964; Crowder, 1978; eine kritische Diskussion findet sich bei Gupta, Lipinski & Aktunc, 2005). Er besteht in besseren Wiedergabeleistungen für phonologisch abwechslungsreiche denn für ähnliche Listen (z.B. „M K D Z“: /ɛm/ - /ka/ - /de:/ - /tset/ vs. „D W C B“: /de:/ - /ve:/ - /tse:/ - /be:/). Die Entstehung dieses Unterschieds wird im phonologischen Speicher verortet (z.B. Baddeley, 1986; s. aber z.B. Crowder, 1978): Zwischen phonologisch ähnlichen *Items* kommt es aufgrund der geteilten phonologischen Merkmale eher zu Vertauschungen; anders formuliert ist der Anteil an Merkmalen gering, die eine Unterscheidung der Repräsentationen ermöglichen, so dass es an Information fehlt, die Vertauschungen verhindert.

Auch bei visuell präsentierten Listen wurde der Einfluss phonologischer Ähnlichkeit nachgewiesen (z.B. Conrad & Hull, 1964; Murray, 1965, 1967, 1968; Salamé & Baddeley, 1986; Wickelgren, 1965; für das Chinesische sowie weitere Referenzen s. Hu & Catts, 1993; Tan & Perfetti, 1998). Einflüsse der visuellen Ähnlichkeit, wenn sie überhaupt untersucht wurden, konnten mit seriellen

Wiedergabe-Paradigmen hingegen nicht nachgewiesen werden (z.B. Baddeley, 1966; Connor & Hoyer, 1976; Crowder, 1978; Levy, 1971). Der phonologische Ähnlichkeitseffekt mit schriftlichem Material tritt allerdings nur dann auf, wenn die phonologische Rekodierung in der artikulatorischen Schleife unbeeinträchtigt stattfinden kann:

Die artikulatorische Schleife ist blockiert bzw. in ihrer Funktion beeinträchtigt, wenn irgendetwas laut ausgesprochen wird. Um Verwirrungen aufgrund beispielsweise semantischer Repräsentationen zu verhindern, werden Silben oder Wörter ausgesprochen, die in keiner systematischen Beziehung zu den Materialien der Hauptaufgabe stehen, z.B. „eins zwei drei vier eins zwei...“ oder „bla bla bla...“. Diese Art, die phonologische Rekodierung zu behindern, bezeichnet man als artikulatorische Unterdrückung (z.B. Murray, 1967). Wenn diese während der Darbietungs- und der Wiedergabephase angewendet wird, tritt der phonologische Ähnlichkeitseffekt nach schriftlicher Darbietung nicht auf, wohl aber nach auditiver (z.B. Murray, 1968; Peterson & Johnson, 1971).

Im Rahmen des Multikomponentenmodells kann dieses Befundmuster stringent erklärt werden (z.B. Baddeley, Lewis & Vallar, 1984): Auditiv aufgenommene Information muss nicht erst rekodiert werden, sondern steht unvermittelt in einem Format zur Verfügung, das im phonologischen Speicher gehalten werden kann. Visuelle Information ist auf die Rekodierungsfunktion der phonologischen Schleife angewiesen. Ist diese blockiert, kann die Schrift nicht umgewandelt werden, wird nicht in den phonologischen Speicher aufgenommen und kann somit nicht aufgrund phonologischer Merkmale verwechselt werden.

4.2.1.2 Einflüsse der Wortlänge

Der Wortlängeneffekt äußert sich darin, dass in Wortbehaltensaufgaben mehr kurze als lange Wörter wiedergegeben werden können, und dies bei auditiver und bei visueller Darbietung. Er erwies sich in der Studie von Baddeley, Thomson und Buchanan (1975; auch Cowan, Wood & Borne, 1994) als Effekt der Artikulationsdauer. Bei gleicher Phonem- und Silbenzahl wurden weniger Wörter erinnert, deren Artikulation mehr Zeit in Anspruch nimmt, als solche, die rasch artikuliert werden können (z.B. *harpoon* gegenüber *hackle*). Entsprechend wurde die Entstehung des Wortlängeneffekts zunächst in der phonologischen Schleife lokalisiert: Wenn die Artikulation länger dauert, geht mehr Information aus dem passiven Speicher verloren, ehe sie wieder aufgefrischt werden kann.

Diese Erklärung wurde auf vielfältige Weise hinterfragt, und mittlerweile sind mehrere alternative Ansätze gut belegt. Dabei fokussiert die Kritik sowohl auf die Prozesse, welche dem Unterschied in den Leistungen zugrunde liegen, als auch auf die kritischen Eigenschaften der am Wortlängeneffekt beteiligten Repräsentationen. Alternativ zu subvokalen Artikulationsprozessen werden Verzögerungen bei der Wiedergabe der längeren verglichen zu den kürzeren Wörtern diskutiert (z.B. Cowan, Day, Sauls, Keller, Johnson & Flores, 1992; Cowan, Wood, Nugent & Treisman, 1997). Nicht die Dauer des Artikulationsprozesses während des Behaltensintervalls sei demnach entscheidend für den Informationsverlust, sondern der größere Zeitbedarf für längere Wörter in der Wiedergabephase. Baddeley, Chincotta, Stafford und Turk (2002) wiederum konnten Einflüsse des zeitintensiveren Artikulationsprozesses neben Einflüssen der verzögerten Wiedergabe beobachten. Weitere prozessbezogene Erklärungen für den Wortlängeneffekt sind retroaktive (z.B. Campoy, 2008) und proaktive Interferenz (z.B. Nairne, Neath & Serra, 1997): Erst wenn aufgrund mehrfacher

Aktivierung die Repräsentationen im Langzeitgedächtnis keine zuverlässige Basis mehr für die Differenzierung der Listen*items* bieten, kommt die Beschränkung der phonologischen Schleife zum Tragen.

Auch die Repräsentationen, die hinter dem Wortlängeneffekt vermutet werden, weisen wichtige Unterschiede auf. Lange Wörter umfassen mehr (z.B. phonologische) Merkmale und bieten somit mehr Stoff für wechselseitige Irritationen (vgl. Neath & Nairne, 1995; Service, 1998). Was die Art der am Wortlängeneffekt beteiligten Repräsentationen anbelangt, arbeiteten Caplan, Rochon und Waters (1992) als entscheidenden Faktor phonologische Komplexität anstelle der Artikulationsdauer heraus (s. auch Romani, McAlpine, Olson, Tsouknida & Martin, 2005). Jalbert, Neath, Bireta und Surprenant (2011; Jalbert, Neath & Surprenant, 2011) attribuieren den Vorteil, der gewöhnlich für kurze Wörter gefunden wird, auf die größere Anzahl orthographischer Nachbarn, das heißt, zu einem kurzen Wort existieren mehr Wörter mit einem hohen Anteil gemeinsamer Buchstaben als zu einem langen Wort. Dadurch erhalten kurze häufiger als lange Wörter Aktivierung aus der orthographischen Nachbarschaft. Weil deswegen ihre Grundaktivierung höher ist als die von langen Wörtern, seien sie länger als letztere abrufbar. Somit läge dem Wortlängeneffekt die höhere Grundaktivierung der kurzen Wörter im mentalen Lexikon anstelle von Prozessen in der artikulatorischen Schleife zugrunde. Coltheart, Mondy, Dux und Stephenson (2004) konnten orthographische und phonologische Komponenten des Wortlängeneffekts experimentell separieren und die Bedeutung jeder einzelnen belegen.

Entscheidend ist hier, dass fast alle Erklärungen für den Wortlängeneffekt die Interpretation zulassen, dass die Repräsentationen visuell dargebotener *Items* ebenso wie auditives Material die phonologischen Merkmale der Sprache reflektieren. Ob der Wortlängeneffekt im Zuge der inneren Artikulation oder auf

Grundlage von aus dem mentalen Lexikon generierten phonologischen Repräsentationen entsteht, ist in dieser Hinsicht nicht kritisch. Der Einfluss der orthographischen Wortlänge, also der Anzahl von Schriftzeichen, deutet bereits auf die Möglichkeit hin, dass trotz verfügbarer phonologischer Repräsentationen auch visuelle Merkmale verbaler Stimuli im Arbeitsgedächtnis vorhanden sind. Meist bleibt der Wortlängeneffekt bei visueller Präsentation unter artikulatorischer Unterdrückung aus (Baddeley et al. 1984; Besner & Davelaar, 1982; s. aber Baddeley et al. 1975). Dies ist wiederum verständlich, wenn man phonologische Eigenschaften hinter den Fehlern vermutet und annimmt, dass geschriebene Wörter nicht in ein phonologisches Format überführt werden können, wenn die artikulatorische Schleife blockiert ist.

4.3 Verbal = phonologisch?

Da sowohl gehörte als auch gelesene Sprache bzw. sprachliche Elemente wie Buchstaben dem Arbeitsgedächtnis in einem phonologischen Format zur Verfügung stehen, könnte man die phonologische Schleife mit einem verbalen Arbeitsgedächtnis gleichsetzen (was auch oft getan wird, z.B. in Baddeley & Hitch, 1994). Baddeley (1992) schreibt über die phonologische Schleife, sie speichere und reaktiviere sprachbasierte Information. Doch heißt das, dass sich Arbeitsgedächtnisprozesse, die Sprache zum Gegenstand haben, ausschließlich phonologischer Repräsentationen bedienen? Wenn es so einfach wäre, könnte an dieser Stelle die Ausgangsfrage nach Text-Bild-Interferenzen im visuellen Arbeitsgedächtnis mit Nein beantwortet werden. Dennoch, zunächst einmal sind die phonologischen Einflüsse stark, und es gibt auch jenseits der Arbeitsgedächtnisparadigmen Evidenz dafür, dass Schrift unwillkürlich phonologisch rekodiert wird (z.B. Frost, 1998; Lukatela & Turvey, 1994a, 1994b).

Lee et al. (1999) zum Beispiel zeigten, dass während des stillen Lesens sehr schnell phonologische Information extrahiert wird. Sie präsentierten ihren Probanden einfache Sätze und nutzten die sogenannte *Fast Priming*-Technik (vgl. Abb. 4-3), bei der an der Stelle eines bestimmten Wortes (*Target*) zunächst eine Maske („frtkw“) steht. Wenn der Blick des Lesers eine unmittelbar vor dem *Target* gelegene unsichtbare Grenze passiert, wird die Maske zunächst kurz (in diesem Fall 29, 32, 35, 38 oder 41 ms) durch einen *Prime* ersetzt. Erst dann wird das eigentliche *Target* lesbar. Erfasst wurde mittels *Eyetracker* die Verweildauer des Blickes (*Gaze Duration*) auf dem *Target*.

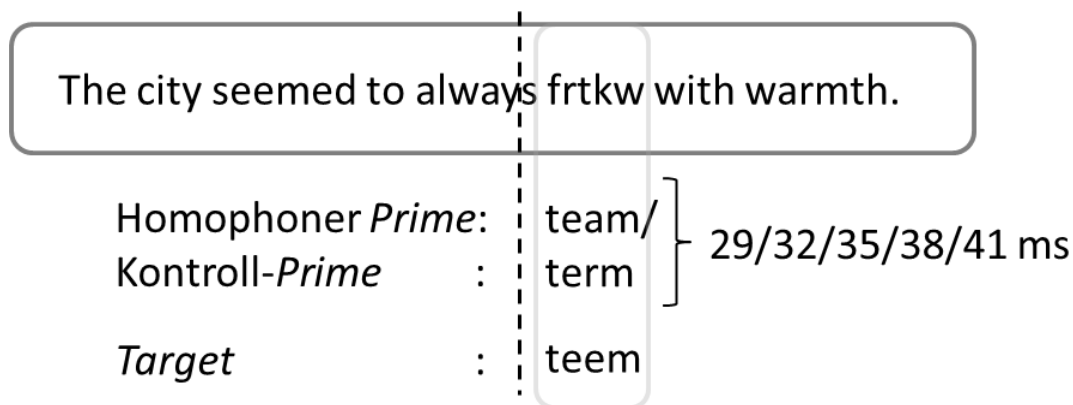


Abbildung 4-3. Schematische Darstellung der *Fast Priming*-Technik, wie Lee et al. (1999; der Beispielsatz ist S. 633 entnommen) sie in ihrer Studie verwendeten. Die gestrichelte Linie markiert die unsichtbare Grenze, die der Blick passieren musste, um die Präsentation zunächst des *Primes* und dann des *Targets* auszulösen. Die beiden *Primes* unterschieden sich bei vergleichbarer orthographischer Ähnlichkeit in ihrer phonologischen Ähnlichkeit zum *Target*.

Der *Prime* steht in einer bestimmten Ähnlichkeitsbeziehung zum *Target*, deren jeweiliger Einfluss auf die Betrachtungsdauer schließlich analysiert wird. Wenn der *Prime* das *Target* voraktiviert, sollte letzteres schneller erfasst werden. Die Aktivierung der phonologischen *Target*repräsentationen äußerte sich darin, dass die *Targets* (z.B. *teem*) nach homophonen (d.h. gleichlautenden)

Primes (z.B. *team*) kürzer betrachtet wurden als nach *Primes*, die orthographisch gleichermaßen ähnlich waren, aber phonologisch abwichen (z.B. *term*). Dieser Unterschied war bereits bei der kürzesten *Prime*-Darbietung (29 ms) signifikant, so dass zu diesem Zeitpunkt bereits phonologische Information aktiviert worden sein dürfte.

Inhoff, Connine, Eiter, Radach und Heller (2004) präsentierten ihren Probanden in einer Modifikation der *Fast Priming*-Technik bei Erreichen der unsichtbaren Grenze vor dem *Target* ein phonologisch identisches, ähnliches oder verschiedenes auditives Wort. Sie stellten fest, dass sich die *Target*-Lesezeiten in allen drei Bedingungen verlängerten. Darüber hinaus beobachteten sie, dass nur phonologisch ähnliche *Primes* die Lesezeiten für die Wörter nach dem *Target* verlängerten. Die Autoren folgerten, dass beim Lesen zwei unterschiedliche phonologische *Codes* aktiviert werden (s. hierzu Eiter & Inhoff, 2008, 2010): Der Abruf des zweiten (umfassenderen) phonologischen *Codes* sei etwas aufwändiger, so dass die Irritation dieses Prozesses durch phonologisch ähnliche auditive Wörter das Lesen über das *Target* hinaus beeinträchtigt. Damit könne man auch davon ausgehen, dass phonologische Repräsentationen noch nach der Wortidentifikation, also im Arbeitsgedächtnis verfügbar seien.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie schwer es ist, sich phonologischen Übersetzungen von Schrift zu widersetzen, ist der Stroop-Effekt: Es dauert länger und führt häufiger zu Fehlern, die Druckfarbe von dazu inkongruenten Farbwörtern zu benennen (z.B. auf den Reiz GRÜN hin „rot“ zu sagen), als Farbwörter zu lesen oder Farben zu benennen (z.B. Jensen & Rohwer, 1966). Aber auch bei der Verarbeitung von Bildern alltäglicher Objekte, die leicht zu benennen sind, zeigen sich phonologische Einflüsse (z.B. Bradimonte, Hitch & Bishop, 1992; Poirier, Saint-Aubin, Musselwhite, Mohanadas & Mahammed,

2007; Schiano & Watkins, 1981; Walker, Hitch, Dewhurst, Whiteley & Bradimonte, 1997; s. auch Miles, Morgan, Milner & Morris, 1996). Es scheint, als würde alles, was in Sprache überführt werden kann, tatsächlich in einem phonologischen Format verfügbar.

Man kann also mit einiger Bestimmtheit sagen, dass die Arbeitsgedächtnisrepräsentationen von Schrift phonologische Eigenschaften aufweisen, die der ursprünglich aufgenommene Reiz nie besaß. Doch wie ist es um die visuellen Eigenschaften bestellt, die den Reiz ausmachten? Die dominanten phonologischen Repräsentationen stehen im Verdacht, Einflüsse anderer Repräsentationen in Arbeitsgedächtnisaufgaben schlicht zu überdecken (z.B. Hintzman & Summers, 1973; Nickerson, 1976). In der Blickbewegungsstudie von Lee et al. (1999; vgl. S. 54f) wurde auch die Auswirkung orthographischer Ähnlichkeit des *Primes* zum *Target* auf die Betrachtungsdauer untersucht und zu allen *Prime*-Darbietungszeiten nachgewiesen (Coltheart & Coltheart, 1997, liefern weitere Argumente für die Bedeutung orthographischer Information bei der Wortidentifikation). Die Arbeiten zum Wortlängeneffekt, die diesen auf die Anzahl orthographischer Nachbarn attribuieren, verweisen auf die Relevanz orthographischer Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis. Tatsächlich gibt es im Rahmen des Multikomponentenmodells auch einzelne direkte Belege dafür, dass darin auch nicht-phonologische Repräsentationen von Schrift genutzt werden können.

4.4 Nicht-phonologische Repräsentationen von Schrift

Ein Grund dafür, genauer nach Beiträgen der visuellen Komponente zu verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben zu suchen liegt darin, dass nicht alle Leistungen in solchen Aufgaben dem verbalen Arbeitsgedächtnis zugesprochen werden können. Logie, Della Sala, Wynn und Baddeley (2000) führen folgende Argumente dafür auf, dass Sprache im Arbeitsgedächtnis nicht allein in phonologi-

scher Form repräsentiert sein kann: Erstens erinnern Patienten, die aufgrund einer neurologischen Schädigung nicht mehr in der Lage sind, phonologische Repräsentationen kurzfristig aufrechtzuerhalten, immer noch mehrere schriftlich präsentierte *Items*. Zweitens werden auch unter artikulatorischer Unterdrückung noch einige *Items* wiedergegeben. Da sich in der Wiedergabeleistung dann kein Effekt phonologischer Ähnlichkeit zeigt, sind die Repräsentationen, die diese Leistungen ermöglichen, wohl nicht phonologischer Art.

Die Autoren schlagen vor, dass visuelle Repräsentationen die Grundlage von Arbeitsgedächtnisleistungen sind, in denen keine phonologischen Einflüsse zutage treten. Auch Baddeley (2000) sieht die Möglichkeit als offenkundig an, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis in solchen Fällen die Aufrechterhaltung der Information übernimmt. Gemäß dem Gedanken, dass alle verfügbare Information im Arbeitsgedächtnis zum Gelingen der Aufgabe genutzt werden kann (Logie, 2011), wäre das visuelle Arbeitsgedächtnis zumindest im Hintergrund immer involviert, wenn Schrift aufrechterhalten und verarbeitet werden muss. Für die Existenz visueller Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis sprechen insbesondere Effekte der visuellen Ähnlichkeit in verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben. Man kann sie sich wie den phonologischen Ähnlichkeitseffekt vorstellen; es handelt sich um Beeinträchtigungen der Arbeitsgedächtnisleistung im Zusammenhang mit der visuellen Ähnlichkeit der *Items*.

Wolford und Hollingsworth (1974) fanden in der seriellen Wiedergabe einer Liste von Buchstaben deutlich mehr Verwechslungen von ähnlich gegenüber unterschiedlich geformten Buchstabengestalten. Sie präsentierten ihren Probanden die Buchstaben extrem kurz (15-25 ms), und man kann vermuten, dass die subvokale Artikulation nicht schnell genug funktionierte (z.B. Potter, Stiefbold & Moryadas, 1998; Rummer & Engelkamp, 2001; s. aber Coltheart, 1999),

um die Buchstaben während der Präsentation phonologisch zu rekodieren. Folglich könnten Verwechslungen, die bereits im visuell-sensorischen Speicher aufgetreten waren, mit übersetzt worden sein. Aufgrund dieser Studie ist daher nicht klar, ob die verwechselten Buchstabengestalten im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert waren, obwohl es sich bei der seriellen Listenwiedergabe um ein typisches Arbeitsgedächtnisparadigma handelt.

Weiterhin gibt es einige Studien, in denen chinesische (Yik, 1978) oder japanische (Saito et al., 2008) Schriftzeichen als Stimuli verwendet wurden. Bei diesen vermutet man wegen der ideographischen Aspekte der Schriftsysteme (wie Mandarin oder Kanji), dass sie eher als Bild repräsentiert sind und visuelle Einflüsse daher von größerer Bedeutung sind als in alphabetischen Orthographien. Yik (1978) präsentierte Listen von fünf Zeichen, von denen für jedes ein visuell ähnliches Pendant im *Item*-Set enthalten war. Bei der Wiedergabe der Listen kam es häufig zu Intrusionen des visuell ähnlichen Zeichens. Wie Lai (2007) anmerkt, ist nicht intuitiv verständlich, dass der Einfluss der visuellen Ähnlichkeit in der Studie von Yik (1978) für phonologisch unähnliche *Items* größer war als für phonologisch verwechselbare *Items*. Eigentlich wäre anzunehmen, dass man sich dann mehr auf visuelle Merkmale stützen muss, wenn die phonologischen Merkmale der Stimuli weniger eindeutig sind. Doch bleibt dies ein Hinweis auf einen visuellen Beitrag zum Behalten der Schriftzeichen.

Saito et al. (2008) konnten dank der Eigenschaften des Kanji die phonologische und die visuelle Ähnlichkeit der Zeichen unabhängig voneinander variieren. Sie präsentierten ihren Probanden Listen von je sechs Zeichen, die einander entweder phonologisch, visuell, phonologisch und visuell oder weder phonologisch noch visuell ähnlich waren. Auf diese Weise beobachteten sie eigenständige Effekte der visuellen Ähnlichkeit auf die Häufigkeit von Reihenfolgefeh-

lern. Sie schlagen vor, dass visuell basierte Repräsentationen die Aufrechterhaltung der Reihenfolge einer Liste unterstützen. Wie es möglich ist, dass verfügbare visuelle Repräsentationen nicht die Aufrechterhaltung der Gedächtnis-*items* selbst unterstützen, bleibt offen.

Mit alphabetischen Materialien konnten Logie et al. (2000) in ihrer Studie einen Einfluss visueller Ähnlichkeit nachweisen, der in Anbetracht der Dominanz phonologischer Repräsentationen im verbalen Arbeitsgedächtnis so nicht zu erwarten gewesen wäre. Im ersten Teil ihrer Studie (Exp. 1 & 2) verwendeten sie einsilbige Wörter, die sich reimten. Auf diese Weise schlossen sie phonologische Ähnlichkeit als Ursache für Unterschiede zwischen visuell ähnlichen und visuell unähnlichen Gedächtnislisten aus. Die ähnlichen Wörter hatten mindestens den letzten Buchstaben gemeinsam; das heißt, die visuellen Erscheinungen der Wörter decken sich zum Teil (z.B. DRY, CRY, FLY). Die unähnlichen Wörter waren visuell heterogen (z.B. SIGH, THAI, LIE). Eine Gedächtnisliste bestand aus zwei bis sechs entweder ähnlichen oder unähnlichen Wörtern. Die Teilnehmer durchliefen einen Experimentalblock mit artikulatorischer Unterdrückung und einen weiteren ohne Zusatzaufgabe. Sie waren instruiert, nach Erscheinen des Wortes „*RECALL*“ auf dem Bildschirm jede Liste handschriftlich in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben. Sowohl mit als auch ohne artikulatorische Unterdrückung wurden mehr visuell unähnliche als ähnliche Wörter korrekt wiedergegeben. Dem phonologischen Ähnlichkeitseffekt vergleichbar äußerte sich demnach die visuelle Distinktheit von Wörtern in besseren Arbeitsgedächtnisleistungen. Da dies auch ohne artikulatorische Unterdrückung eintrat, muss die visuelle Erscheinung der Wörter selbst dann repräsentiert sein, wenn das verbale Arbeitsgedächtnis uneingeschränkt nutzbar ist.

Im zweiten Teil ihrer Studie untersuchten Logie et al. (2000; Exp. 3 & 4) die Rolle visueller Information in verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben anhand von Buchstaben. Sie griffen bei der Konstruktion visuell ähnlicher und unähnlicher Buchstabenlisten auf die unterschiedliche Ähnlichkeit der visuellen Gestalten von Buchstabenvarianten zurück. Es wurden zwei Buchstaben-Sets zusammengestellt, die sich in der Ähnlichkeit ihrer beiden (groß- und kleingeschriebenen) Varianten maximal unterschieden. Zugleich wurden Unterschiede in der phonologischen Ähnlichkeit zwischen den Sets möglichst gering gehalten. Jede Liste umfasste vier Buchstaben desselben Sets; die Listen waren also homogen hinsichtlich der Variantenähnlichkeit ihrer *Items* (ein Bsp. für eine ähnliche Liste wäre C w Z K, vgl. Abb. 4-4; eine variantenunähnliche Liste wäre z.B. f L M q). Die Probanden mussten sich jede Liste einprägen und sie unter Berücksichtigung der Abfolge möglichst genau wiedergeben. Hinzu kam die Instruktion, dabei auch die Groß-/Kleinschreibung zu beachten.

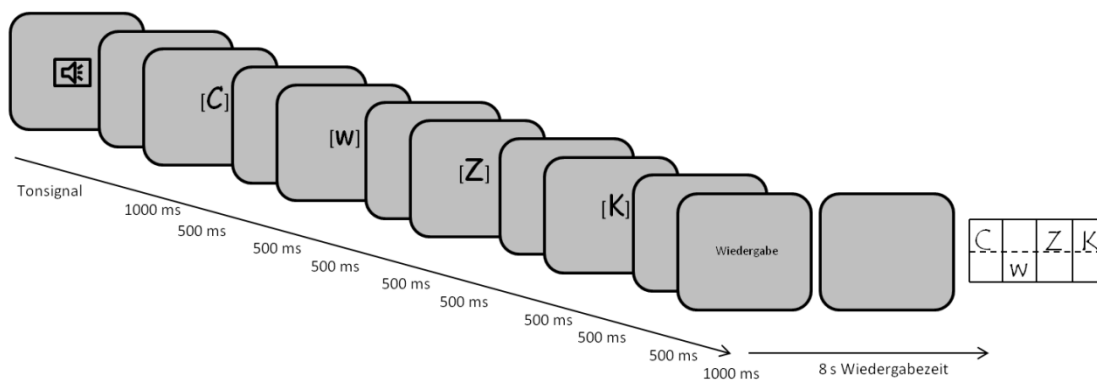


Abbildung 4-4. Graphische Darstellung des Ablaufs eines Experimentaldurchgangs entlang dem Zeitstrahl. Das Beispiel zeigt eine Liste von variantenähnlichen Buchstaben mit perfekter Wiedergabe. Die eckigen Klammern dienen der Differenzierung variantenähnlicher Groß- und Kleinbuchstaben.

Der Ablauf eines Experimentaldurchgangs ist beispielhaft in Abbildung 4-4 dargestellt. Jeder Teilnehmer durchlief einen Experimentalblock mit und

einen ohne artikulatorische Unterdrückung. Im Ergebnis zeigen sich deutlich mehr Fehler bei der Wiedergabe von Listen aus variantenähnlichen verglichen mit variantenunähnlichen Buchstaben. Auch dieser Effekt der visuellen Ähnlichkeit trat sowohl mit als auch ohne artikulatorische Unterdrückung auf. Obwohl die Leistungen in der Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung sehr gut waren, war der Einfluss der visuellen Ähnlichkeit stark genug, um einen signifikanten Unterschied zwischen den Listentypen zu evozieren.

Die Befunde von Logie et al. (2000) könnten belegen, dass Merkmale von alphabetischen Stimuli, die unter Rückgriff auf deren visuelle Erscheinung beschrieben werden können, im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sind. Dasselbe tun die Ergebnisse von Yik (1978) und (wenn auch mit der Einschränkung, dass sich dies nur in Reihenfolgefehlern zeigt) auch die von Saito et al. (2008) für teilweise ideographische Schriftzeichen. Da im Unterschied zu letzteren Buchstaben in ihrer visuellen Erscheinung nicht die Andeutung eines semantischen Konzepts kodieren, ist die Studie von Logie et al. (2000) in Hinblick auf die Ausgangsfragestellung besonders interessant. Die Autoren interpretierten die visuellen Ähnlichkeitseffekte als Hinweis auf eine generelle Beteiligung des visuellen Arbeitsgedächtnisses an verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben. Wie im Folgenden dargelegt wird, wirft es im Rahmen des Multikomponentenmodells konzeptionelle Probleme auf, dem visuellen Arbeitsgedächtnis die Aufrechterhaltung visueller Repräsentationen von Schriftzeichen zu unterstellen.

4.5 Repräsentationen im visuellen Arbeitsgedächtnis

Zur Untersuchung des visuellen Arbeitsgedächtnisses wird meist neuartiges Stimulusmaterial verwendet, um die Einflüsse phonologischer Repräsentationen so gering wie möglich zu halten. Für solches Material haben die Probanden keine Namen, anhand derer es im Arbeitsgedächtnis gehandhabt werden

könnte (vgl. auch Mate & Basqués, 2009; Phillips, 1974; Walker, Hitch & Duroe, 1993). Daher ist nicht erstaunlich, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis sich in vielen Studien ähnlich einem visuell-sensorischen Speicher darstellt. Ihm wird eine sehr geringe Kapazität von meistens einer bis höchstens drei Einheiten bescheinigt (Alvarez & Cavanagh, 2004; Brady, Konkle & Alvarez, 2011; Luck & Vogel, 1997; Phillips, 1974; Todd & Marois, 2004; vgl. auch Hartshorne, 2008). Olsson und Poom (2005, S. 8776) vertreten gar die Ansicht, die Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses sei nur unabhängig von Langzeitrepräsentationen zu erfassen: „[...] estimations of working memory capacity have been contaminated by long-term memory support.“

Häufig wird semantisch bedeutungsloses bildhaftes Material verwendet, zum Beispiel Muster oder Matrizen (wie in Abb. 4-5, S. 69; z.B. Broadbent & Broadbent, 1981; Phillips & Baddeley, 1971; Phillips & Christie, 1977a, 1977b) oder Schriftzeichen, die den Probanden unbekannt sind (z.B. Hue & Erickson, 1988). Seltener werden semantisch inhaltstragende Bilder eingesetzt. Was das Behalten von Bildern alltäglicher Objekte anbelangt, lassen sich visuelle Repräsentationen oftmals nur dann aufzeigen, wenn die phonologische Rekodierung unterbunden oder – bei kleinen Kindern – noch nicht automatisiert ist (z.B. Hitch, Halliday, Schaafstal & Schraagen, 1988; Hitch, Woodin & Baker, 1989; Walker, Hitch, Doyle & Porter, 1994; Longoni & Scalisi, 1994). Nur unter so speziellen Umständen werden ähnlich geformte Objekte wie ähnlich lautende Wörter im Arbeitsgedächtnis häufiger verwechselt als unähnliche. Poirier et al. (2007) allerdings konnten mit erwachsenen Probanden und ohne artikulatorische Unterdrückung Effekte der visuellen Ähnlichkeit von benennbaren Bildern im Arbeitsgedächtnis beobachten. Die Probanden sollten sich Listen von visuellen Stimuli (Matrizen oder Strichzeichnungen von Gesichtern), die mit Kunst-

wörtern assoziiert waren, in der richtigen Reihenfolge für einen Rekognitionstest merken. Die Ähnlichkeit der visuellen *Items* beeinträchtigte die Leistungen auch dann, wenn die Kunstwörter phonologisch leicht unterscheidbar waren.

Die Studie von Poirier et al. (2007) stellt eine einseitig phonologische Konzeption des Arbeitsgedächtnisses infrage. Doch bietet sie einen Anhaltspunkt bezüglich einer Beteiligung des visuellen Arbeitsgedächtnisses an verbalen Aufgaben? Mehr als Wörter, die manchmal onomatopoetische Hinweise zur rein sprachlichen Information ergänzen, sind Bilder über ihre sprachliche Entsprechung hinaus informativ: Man weiß nicht nur, dass es sich etwa um ein belebtes Objekt handelt, sondern man sieht es – die entsprechenden Erkennungsmerkmale sind im Bild dargestellt. Anders formuliert erinnert die Oberfläche von Wörtern im Gegensatz zur Oberfläche von Bildern nicht unmittelbar an das Referenzobjekt (vgl. Engelkamp & Zimmer, 1994). Die visuelle Oberfläche von Schrift kann im Gegensatz zu der von Bildern wenig zur Bewältigung der Gedächtnisanforderung beitragen. Aus der Verfügbarkeit visueller Bildrepräsentationen folgt also nicht unbedingt, dass auch Schrift visuell repräsentiert ist.

Die kapazitive Begrenzung auf sehr wenige visuelle Repräsentationen, die anhand neuartiger Materialien herausgearbeitet wurde, sollte auf vielfältig verinnerlichte Buchstabenrepräsentationen jedenfalls nicht zutreffen. Die von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) berichteten Befundmuster sind damit auch nicht in Einklang zu bringen. Die Anzahl der Listen-*Items* übersteigt die Möglichkeiten des visuellen Arbeitsgedächtnisses. Allenfalls entspräche es dieser Konzeption des Arbeitsgedächtnisses, wenn visuelle Einflüsse auf die letzte Listenposition beschränkt wären – sie wurden jedoch konstant über alle Listenpositionen hinweg beobachtet. In ihrer Interpretation griffen die Autoren diesen Punkt auf, indem sie spekulierten, das visuelle Arbeitsgedächtnis steuere eine Repräsentation

tion der „*Skyline*“, also des Auf- und Ab-Musters der Gesamtliste zu deren Behalten bei. Oberlängen (z.B. der aufragende Strich im d) und Unterlängen (z.B. die nach unten ausladende Schleife im g) sind für die Identifikation insbesondere kleingeschriebener Buchstaben wichtige Merkmale (vgl. Sanocki, 1991). Im Widerspruch zu dieser Hypothese wurden jedoch die Buchstaben mit dem geringeren Potential für abwechslungsreiche „*Skylines*“ besser wiedergegeben: Die Gruppe der variantenunähnlichen Buchstaben bietet weniger Auf und Ab als die Buchstaben des variantenähnlichen Sets. Drei der eingesetzten variantenverschiedenen Buchstaben (L/l, D/d und H/h bzw. B/b) weisen in ihrer kleinen Variante Oberlängen auf, während nur ein variantenähnlicher Buchstabe in beiden Varianten aufragt (K/k). Was Unterlängen angeht, bestand mit je einem Kleinbuchstaben mit Unterlänge im ersten der beiden Experimente kein Unterschied zwischen dem variantenverschiedenen (Q/q) und dem variantenähnlichen Set (P/p). Im zweiten Experiment gab es zwei Buchstaben mit Unterlänge im variantenverschiedenen Set (Q/q und G/g) und einen im variantenähnlichen Set (Y/y). Der Logik von Ähnlichkeitseffekten im Arbeitsgedächtnis folgend, sollten mehr Fehler in der Wiedergabe der variantenunähnlichen Listen auftreten, wenn die „*Skyline*“ die Grundlage der Variantenrekonstruktion ist. Eine Liste wie „W p z C“ sollte anhand ihrer „*Skyline*“ besser hinsichtlich der Buchstabenvarianten zu behalten sein als eine Liste wie „h D b L“. Die Ergebnisse der Experimente belegen das Gegenteil.

Abseits der primär den Arbeitsgedächtnisprozessen (und -Kapazitäten) gewidmeten Forschung wurden einige Aussagen über visuelle Repräsentationen vertrauter Objekte gemacht. So fand Kosslyn (1975) heraus, dass die in einer Imaginationsaufgabe aktivierten Repräsentationen Merkmale des visuell erfassbaren Bildes aufweisen: Er beobachtete beispielsweise, dass es länger dau-

ert anzugeben, ob eine imaginierte Ziege Beine (bzw. Handflächen) hat, wenn man sich diese neben einem Elefanten statt neben einer Fliege stehend vorstellte. Dies führte er darauf zurück, dass die Ziege relativ zum Elefanten kleiner ist als im Vergleich zur Fliege, so dass man erst in das Bild „hineinzoomen“ muss, um ihm die fraglichen Informationen zu entnehmen. Insofern können imaginierte Bilder als zur Außenwelt analog gelten. Im Einklang damit kommt Penney (1989) in ihrer umfassenden Überblicksarbeit zu dem Schluss, dass visuelle Kurzzeit-Repräsentationen eine räumliche Ordnung abbilden, auditive Reize dagegen temporal organisiert sind. Theoretisch wäre es zwar möglich, dass letzteres auch auf Schrift zutrifft. Dem Leseprozess käme das eher nicht entgegen, da beispielsweise die Relationen zwischen den Wörtern eines Satzes eher in ihrer zeitlichen Abfolge als in ihrer räumlichen Anordnung enthalten sind (z.B. stehen in „Zu den Seiten der als Kulturerbe geschützten Allee lagen leuchtend gelbe Rapsfelder“ „leuchtend“ und „gelb“ räumlich so weit wie möglich voneinander entfernt, obwohl sie natürlich zusammengehören). Auch andere Aspekte visuell vermittelter Information, hinsichtlich derer sich die Repräsentationen von Schrift(zeichen) zu ihren Entsprechungen in der Außenwelt analog verhalten könnten, werden im Verarbeitungsprozess nicht berücksichtigt (etwa die Größe der Buchstaben oder ihre Lage im Raum, vgl. Kap. 11).

Tatler, Gilchrist und Rusted (2003) geben einen Einblick in die Forschung zur Repräsentation komplexer visueller Szenen. Sie zeigen, dass aus komplexen Bildern über einen Zeitraum von Sekunden immer mehr Informationen extrahiert und in ein abstraktes Format überführt werden. Anders als der konkrete visuelle Eindruck sind diese extrahierten Informationen im visuellen System relativ stabil verfügbar. Solche extrahierten visuellen Informationen oder die imaginierten Bilder bekannter Tiere (Kosslyn, 1975) sind eher als neu-

artige Stimuli mit den Repräsentationen der vertrauten Schriftzeichen vergleichbar. Allerdings konstatieren Baddeley und Logie (1999, S. 50): „[...] the visual and the spatial components of working memory do not seem to be synonymous with the imagery system.“ Die kurzfristige Aufrechterhaltung visuell-räumlicher Information sei nicht immer notwendig zur Imagination. Dies ist wohl so zu verstehen, dass langfristig angelegte Repräsentationen – somit auch die für Buchstaben – nicht vom visuellen Arbeitsgedächtnis Gebrauch machen.

Zusammenfassend kann man die Charakteristika des visuellen Arbeitsgedächtnisses nicht in den auf Buchstaben bezogenen Gedächtnisleistungen ausmachen, und man kann praktisch nichts über die Eigenschaften von Langzeitrepräsentationen im visuellen Arbeitsgedächtnis sagen. Es scheint sogar theoretische Willkür zu entscheiden, ob Langzeitrepräsentationen überhaupt dem visuellen Arbeitsgedächtnis zugeordnet werden können. So ist fraglich, auf welcher Grundlage sich bestimmen lässt, ob es das visuelle Arbeitsgedächtnis ist, welches die Aufrechterhaltung von Buchstabenrepräsentationen leistet, für welche ein durchschnittlicher Leser gewiss Langzeitrepräsentationen besitzt.

4.6 Interferenzen von verbaler und bildhafter Information

Aufgrund der Forschung zum visuellen Arbeitsgedächtnis liegt es nicht nahe, dass Schriftzeichen darin repräsentiert sind; ausgeschlossen ist es nicht. Im Rahmen der Forschung zum Multikomponentenmodell finden sich auch Studien, die ganz direkt prüfen, ob verbale und bildhafte Information sich bei ihrer Verarbeitung wechselseitig stören. Im Doppelaufgabenparadigma wird eine hauptsächlich interessierende Aufgabe jeweils mit unterschiedlichen Zweitaufgaben kombiniert. Die Leistungseinbußen in der Hauptaufgabe werden als Maß für den störenden Einfluss der jeweiligen Zweitaufgabe gewertet, wobei grundsätzlich angenommen wird, dass die Störung durch Gemeinsamkeiten von

Haupt- und Zweitaufgabe verursacht wird. Wie stark die Zweit- mit der Hauptaufgabe interferiert, ist also ein Indikator für die Ähnlichkeit beider Aufgaben. Wenn Schrift in der visuellen Komponente gespeichert und verarbeitet würde wie Bilder, dann sollte es mit Leistungseinbußen einhergehen, gleichzeitig eine Aufgabe mit schriftlicher und eine mit bildhafter Information zu erledigen.

Zahlreiche Doppelaufgaben-Untersuchungen belegen, dass eine verbale und eine visuelle Aufgabe weit besser gleichzeitig handhabbar sind als zwei verbale oder zwei visuelle Aufgaben (z.B. Baddeley & Hitch, 1974; Cocchini et al., 2002; Fougne & Marois, 2006; s. aber Cowan & Morey, 2007). Logie et al. (1990) beispielsweise zeigten, dass das Behalten von Mustern aus gefüllten und leeren Quadraten besonders durch visuelle Imagination (gedankliches Ausfüllen der Felder einer imaginierten Matrix gemäß einer Instruktion) gestört wurde. Kopfrechnen mit auditiv präsentierten Zahlen dagegen hatte nur einen geringen Einfluss auf das Behalten des Musters. Es war also besser möglich, gleichzeitig ein bestimmtes Muster zu behalten, wenn zugleich auditive Zahlen verarbeitet wurden, als wenn zugleich visuelle Matrizen imaginiert werden mussten. Die Stärke des Einflusses durch dieselben Zweitaufgaben drehte sich genau um, wenn als Hauptaufgabe nicht Muster, sondern Listen visuell präsentierter Buchstaben behalten werden mussten. Die Leistungen bei der Wiedergabe einer Buchstabenliste waren also besser, wenn zugleich ein visuelles Muster imaginiert wurde, als wenn zugleich auditive Zahlen zu verarbeiten waren. Daraus schlossen Logie et al. (1990), dass Buchstaben sich im Arbeitsgedächtnis eine Ressource mit Zahlen (zumindest zum Zweck des Kopfrechnens) teilen, während die Kapazität für Zahlen und Buchstaben weitestgehend unabhängig von derjenigen ist, welche semantisch gehaltlose visuelle Information verfügbar hält.

Eine andere Studie verglich die wechselseitige Beeinträchtigung von Bildern und schriftlichem Text einerseits sowie auditivem Text andererseits direkt. Rummer, Schweppe, Fürstenberg, Seufert und Brünken (2010, Exp. 1; vgl. Abb. 4-5) präsentierten ihren Probanden in jedem Durchgang erst verbale, dann bildhafte Information. Die verbale Information war ein entweder auditiv oder visuell dargebotener Satz; die bildhafte Information bestand in schwarz/weißen Quadraten, wobei die visuelle Arbeitsgedächtnisbelastung über deren Anzahl variiert war. Entweder wurde ein einziges Quadrat präsentiert, oder ein Muster von schwarzen und weißen Feldern, die in einer 5 x 5-Matrix angeordnet waren.

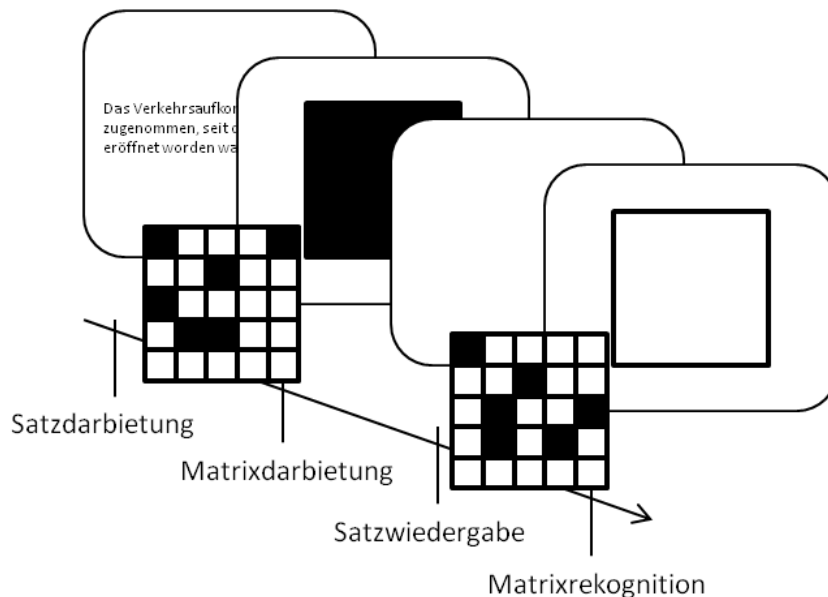


Abbildung 4-5. Schematische Darstellung des Ablaufs eines Experimentaldurchgangs in Rummer et al. (2010, Exp. 1). Die Satz-wiedergabe erfolgte mündlich. Beide Schweregrade der Matrixerkennitionsaufgabe sind exemplarisch veranschaulicht; die Antwort wäre jeweils „Nein“.

Die Aufgabe der Probanden der Studie von Rummer et al. (2010) bestand darin, zunächst die verbale Information wiederzugeben und anschließend anzugeben, ob eine zweite Matrix mit der ersten identisch war oder nicht. Sowohl Satzmodalität als auch Bildkomplexität wurden zwischen Probanden variiert.

Bezüglich der wörtlichen Satz wiedergabe fanden die Autoren einen Haupteffekt für die Darbietungsmodalität; ein auditiv präsentierter Satz wurde vollständiger wiedergegeben als ein visuell präsentiert Satz. Bezogen auf die Bildrekognitionsdaten zeigte sich ein Haupteffekt für die Bildkomplexität mit schlechteren Leistungen bei komplexen Matrizen. Es war jedoch keine Interaktion von Satzmodalität und Bildkomplexität zu beobachten; die Wiedergabe visuell präsentierter Sätze gelang in der Bedingung mit komplexen Matrizen ebenso gut wie in der mit einfachen Matrizen.

Die Annahme, bei der Aufrechterhaltung schriftlicher Information werde derselbe Arbeitsgedächtnisspeicher belastet wie bei der visuell-bildhafter Information, müsste aufgrund der Studien mit dem Doppelaufgabenparadigma abgewiesen werden. Mindestens zwei Einwände stehen einer eindeutigen Entscheidung im Weg: Erstens wurden in den genannten Studien Matrizen statt richtiger Bilder verwendet. Es mag argumentiert werden, dass hierfür gar nicht das visuelle Arbeitsgedächtnis, sondern eine für die Verarbeitung räumlicher Information zuständige Komponente belastet wird (vgl. Logie, z.B. 2003; Smith, Jonides, Koeppel, Awh, Schumacher & Minoshima, 1995). Zweitens ist das Ausbleiben von Interferenzen kein zwingendes Argument dagegen, dass Schrift und Bilder dieselbe kognitive Ressource brauchen. Die Stärke der Interferenzen wird schließlich immer nur relativ zu anderen Interferenzen betrachtet. Es ist denkbar, dass in den verwendeten Aufgaben die Gemeinsamkeiten von Schrift- und Bildrepräsentationen verglichen mit den Gemeinsamkeiten der kognitiven Prozesse zu vernachlässigen, aber nichtsdestoweniger vorhanden sind (einen ähnlichen Gedanken äußert Logie, 2011).

Im nächsten Kapitel wird eine alternative Konzeption des Arbeitsgedächtnisses vorgestellt, die weder von einer strikten Trennung von sensori-

schem, Arbeits- und Langzeitgedächtnis, noch von einer Untergliederung des Arbeitsgedächtnisses in eigenständige Komponenten ausgeht. Ein solches unitäres Arbeitsgedächtnismodell eröffnet eine andere Perspektive auf die Frage, ob Schrift im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist.

5. Arbeitsgedächtnis als Fokussierung verarbeitungsrelevanter Repräsentationen

Jüngere theoretische Ansätze der Arbeitsgedächtnisforschung hinterfragen den Sinn und die Angemessenheit der Abgrenzung verschiedener Gedächtnissysteme auf einer repräsentationalen beziehungsweise strukturellen Ebene. Nach Cowan (z.B. 1999, 2001) ist Arbeitsgedächtnis nichts anderes als das in einem gegebenen Moment aktivierte Langzeitgedächtnis. Aber auch sensorische Information ist in diesem Arbeitsgedächtnismodell potentiell relevant, was Cowan (1999, S. 67) mit den Vorstellungen des Multikomponentenmodells kontrastiert: „...those investigators [Anm.: u.a. Baddeley & Logie, 1999] stress abstract codes such as the phonological code [...]. I emphasize the importance of these codes also, but I may place more emphasis on codes available only for a specific modality of input. One must consider all available codes to understand how items are preserved in working memory”.

5.1 Struktur des unitären Arbeitsgedächtnisses

Da gemäß eines solchen Modells keine nach Inhalt (Domäne) oder Modalität getrennten Komponenten anzunehmen sind, geht es nicht um die Anordnung von und die Beziehungen zwischen verschiedenen Teilstrukturen. Stattdessen geht es um Zustände von Repräsentationen, in die sie dadurch versetzt werden, dass sie Gegenstand von Arbeitsgedächtnisprozessen sind (Engelkamp & Zimmer, 1994, bezeichnen derartige Theorien im Gegensatz zu strukturellen Theorien als funktional). Da sensorisches-, Arbeits- und Langzeitgedächtnis nicht mit unterschiedlichen Komponenten gleichgesetzt werden, wird das Modell als unitär bezeichnet. Es ist in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

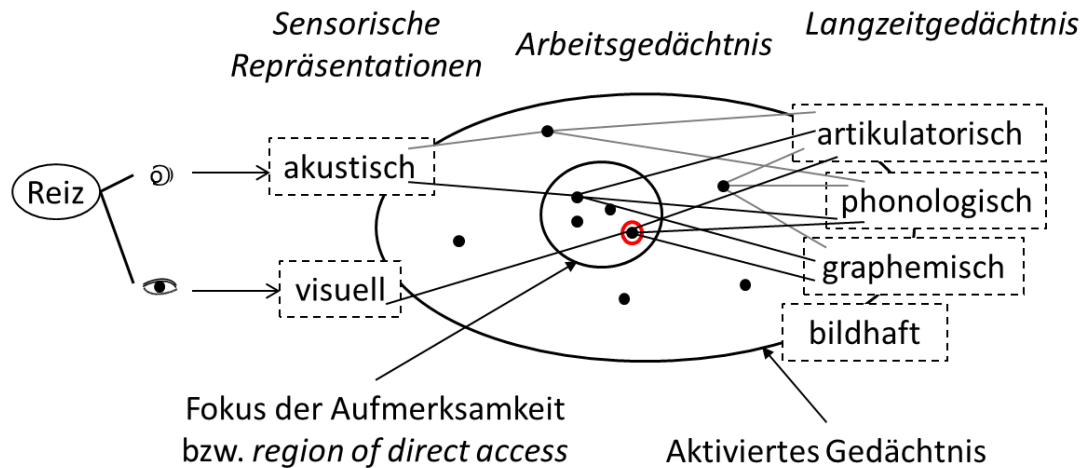


Abbildung 5. Veranschaulichung der Grundidee des unitären Arbeitsgedächtnismodells. Exemplarisch ist dargestellt, dass im Arbeitsgedächtnis Einheiten aufrechterhalten und manipuliert werden, die sensorische Eindrücke und Langzeitrepräsentationen beinhalten können. Der äußere Kreis symbolisiert das aktivierte Gedächtnis, der innere den Fokus der Aufmerksamkeit (Cowan, 1999) oder *Region of Direct Access* (Oberauer, 2002). Rot hervorgehoben ist die aktuell fokussierte Repräsentation, die Oberauer (2006) als Fokus der Aufmerksamkeit definiert. Die Repräsentationsarten sind als Beispiele zu verstehen.

In diesem Modell definiert ein Prozess (willkürlicher) Aufmerksamkeitszuwendung, was im Arbeitsgedächtnis ist. Anders ausgedrückt ist Arbeitsgedächtnis als der Prozess definiert, in dem durch Aufmerksamkeitszuwendung bestimmte Repräsentationen für willkürliche kognitive Operationen verfügbar werden.¹ Information, die aktuell benötigt wird, gelangt in den Fokus der Aufmerksamkeit, was einem Zustand besonders hoher Aktivierung entspricht. Dieser Fokus ist in seiner Kapazität eng begrenzt: Cowan (2001) schlägt eine Kapazität von ungefähr vier *Chunks*, also zu Einheiten gebündelte Informationen vor. So

¹ Interessanterweise werden auch die Strukturen in Arbeitsgedächtnisaufgaben genutzt, die mit produktiven Prozessen in Zusammenhang stehen. Acheson, Hamidi, Binder und Postle (2011) zeigten, dass am verbalen Arbeitsgedächtnis insbesondere die für die Sprachproduktion maßgeblichen Strukturen beteiligt sind. Diesen Befund allerdings auf das visuelle Arbeitsgedächtnis zu übertragen und die motorischen Repräsentationen der Schriftproduktion als Basis für Arbeitsgedächtnisrepräsentationen von schriftlichem Text anzunehmen, ist sicher nicht ohne Weiteres möglich.

könnte man den Fokus der Aufmerksamkeit doch wieder als vier Einheiten umfassenden – modalitäts- und domänenübergreifenden – Speicher betrachten.

Oberauer (2002) konzipiert den Fokus der Aufmerksamkeit weniger als Speicher, sondern als die Repräsentation, die in einem Augenblick bearbeitet wird. Er beziffert die Menge an fokussierbaren Informationseinheiten auf eins (z.B. Oberauer, 2006; Oberauer & Bialkova, 2009). Den Fokus der Aufmerksamkeit, den Cowan (z.B. 1999, 2001) beschreibt, bezeichnet Oberauer (z.B. 2002) als *Region of Direct Access* und meint damit den Anteil aktivierter Langzeitrepräsentationen, die dem Fokus der Aufmerksamkeit aufgrund ihres ebenfalls sehr hohen Aktivationsniveaus unmittelbar zur Verfügung stehen. Zum Arbeitsgedächtnis zählt außerdem eine Anzahl von Repräsentationen mit erhöhtem Aktivationsniveau, das aktivierte Gedächtnis (*Activated Memory*). Es handelt sich um Repräsentationen, die rasch fokussiert werden können (z.B. Cowan, 1999; Oberauer, 2002), im gegebenen Moment aber nicht Gegenstand der Arbeitsgedächtnisoperation sind.

5.2 Repräsentationen im unitären Arbeitsgedächtnismodell

Eingangs wurde erwähnt, dass Arbeitsgedächtnisprozesse aktivierte Teile des Langzeitgedächtnisses zur Grundlage haben, und dass dazu auch Merkmale der jeweiligen Reizmodalität gehören können. Cowans (1999) Aussage, im unitären Modell werden nicht nur abstrakte Repräsentationsformate berücksichtigt, ist so zu verstehen, dass auch Spuren der sensorischen Verarbeitung Teil der aktivierten Repräsentationen sein können. Folgendes Zitat von Cowan (1999, S. 67) verdeutlicht, dass selbst die aktivierten Repräsentationen, die nicht im Fokus stehen, jede Information beinhalten können, die im Zuge der Verarbeitung und im Langzeitgedächtnis miteinander assoziiert sind: „The concept of ‘activated memory’ subsumes activation that is sensory and abstract and

that is based on any modality and any form of representation". Die fokussierte (bzw. dem Fokus unmittelbar verfügbare) Information sei allerdings besonders umfassend repräsentiert. Cowan (1999, S. 65) formuliert: „...the sets of features of items entering the focus of attention are activated more completely than the sets corresponding to items out of the focus“. Die hier hervorgehobenen Modellannahmen sind ebenfalls in Abbildung 5 veranschaulicht.

Wichtig ist für die vorliegende Arbeit, dass diesen Vorstellungen gemäß statt mehrerer Komponenten mit jeweils eigenen Kapazitäten eine zentrale Ressource alle Arten von Repräsentationen für willkürliche kognitive Prozesse verfügbar macht. Es würde demnach auch keinen Zugewinn an Kapazität bedeuten, bildhafte und verbale Information zu kombinieren. Die oben aufgeführten Evidenzen mit dem Doppelaufgabenparadigma lassen sich in diesem Modell damit erklären, dass die relativ höhere Ähnlichkeit einerseits bildhafter und andererseits verbaler Repräsentationen auf Merkmalsebene einen größeren Informationsverlust aufgrund von Interferenzen bedingt. Die Repräsentationen haben auch kein speziell für das Arbeitsgedächtnis geeignetes Format, sondern es können alle Informationen dazugehören, die im Langzeitgedächtnis assoziativ zusammenhängen, oder die durch aktuelle sensorische Aufnahme präsent sind. Wie bereits erwähnt, kann jeder bei der Informationsverarbeitung wahrgenommene Aspekt eines Reizes zu dessen Langzeitrepräsentation beitragen. Ähnlichkeiten zwischen Repräsentationen und damit das Potential für Interferenzen können auf jeder geteilten Stufe der Informationsverarbeitung bestehen.

Im Einklang mit den Modellvorstellungen wurde mit den Methoden der kognitiven Neuropsychologie gezeigt, dass Arbeits- und Langzeitgedächtnis auf denselben neuronalen Strukturen basieren, in denen auch der Wahrnehmungsprozess selbst stattfindet (z.B. Postle, 2006; einen Überblick gibt Zimmer, z.B.

2008). Das könnte bedeuten, dass das Arbeitsgedächtnis auf jegliche im Zuge der Wahrnehmung aktivierte Repräsentation zurückgreifen kann. Das Repräsentationsformat ist nicht über den Status der Repräsentation als dem Arbeitsgedächtnis zugehörig bestimmt, sondern entspricht dem Format der neuronalen Struktur, welche die für die Aufgabe erforderliche Information abbildet. Bislang scheint theoretisch keine Verarbeitungsstufe als Grenze definiert zu sein, von der an die Repräsentationen nicht mehr im Arbeitsgedächtnis genutzt werden können. Ricker und Cowan (2010) allerdings zeigten, dass unvertraute visuelle Stimuli deutlich schneller vergessen werden als Buchstaben, also anders als letztere nicht bzw. weniger vollständig durch Aufmerksamkeitszuwendung reaktiviert werden können.

5.3 Interferenzen von Schrift und Bild?

Da in diesem Modell Interferenzen auf der Ebene der Repräsentationen und der darin enthaltenen Merkmale (nicht in Speicherressourcen) stattfinden, ist in Hinblick auf die Ausgangsfragestellung entscheidend, ob es Repräsentationsebenen gibt, welche sowohl Schrift als auch Bilder kodieren. Wenn alle an der Verarbeitung beteiligten Repräsentationen in Arbeitsgedächtnisaufgaben genutzt werden können und es von Schrift und Bildern geteilte Repräsentationen gibt, dann sind Interferenzen von Schrift und Bildern wahrscheinlich. Folgt man dem Verarbeitungsweg, den Buchstaben auf neuronaler Ebene durchlaufen, wird klar, dass es früh im Verarbeitungsprozess durchaus Überschneidungen mit den Strukturen gibt, welche Bilder verarbeiten. Allerdings gibt es im Gehirn auch Bereiche, die auf die Verarbeitung von Schrift spezialisiert sind. Wenn jedwede an der Verarbeitung beteiligte Repräsentation prinzipiell (als Aspekt eines *Chunks*) im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein kann, könnte bei gleichzeitiger Verarbeitung von Schrift und Bildern Information aus diesen ge-

meinsam genutzten neuronalen Strukturen verloren gehen. Die zur Schrift und die zum Bild gehörigen Repräsentationsanteile könnten sich gegenseitig überschreiben oder sich vermischen, so dass sie nicht mehr klar dieser oder jener Repräsentation zuzuordnen wären.

Neurowissenschaftliche Studien deuten darauf hin, dass es geteilte und getrennte Abschnitte im Verarbeitungsweg verschiedener Arten visueller Stimuli gibt. Sie sind höchst interessant mit Blick auf die Frage, ob und auf welcher Repräsentationsebene Interferenzen beim Lernen mit Texten und Bildern zu erwarten sind. Im folgenden Kapitel wird daher die visuelle Verarbeitung insbesondere von Buchstaben aus neurologischer Sicht gesondert betrachtet.

6. Die neuronale Verarbeitung von Schrift

Da sowohl Buchstaben als auch Bilder den Sehsinn ansprechen, sind an ihrer Aufnahme dieselben modalitätsspezifischen neuronalen Bahnen beteiligt. Soweit diese beiden Arten von Stimuli den Verarbeitungsweg teilen, könnte es zu wechselseitiger Störung der darin repräsentierten Merkmale kommen. Mit dem Ziel, eine versuchsweise Einschätzung dieser Möglichkeit vorzunehmen, wird im Folgenden skizziert, welche neuronalen Strukturen unabhängig von der Domänenzugehörigkeit (verbal/bildhaft) an der Verarbeitung visueller Reize beteiligt sind, und wann sich die neuronalen Pfade je nach Domäne trennen. Die Positionen der zentralen neuronalen Strukturen sowie die Begriffe zur Beschreibung ihrer Lage im Gehirn sind in Abbildung 6-1 schematisch dargestellt.

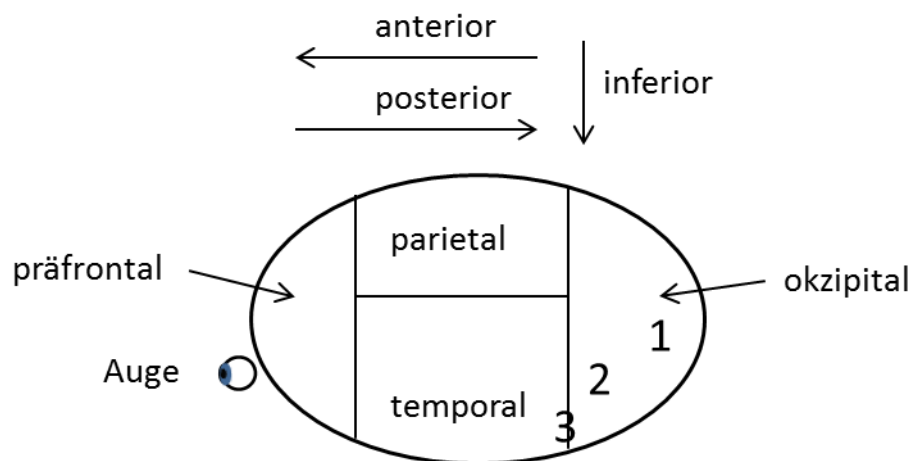


Abbildung 6-1. Zur Orientierung ein Blick von außen auf die linke Seite des Gehirns: Die Begriffe zur Position der in diesem Kapitel zentralen Areale. 1 primärer visueller Cortex; 2 Areal V4; 3 (linkshemisphärisch) Wortformenareal.

6.1 Die frühen Stadien der visuellen Verarbeitung

Am Anfang der Verarbeitung jedes visuellen Reizes und auch eines Buchstabens wird die Netzhaut (Retina) des Auges stimuliert. Die Fotorezeptoren der Retina reagieren auf Lichtreize. Sie liegen in der Fovea, am Ort des

schärfsten Sehens, dicht an dicht. Nur der foveale Bereich der Retina ist geeignet, um zu lesen (z.B. Rayner, 1998; Rayner & Bertera, 1979). Laterale Hemmung hebt die Unterschiede zwischen den mehr oder weniger durch Licht aktivierten Zellen hervor: An den Rändern eines visuellen Reizes (oder anderen kontrastreichen Übergängen) senken die umliegenden Zellen ihre Feuerrate, während die erregten Zellen selbst ihre steigern (vgl. Pinel, 1997). Dadurch werden Kontraste maximiert, so dass auch schmale Kanten, Ecken, Linien etc. klar auszumachen sind. Die Retinazellen sind durch den Sehnerv, dessen zur Nase hin gelegene Fasern im Chiasma Opticum in die jeweils andere Hirnhemisphäre wechseln zunächst mit einer Schaltstelle im Thalamus, das Corpus Geniculatum Laterale verbunden. Von dort verlaufen die Fasern weiter zum posterioren Hinterhauptlappen, dem primären visuellen Cortex, der auch als primäre Sehrinde bezeichnet wird. Die Rezeptoren der Fovea werden auf dem Weg in den Cortex kaum zusammengefasst, wodurch dort ein hochaufgelöstes Muster aus Signalen ankommt, von denen jedes einen sehr kleinen Bereich des Gesichtsfelds abbildet. Dieses foveale Signalmuster nimmt in der primären Sehrinde einen überproportional großen Raum ein (s. Pinel, 1997).

Das visuelle System ist bis einschließlich zur primären Sehrinde nachweislich retinotop organisiert (z.B. Fox, Miezin, Allman, van Essen & Raichle, 1987; Hubel & Wiesel, 1962), danach wahrscheinlich nicht mehr (s. aber Rauschecker, Bowen, Parvizi & Wandell, 2012). Retinotopie bedeutet, dass das räumliche Muster der durch den physikalischen Reiz stimulierten Retinazellen in der Anordnung der im Folgenden aktivierten kortikalen Neurone erhalten bleibt; im kortikalen Aktivationsmuster bildet sich das retinale Aktivationsmuster ab. Insofern ist zumindest in der primären Sehrinde noch eine sehr konkrete, wahrnehmungsnahe Repräsentation des Reizes vorhanden.

Im primären visuellen Cortex reagieren einzelne Zellen auf hoch spezifische Muster, die in der ursprünglichen retinalen Aktivierung abgebildet sind. Seit den Arbeiten von Hubel und Wiesel (z.B. 1959; Gilbert & Wiesel, 1990; vgl. auch Goldstein, 1997) ist bekannt, dass einzelne Zellen beispielsweise ausschließlich auf einen Reiz ansprechen, der sich als kurzer Strich bzw. Lichtstreifen mit einer ganz bestimmten Neigung beschreiben lässt. Je nach präferierter Neigung sind die Zellen im primären visuellen Cortex in säulenartigen Strukturen (sog. Orientierungssäulen) angeordnet (z.B. Grinvald, Lieke, Frostig, Gilbert & Wiesel, 1986). Die vertikal zur Cortexoberfläche übereinander liegenden Neurone der verschiedenen Zellschichten reagieren auf Reizungen (also Streifen gleicher Neigung) derselben Stelle des Gesichtsfelds. Die horizontal zur Cortexoberfläche nebeneinander liegenden Neurone sprechen auf Reize in jeweils benachbarten Flecken des Gesichtsfeldes an; gelangt man in eine benachbarte Orientierungssäule, verschiebt sich auch der Neigungswinkel, den die Zellen bevorzugen (vgl. Pinel, 1997).

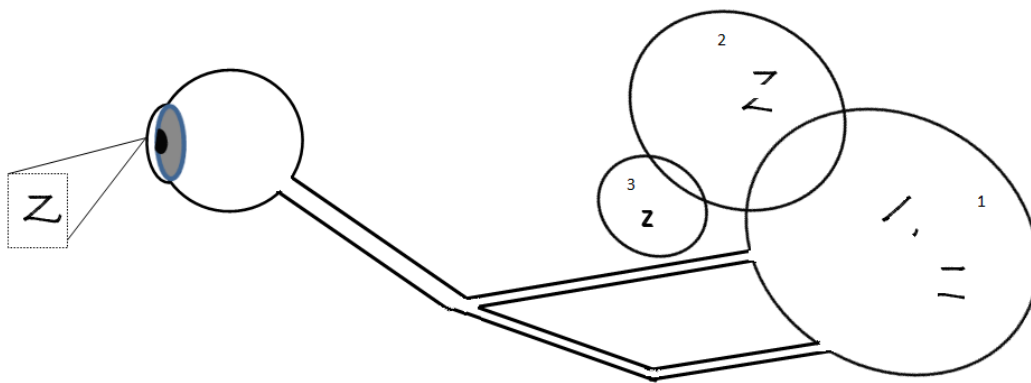


Abbildung 6-2. Veranschaulichung der angenommenen neuronalen Verarbeitungsstadien von Buchstaben (1) im primären visuellen Cortex, (2) im extrastriären Cortex und (3) nahe dem Wortformanareal im inferotemporalen Cortex am Beispiel eines Z.

In diesem Stadium der Verarbeitung ist also jeder visuelle Reiz ein retinotop geordnetes Muster von über die Säulen der Sehrinde verteilten Streifen mit spezifischer Neigung. Buchstaben sind in den meisten und gebräuchlichsten Schriftarten frei von jeglicher anderer Information; sie bestehen aus einer in Länge und Neigung zueinander speziell angeordneten Strichen. Aber auch Unterschiede zwischen Schriftarten (z.B. *z* - B) lassen sich auf dieser Ebene beschreiben. Abbildung 6-2 veranschaulicht die Annahmen über die Stadien der neuronalen Buchstabenverarbeitung.

6.2 Die extrastriäre visuelle Verarbeitung

Jenseits der primären Sehrinde, im extrastriären visuellen Cortex, reagieren die Zellen spezifisch auf zunehmend komplexe Reize. Dieser Bereich wird als Assoziationscortex bezeichnet, da hier vermutlich die im primären visuellen Cortex fragmentierten Merkmale des Reizes zu komplexeren Mustern verknüpft werden. Bereits im sekundären visuellen Cortex sind die Zellen entlang von Reizmerkmalen organisiert, die sich grob den Kategorien „Was (ist zu sehen)“ und „Wo (ist es zu sehen)“ zuordnen lassen. „Was“-Aspekte wie die Form oder Farbe von Objekten sind im weiteren Verlauf als Teil einer ventralen Bahn zum inferotemporalen Cortex repräsentiert; Information zum „Wo“, also räumliche Position und Bewegung, ist in einer dorsalen Bahn zum medioparietalen Cortex repräsentiert (vgl. Goldstein, 1997; Zimmer, 2008). Im Areal V4, dem temporal-ventralen Bereich des Okzipitallappens, reagieren die Zellen bereits sensibler auf die relative Position verschiedener Merkmale einer Kontur zueinander als auf ihre absolute Position auf der Retina (vgl. Roe, Chelazzi, Connor, Conway, Fujita, Gallant, Lu & Vanduffel, 2012).

6.2.1 Schriftspezifische Verarbeitung

Der ventralen „Was“-Bahn zugehörig, konnte man Regionen lokalisieren, deren Hauptfunktion in der Verarbeitung speziell von Schrift besteht. Diese sind im posterioren inferioren Temporalcortex bzw. an einem Spalt zwischen Hinterhaupt- und Temporallappen (fusiformer Gyrus) gelegen. Besonders häufig ist eine Region mit dem Namen „Region der visuellen Wortformen“ beschrieben worden (*Visual Word Form Area*; z.B. Cohen, Dehaene, Naccache, Lehéricy, Dehaene-Lambertz, Hénaff & Michel, 2000; Cohen, Lehéricy, Chochon, Lemer, Rivaud & Dehaene, 2002; Dehaene & Cohen, 2011; Fiebach, Rissmann & D’Esposito, 2006; Rauschecker et al., 2012; s. aber Price & Devlin, 2003). Bei der Region der visuellen Wortformen oder kürzer, dem Wortformenareal, handelt es sich um ein in der fusiformen Region der linken Hirnhemisphäre gelegenes Areal, also direkt anterior des visuellen Cortex. Hier zeigt sich mittels bildgebender Verfahren Aktivität, wenn schriftlich präsentierte Wörter verarbeitet werden. Die Aktivierung ist weniger stark ausgeprägt, wenn zwei Mal hintereinander dasselbe Wort präsentiert wird, selbst wenn das eine Mal groß- und das andere Mal kleingeschrieben war (Dehaene, Jobert, Naccache, Ciuciu, Poline, Le Bihan & Cohen, 2004). Dies galt sowohl für variantenähnliche als auch für – unähnliche Wörter (z.B. COUP – coup vs. RAGE – rage). Das heißt, es findet trotz der unterschiedlichen Wortgestalten eine Gewöhnung statt und wird als Hinweis darauf gewertet, dass die Repräsentationen des Wortformenareals vom sensorischen Eindruck abstrahieren.

Die Frage, ob das Wortformenareal nicht doch auch durch nicht-sprachliche visuelle Stimuli aktiviert wird, wird aktuell diskutiert. Einen Überblick zum gegenwärtigen Forschungsstand geben Szwed, Dehaene, Kleinschmidt, Eger, Valabrègue, Amadon und Cohen (2011). Diese Autoren kommen

zu dem Schluss, dass diese Gehirnregion auf Wörter spezialisiert ist und dass sogar weiter posterior gelegene, im Verarbeitungsprozess früher aktivierte neuronale Strukturen bevorzugt auf Wörter sowie Stimuli, die Wörter sein könnten, reagieren. Ein kleines Areal, das anterior und lateral zum Wortformenareal gelegen ist, reagiert spezifisch auf einzelne Buchstaben, nicht jedoch auf Symbole wie „≈“ (Flowers, Jones, Noble, VanMeter, Zeffiro, Wood & Eden, 2004), und auch nicht auf Buchstabenketten (James, James, Jobard, Wong & Gauthier, 2005). Diese Region dürfte an einer Aufgabe mit serieller Buchstabenpräsentation wie der von Logie et al. (2000) beteiligt sein. Hier scheinen Buchstaben auf neuronal-struktureller Ebene klar von bildhafter Information unterschieden zu werden. Ob diese Neurone jedoch auch in zwei verschiedenen Varianten denselben Buchstaben erkennen, ist meines Wissens noch unerforscht. Ob also der Variantenähnlichkeitseffekt möglicherweise auf Interferenzen zwischen Aktivationsmustern (bzw. Verwechslungen von Repräsentationen) in diesem Areal zurückgeht, ist ungewiss.

6.2.2 Vor den Wortformen

Die schriftspezifische neuronale Verarbeitung findet also zu wichtigen Teilen bevorzugt in der linken Hirnhemisphäre statt. Doch auch die rechte Hemisphäre scheint an der Verarbeitung von Schrift nicht unbeteiligt. Patienten mit rechtshemisphärischen Gehirnschädigungen hatten größere Schwierigkeiten damit, unvollständig abgebildete Buchstaben zu erkennen als Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen. Es wurden Defizite bei der Erkennung von unscharf abgebildeten Buchstaben beobachtet (Warrington & James, 1967). Warrington (1982) stellte die Vermutung an, dass die geschädigte neuronale Struktur die Kategorisierung von Perzepten (in dem Fall als Buchstaben) leistet. Demnach wäre die rechte Hemisphäre an einer bedeutsamen Operation zum

Erkennen von Buchstaben beteiligt, welche das exakte Strichmuster der primären Sehrinde zumindest teilweise mit Erfahrungswerten überformt (s. auch Chialant & Caramazza, 1998; Löw, Bentin, Rockstroh, Silberman, Gomolla, Cohen & Elbert, 2003).

Cohen et al. (2000) verglichen zwei Patienten mit einer Läsion des posterioren Teil des Corpus Callosum (der Struktur aus Nervenfasern, der die beiden Gehirnhälften miteinander verbindet) mit gesunden Kontrollpersonen. Sie berichten, dass Wörter (und Pseudowörter), die nur dem linken Gesichtsfeld präsentiert und somit in die rechte Gehirnhälfte projiziert werden, bei allen Teilnehmern Aktivität im rechten okzipito-temporalen Cortex auslösten (ein Bereich, den die Autoren als das Areal V4 identifizierten). Bei den Kontrollpersonen setzte sich die Aktivierung danach in die Region der visuellen Wortformen fort, bei den Patienten wegen der geschädigten Verbindung zwischen den Hirnhälften jedoch nicht. Auf Ebene der Verhaltensdaten entsprachen dem längere Latenzen und teilweise sehr hohe Fehlerraten.

Es scheint möglich, dass Repräsentationen im Areal V4 (evtl. in beiden Hemisphären) bereits insofern domänenspezifisch sind, als hier eine Verknüpfung der sensorischen Repräsentationen mit (domänenspezifischem) Langzeitwissen stattfindet. Dieser Vorgang würde gewissermaßen den anschließenden Verarbeitungsweg hin zu Arealen mit entsprechender Spezialisierung (wie dem Wortformenareal) bahnen. Der Gedanke wird durch Roe et al. (2012, S. 24) gestützt, die in ihrer Überblicksarbeit zum Areal V4 vorschlagen, „that the unifying function of V4 circuitry is to enable selective extraction, whether it be by bottom-up feature-specified shape or by attentionally driven spatial or feature-defined selection.”

6.3 Interferenzen von Schrift und Bild?

Der Verarbeitungsweg von Buchstaben wurde skizziert, um eine Aussage über die gemeinsamen Repräsentationen von Schrift und Bildern zu treffen. Besonders interessant ist hier die Frage, ob die visuellen Ähnlichkeitseffekte von Logie et al. (2000) auf solche geteilten Repräsentationen zurückzuführen sein könnten. Buchstaben und Bilder werden bis einschließlich zum primären visuellen Cortex vom kognitiven System nicht unterschieden. Wenn die Aktivierungen dieser Repräsentationen für die Aufrechterhaltung der Wörter oder Buchstaben im Arbeitsgedächtnis genutzt würden, wäre die Aufnahme weiterer visueller Stimuli irritierend. Und da immer dasselbe kleine retinale Feld die Aufnahme der Schrift leistet, sollte unter dieser Voraussetzung bei der Verarbeitung einer seriell präsentierten Gedächtnisliste jedes folgende *Item* das Aktivationsmuster seines Vorgängers stören: Nur im Bereich der Fovea werden Buchstaben erkannt, und die Probanden der Studie von Logie et al. (2000) richteten ihren Blick wahrscheinlich so auf den Bildschirm, dass sie jeden Stimulus mit diesem Bereich des schärfsten Sehens erfassen konnten. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass es zu Überschneidungen in den durch die verschiedenen Buchstaben angesprochenen retinalen Zellen und somit auch in deren Projektionen im primären visuellen Cortex kam. Da somit unabhängig von der Variantenähnlichkeit die frühen visuellen Repräsentationen bei der Wiedergabe nur noch verwischt zu bekommen sein dürften, wäre der Unterschiede zwischen visuell ähnlichen und unähnlichen *Items* nicht unter Rückgriff auf die gemeinsam genutzten Strukturen des primären visuellen Cortex' zu erklären.

Spätestens am Spalt zwischen Okzipital- und Temporallappen scheinen sich die Verarbeitungswege von Schrift und Bild trennen. Eben dort, neben dem Wortformenareal entlang der ventralen Bahn, wurden Areale beschrieben, in

denen Neurone selektiv auf bestimmte Objektkategorien reagieren (ein Überblick sowie eine Diskussion dieser Befunde findet sich bei Op de Beeck, Haushofer & Kanwisher, 2008). Diese fortgeschrittenen Repräsentationsstadien sind offenbar hochgradig spezifisch; ähnliche Reize aktivieren im Vergleich mit unähnlichen relativ dicht beieinander liegende Neurone. Es liegt nahe zu vermuten, dass dann auch Interferenzen zwischen den jeweiligen Merkmalen unähnlicher Stimuli (z.B. Zeichnungen und Buchstaben) eher unwahrscheinlich sind.

Doch welche der eingeführten Repräsentationsstadien sind im Arbeitsgedächtnis relevant? Fiebach et al. (2006) konnten zeigen, dass das Wortformenareal auch bei der Bearbeitung verbaler Arbeitsgedächtnisaufgaben aktiv ist. Anders ausgedrückt scheinen die Repräsentationen der visuellen Wortformen in verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben genutzt zu werden. Ob allerdings diese Repräsentationen die Merkmale des Wahrnehmungsereignisses beinhalten, ist nicht eindeutig festzustellen. Es wurde berichtet, dass sie von den Varianten der Buchstaben eines Wortes abstrahieren (Dehaene et al., 2004), so dass sie als Grundlage des Variantenähnlichkeitseffekts nicht infrage kämen. Zugleich ist möglich, dass der kleine Bereich, der auf einzelne Buchstaben insbesondere anspricht, in dieser Hinsicht anders funktioniert.

Doch müssen ohnehin die Wortformrepräsentationen nicht die „frühesten“ sein, die dem Arbeitsgedächtnis zugänglich sind. Vielleicht können, wenn die Aufgabe das erfordert, auch Repräsentationen willkürlich aufrechterhalten und manipuliert werden, deren Aktivierung der des Wortformenareals vorangeht. Die Verknüpfungen vom visuellen Cortex zum Wortformenareal können sicher auch in die andere Richtung genutzt werden (etwa beim Identifikationsvorgang). Dann wäre es möglich, vom Wortformenareal aus beispielsweise die kürzlich aktivierten Neurone im Areal V4 zu reaktivieren. Es ist nicht ausge-

geschlossen, dass diese bereits auf Schrift spezialisiert sind, aber es scheint auf keinen Fall so zu sein, dass hier bereits eine räumliche Trennung von verschiedenen Kategorien von Stimuli vorliegt (vgl. Roe et al., 2012).

Es ist also auch aus neurowissenschaftlicher Perspektive nicht auszumachen, ob Merkmale der Groß-/Kleinschreibung (geschweige denn der Schriftart) in schriftspezifischen oder in allgemein visuellen Repräsentationen kodiert sind. Doch unabhängig davon sind sie früh im Verarbeitungsprozess repräsentiert und sollten zumindest auf die Buchstabenidentifikation Einfluss nehmen. Das würde auf Grundlage eines unitären Arbeitsgedächtnismodells bedeuten, dass diese Informationsarten prinzipiell auch der willkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung zugänglich wären. Im folgenden Kapitel sind experimentelle und klinische Evidenzen dafür zusammengestellt, dass im Zuge der Verarbeitung sowohl varianten- und schriftartspezifische Repräsentationen als auch abstrakte Buchstabenrepräsentationen verfügbar und relevant sind.

7. Repräsentationen von Schrift

Als sie den Grundstein für die These legten, Schrifttext interferiere im Arbeitsgedächtnis mehr als Hörtext mit Bildern, verwiesen Mousavi et al. (1995) auf Studien, die darauf hindeuten, dass es für die Verarbeitung auditiven und visuellen sprachlichen Materials separate „Kanäle“ gibt. Diese Perspektive verweist eigentlich nicht auf Interferenzen von schriftlichen Texten und Bildern, sondern betont Kapazitätserweiterungen bei der gleichzeitigen Aufnahme von Hörtexten und Bildern. Die Autoren führen drei Befunde auf, die die Annahme zweier Kanäle für die Verarbeitung von visuellem und auditivem Material belegen. Erstens wird die Verarbeitung visuell präsentierter Wörter weniger als die Verarbeitung auditiv präsentierter Wörter durch einen gleichzeitig dargebotenen auditiven Text gestört (Allport, Antonis & Reynolds, 1972). Zweitens interferiert die Verarbeitung visueller Beschreibungen komplexer Szenen mehr mit dem Versuch, diese zu imaginieren, als dieselbe Beschreibung zu hören (Brooks, 1967). Drittens können zwei Gedächtnislisten besser wiedergegeben werden, wenn die eine visuell und die andere auditiv dargeboten wurde, als wenn beide auditiv oder beide visuell waren (Frick, 1984).

Auf den ersten Blick scheinen diese Befunde den in Kapitel 4.6 referierten zu widersprechen, wird ihnen zufolge schließlich bei der Verarbeitung von Schrift eine andere Ressource genutzt als bei der Verarbeitung von auditiver Sprache. Dem ist zu entgegen, dass die von Mousavi et al. (1995) genannten Muster auf Abläufe bei der Wahrnehmung attribuiert werden können, so dass es sich nicht um Gedächtnisrepräsentationen handeln muss. In der Studie von Allport et al. (1972) könnte es zu akustischen Konfusionen gekommen sein, als gleichzeitig auditiv präsentierte Texte und auditiv präsentierte Wörter aufgenommen werden mussten. In der von Brooks (1967) verwendeten Aufgabe könn-

ten die Blickbewegungen beim Lesen der mentalen Entwicklung eines räumlichen Modells der Szene im Weg gestanden haben (vgl. Eddy & Glass, 1981; Rummer et al., 2010, Exp. 2). Dem Vorteil für zwei Präsentationsmodalitäten für das Behalten zweier *Item*listen schließlich könnte ein akustischer Nachhall zugrunde liegen (z.B. Crowder & Morton, 1969), der es ermöglicht, die auditive Liste zeitlich versetzt – und dann mit voller Aufmerksamkeit – zu enkodieren.

7.1 Visuelle Repräsentationen von Schrift

Dennoch machen diese Arbeiten deutlich, dass im Zuge der Enkodierung von Schrift Aspekte relevant sind, die für visuell vermittelte Sprache spezifisch sind. Es lässt sich also auch anhand von Verhaltensdaten zeigen, dass Schrift zunächst einen anderen Verarbeitungsweg durchläuft als gehörte Sprache. Diesen könnte sie mit bildhaftem Material teilen. Tatsächlich belegen viele Arbeiten, dass es Repräsentationen gibt, welche die visuellen Merkmale von Schriftzeichen abbilden. Wenn die entsprechenden Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis genutzt werden, könnten diese durch Interferenzen mit zusätzlich zu verarbeitenden Bildern irritiert werden. Wie in Kapitel 4 dargelegt, sieht das Arbeitsgedächtnismodell von Cowan (z.B. 1999) die Nutzung aller an der Wahrnehmung beteiligten Repräsentationen vor. In den folgenden Abschnitten sind Evidenzen für die Bedeutsamkeit schriftspezifischer Merkmale bei der Verarbeitung von Buchstaben und Wörtern zusammengestellt. Es sei betont, dass die Verfügbarkeit solcher verarbeitungsrelevanter Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis hypothetisch ist. Die Daten wurden nicht unter Verwendung von Paradigmen gewonnen, welche die Aufrechterhaltung und Manipulation der repräsentierten Informationen erfordern.

7.1.1 Visuelle Merkmale in der Buchstabenrezeption

Einzelne Buchstaben sind zunächst visuelle Muster von Linien. Die Forschergruppe um Fiset (Fiset, Blais, Éthier-Majcher, Arguin, Bub & Gosselin, 2008; Fiset, Blais, Arguin, Tadros, Éthier-Majcher, Bub & Gosselin, 2009) hat mit der sogenannten *Bubbles*-Technik herausgefunden, dass Linienenden und horizontale Linien besondere Bedeutung als definierende Merkmale von Buchstaben haben. In diesem Paradigma werden die Buchstabenstimuli mit einer Maske verdeckt. Diese ist an unterschiedlichen, mittels einer komplizierten Prozedur bestimmten Stellen mit Löchern in variabler Anzahl und Größe übersät (vgl. Abb. 7-1). Durch sie wird kontrolliert, wie viel und welche Portionen der Buchstabenfläche sichtbar sind. Der Proband gibt über die Computer-Tastatur an, um welchen Buchstaben es sich seiner Meinung nach handelt. So wird erfasst, ob ein Muster von Buchstabenausschnitten die Identifikation des richtigen Buchstabens ermöglicht. Schließlich wird die Wahrscheinlichkeit korrekten Erkennens zu den jeweils sichtbaren Buchstabenmerkmalen in Bezug gesetzt und so deren relativer Beitrag zur gelungenen Identifikation berechnet. Die Autoren schlussfolgerten aus ihren Daten, dass Buchstaben anhand ihrer charakteristischen Merkmale, nicht durch Passung der holistischen Gestalt von Wahrgenommenem und Gespeichertem (sog. *Template Matching*) erkannt werden.

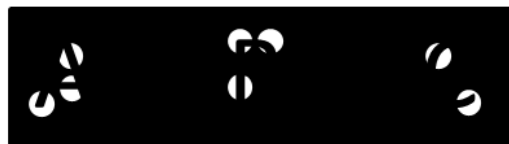


Abbildung 7-1. Veranschaulichung des Prinzips der *Bubbles-Technique* (Fiset et al., 2008, 2009). Zu identifizieren sind A, B und C, wobei die sichtbaren Merkmale nicht genügen, um Alternativen zu „B“ auszuschließen.

Einen ganz anderen empirischen Ansatz verfolgt Sanocki (z.B. 1987, 1988, 1991; auch Sanocki & Dyson, 2012). Ausgehend von der *Feature Integration*-Theorie (Treisman & Gelade, 1980) untersuchte er, wie sich die Gestaltung von Merkmalen wie Linien und Bögen auf die Verarbeitung mehrerer Buchstaben auswirkt. Dabei kommt es nicht auf einzelne Merkmale oder Buchstaben an, sondern auf deren Passung zu den entsprechenden Merkmalen der anderen Buchstaben. Das heißt, es wurden Schriftarten entwickelt, innerhalb derer die Buchstaben hinsichtlich dieser Merkmale aufeinander abgestimmt waren, während die sich zwischen den Schriftarten unterschieden. Solche Merkmale waren etwa die Größe der Buchstabenkörper (der mittlere Teil des Buchstabens), ob die Buchstaben verziert oder minimalistisch waren, die Ausdehnung der Ober- und Unterlängen, ob die Bogenlinien rund oder eckig waren, und ob die Buchstaben Serifen hatten oder nicht (Sanocki, 1988). In unterschiedlichen Paradigmen zeigte sich, dass die Passung mehrerer Buchstaben hinsichtlich solcher Oberflächenmerkmale einen Einfluss auf die Effizienz ihrer Verarbeitung hat. So können in derselben (kurzen) Zeit mehr Buchstaben aufgenommen – und in der Folge wiedergegeben – werden, wenn sie alle in derselben Schriftart gehalten sind, als wenn zwei Schriftarten pro Liste vorkommen.

Im Gegensatz zu Fiset et al. (2008, 2009) kam Sanocki zu dem Schluss, dass holistische Buchstabengestalten gespeichert und für die Rekognition zentral sind. Diese Gestalten allerdings werden gemäß den Erwartungen dynamisch angepasst, die in den jüngsten Wahrnehmungsereignissen geformt wurden (sog. *Font Tuning*). Gauthier, Wong, Hayward und Cheung (2006) weisen darauf hin, dass diese dynamische Anpassung nicht jedes Merkmal der Schriftart betrifft; in ihrer Studie betrifft sie nur das Verhältnis von Breite und Länge jedes Buchstabens in einer Schriftart.

7.1.2 Visuelle Merkmale im *Letter Matching*-Paradigma

Das *Letter Matching*-Paradigma wird an dieser Stelle ausführlich behandelt, da das Prinzip im zweiten empirischen Teil aufgegriffen wird. Die Gemeinsamkeit aller Experimentalaufgaben dieses Paradigmas besteht darin, dass zwei Buchstaben miteinander verglichen werden. Es soll möglichst schnell, in der Regel per Tastendruck angegeben werden, ob die beiden gleich oder verschieden sind. Systematisch wurde das Paradigma durch die Arbeitsgruppe um Michael Posner eingeführt und von vielen weiteren Forschern aufgegriffen (z.B. Boles & Eveland, 1983; Crist, 1981; Kellikut, Parks, Kroll & Salzberg, 1973; Kirsner & Sang, 1979; Kroll & Parks, 1978; Parks & Kroll, 1975; Parks, Kroll, Salzberg & Parkinson, 1972; Proctor, 1978; vgl. auch Kinoshita & Kaplan, 2008). Sowohl die genauen Bedingungen der Präsentation als auch die Kriterien dafür, was „gleich“ bedeutet, sind variabel.

Bereits Posner und Mitchell (1967) realisierten verschiedene Instruktionen, wodurch sie den Verarbeitungsfokus auf unterschiedliche Aspekte der Stimuli lenkten. So galten zwei Buchstaben in einem Teil der Experimente als gleich, wenn sie oberflächlich identisch waren (*Physical Match*), in einem anderen Teil der Experimente waren Buchstaben gleich, solange nur ihre Namen übereinstimmten (*Name Match*). In *Physical Match*-Aufgaben sind also Merkmale der visuellen Oberfläche entscheidend, um die Frage zu beantworten; in *Name Match*-Aufgaben dagegen kann die Entscheidung in den meisten Durchgängen nur mit Bezug auf eine abstraktere, phonologische Verarbeitungsebene gefällt werden (vgl. Abb. 7-2a). Ehe unter *Name Match*-Instruktion entschieden werden kann, ob zwei Buchstaben denselben Namen haben, müssen zunächst Repräsentationen der Buchstabennamen abgerufen werden. Die Autoren gingen davon aus, dass die Namen erst nach den visuellen Buchstabenrepräsentationen

aktiviert werden. Im Sinne dieser Annahme zeigte sich in den Reaktionslatenzen, dass die Entscheidung in der *Name Match*-Aufgabe in einem zeitintensiveren Verarbeitungsprozess als in der *Physical Match*-Aufgabe getroffen wird. Wenn unter der *Physical Match*-Instruktion beispielsweise „B“ mit „B“ verglichen wurde, kam die Antwort schneller, als wenn dasselbe unter einer *Name Match*-Instruktion geschah. Dies war auch dann der Fall, wenn die Häufigkeit von „gleich“-Antworten konstant gehalten wurde.

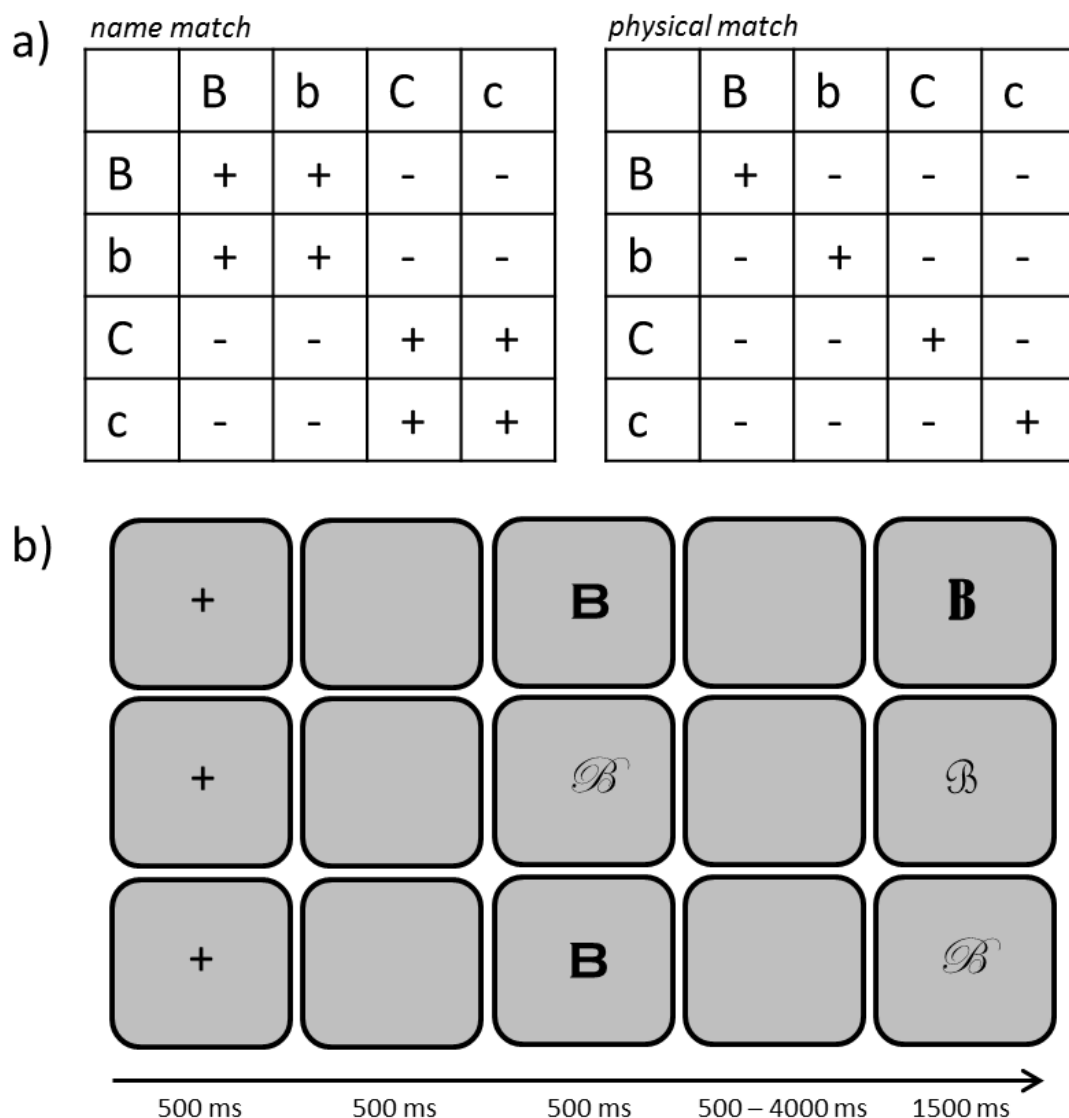


Abbildung 7-2. a) Schema korrekter Antworten bei *Name Match* und bei *Physical Match*-Instruktion. b) Veranschaulichung des Posner-Paradigmas bei Kirsner und Sang (1979), die oberen Durchgänge mit ähnlichen, der untere mit unähnlichen Schriftarten.

Dieselbe Studie (Posner & Mitchell, 1967) birgt noch ein weiteres entscheidendes Indiz dafür, dass ein *Physical Match*-Vergleich auf der Grundlage sehr oberflächlicher, also wahrnehmungsnaher, „visueller“ Repräsentationen durchgeführt wird. Die Verarbeitungszeiten für Buchstaben unterscheiden sich unter dieser Instruktion nämlich nicht von denen für neuartige, buchstabenähnliche Zeichen. Daraus schlossen die Autoren, dass Erfahrung mit dem Stimulus (also Langzeitrepräsentationen) die Ergebnisse dieser Aufgabe nicht beeinflusst. Bei der Bewertung dieses Befundes ist zu berücksichtigen, dass die beiden miteinander zu vergleichenden Buchstaben in dieser Studie immer gleichzeitig präsentiert wurden. Gedächtnisrepräsentationen konnten also umgangen werden.

Unter anderem mit diesem Punkt setzten sich Posner und Keele (1967) auseinander. Die Autoren griffen einen weiteren Befund aus den Daten von Posner und Mitchell (1967) auf: Innerhalb der *Name Match*-Instruktion sind die Antworten auf oberflächlich identische Buchstaben schneller als auf Buchstaben gleichen Namens, aber unterschiedlicher Gestalt. Die Entscheidung, dass zwei Buchstaben den gleichen Namen haben, etwa /be:/, kann also für „B“ und „B“ rascher getroffen werden als für „B“ und „b“. Dieser Befund wird auch als Posner-Effekt bezeichnet. Die Autoren attribuierten die schnellere Verarbeitung oberflächlich identischer Buchstaben wiederum auf die Ebene visuell-sensorischer Repräsentationen. Um herauszufinden, wie lange eine solche Entsprechung des wahrgenommenen Ereignisses repräsentiert ist, variierten Posner und Keele (1967) das Interstimulusintervall von gleichzeitiger Präsentation bis zu 1,5 Sekunden. Sie fanden nach bereits etwa einer Sekunde nur noch einen geringen Vorsprung für Entscheidungen über oberflächlich identische Buchstaben, und nach 1,5 Sekunden gar keinen mehr. Die Interpretation, dass dann

keine visuelle Repräsentation mehr verfügbar ist, steht unter den Vorbehalt, dass die Oberfläche aufrechtzuerhalten nicht instruiert war.

Posner, Boies, Eichelman und Taylor (1969) replizierten unter umfassenderer experimenteller Kontrolle den Posner-Effekt nach einem Interstimulusintervall von bis zu einer Sekunde. Im Weiteren zeigten sie, dass eine Maskierung des ersten Buchstaben durch schwarz-weißes visuelles Rauschen diesen relativen Vorteil nicht aufhob, obwohl die Latenzen insgesamt zunahmen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die visuellen Repräsentationen einzelner Buchstaben qualitativ von sensorischen bzw. ikonischen Repräsentationen verschieden sind. Solche Repräsentationen wurden von Sperling (1963), Mackworth (1963) und Neisser (1967) als äußerst anfällig für Störungen durch nachfolgende visuelle Reizung beschrieben. Aufgrund ihrer Ergebnisse wollen sich die Autoren nicht auf die Aussage festlegen, die visuellen Merkmale von Buchstaben seien nicht mehr verfügbar, nur weil sie die Antwortlatenzen nicht mehr beeinflussen. Sie halten es für möglich, dass sie nur nicht mehr effizient eingesetzt werden können, um die Aufgabe zu bewerkstelligen. Wieder wurde nur die *Name Match*-Instruktion realisiert und damit die Aufmerksamkeit von der Oberflächeninformation abgelenkt.

Parks et al. (1972) schafften einen Anreiz dafür, visuelle Repräsentationen länger aufrechtzuerhalten. Ihr Vorgehen stimmte mit dem von Posner et al. (1969) überein, nur dass die Probanden zusätzlich Listen auditiv präsentierter Zahlen mitsprechen sollten (*verbal shadowing*). Wie durch artikulatorische Unterdrückung (s. S. 51) war dadurch die Nutzung der Buchstabennamen blockiert. Die Autoren erfassten selbst nach acht Sekunden noch schnellere Antworten auf oberflächlich identische gegenüber gleichnamigen Buchstaben.

In den bislang beschriebenen Studien wurden die visuellen Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Buchstaben ausschließlich über die Buchstabenvariante manipuliert. Beachtenswert ist, dass sich die dargestellten Befunde nur auf Buchstaben mit unterschiedlichen Variantengestalten beziehen, also etwa auf A/a und B/b. Was Buchstaben anbelangt, deren groß- und kleingeschriebenen Varianten sich hauptsächlich in der Größe unterscheiden, wie C/c oder K/k, sind in der *Name Match*-Aufgabe die Kategorisierungslatenzen für variantenverschiedene Paare ebenso kurz wie für identische Paare (C-c = C-C). In der *Physical Match*-Aufgabe dagegen dauert es länger, einen in der Variante abweichenden Buchstaben mit solch hoher Variantenähnlichkeit zurückzuweisen, als den Unterschied zwischen zwei variantenverschiedenen Buchstaben zu erkennen (C-c > B-b; Posner & Mitchell, 1967, Exp. 2).

Kirsner und Sang (1979) untersuchten mit demselben Paradigma noch einen anderen Aspekt der visuellen Oberfläche von Buchstaben hinsichtlich seiner Relevanz für den Identifikationsprozess. Sie variierten die Ähnlichkeit der beiden zu vergleichenden Buchstaben zusätzlich über die Schriftart. Dafür verwendeten sie eine große Auswahl an Schriftarten, die sie anhand unterschiedlicher Merkmale (wie etwa „Verschnörkelung“) gemäß ihrer Ähnlichkeit zueinander gruppierten. Es gab also beispielsweise ein *Cluster* mit hochgradiger Ähnlichkeit, in das etwa die Paare A und A sowie \mathcal{A} und \mathcal{A} fallen, und ein *Cluster* geringer Ähnlichkeit, in das etwa Schriftart-Paare wie A und \mathcal{A} oder A und \mathcal{A} gehören (vgl. Abb. 7-2b). Verglichen wurden nicht die einzelnen Schriftarten, sondern die *Cluster*, so dass Unterschiede in der Lesbarkeit oder Vertrautheit darin nivelliert waren. In ihrem ersten Experiment realisierten Kirsner und Sang (1979) eine *Physical Match*-Aufgabe, in der ein Buchstabenpaar nur dann als gleich gilt, wenn es sowohl hinsichtlich der Variante als auch hinsichtlich

der Schriftart übereinstimmt. Sie verzeichneten verzögerte Antworten über eine Auswahl an ungefüllten Interstimulusintervallen von einer halben bis zu vier Sekunden, wenn ein Buchstabe in derselben Variante und hochgradig ähnlicher Schriftart als verschieden zurückgewiesen werden musste. Im zweiten Experiment instruierten Kirsner und Sang (1979) eine *Name Match*-Aufgabe und realisierten dieselbe Bandbreite an ungefüllten Interstimulusintervallen. Hier wurden zwei Buchstaben in derselben Variante nur dann schneller als gleichnamig klassifiziert, wenn sie in relativ ähnlichen Schriftarten gehalten waren; mit deutlich verschiedenen Schriftarten trat kein Posner-Effekt auf.

7.1.3 Allographen in der Buchstabenproduktion

Als Allographen bezeichnet man in der Psycholinguistik Repräsentationen auf einer Ebene nahe den sensomotorischen „Rändern“ der Schriftverarbeitung. Sie werden daher auch als periphere Repräsentationen charakterisiert, im Unterschied zu zentralen Ebenen, über die die Sprachverarbeitung unabhängig von der Modalität der Aufnahme (auditiv, visuell) oder Äußerung (mündlich, schriftlich) verläuft. Das Konzept wird in der Arbeit mit Patienten entwickelt, die aufgrund einer neuronalen Schädigung umschriebene Schwierigkeiten mit der Sprachverarbeitung haben. Theoretisch sind Allographen sowohl an wahrnehmungsnahen als auch an prämotorischen Prozessen beteiligt, je nachdem, ob man die rezeptive oder die produktive Seite der Buchstabenverarbeitung betrachtet (z.B. Ellis & Young, 1998; Rapp & Caramazza, 1989; s. auch Hillis & Caramazza, 1995). Die verfügbaren Patientenstudien jedoch finden diese Repräsentationsebene vornehmlich in produktiven Aufgaben bzw. beschränken sich auf diese (z.B. Lambert, Giffard, Nore, de la Sayette, Pasquier & Eustache, 2007; Terepocki, Kruk & Willows, 2002; vgl. auch Margolin, 1984). Häufig kann sogar die allographische Information, die in produktiven Aufgaben nicht bzw.

nur eingeschränkt zur Verfügung steht, in der Buchstabenrezeption genutzt werden (z.B. Venneri, Pestell & Caffarra, 2002).

Fasst man die verschiedenen Studien zusammen, beinhalten Allographen die Spezifikation des Schriftstils (damit sind Druck- und Schreibschrift gemeint; z.B. Cameron, Cubelli & Della Sala, 2002; Venneri et al., 2002), der Buchstabenvariante (Cameron et al., 2002; De Bastiani & Barry, 1989; Hughes, Graham, Patterson & Hodges, 1997; Kartsounis, 1992; Patterson & Wing, 1989; Trojano & Chiacchio, 1994), der konkreten visuellen Gestalt, die sich aus der Kombination beider Merkmale ergibt (Goodman & Caramazza, 1986), und der Striche, die notwendig sind, um diese Gestalt zu Papier zu bringen (De Bastiani & Barry, 1989; Del Grosso Destreri, Farina, Alberoni, Pomati, Nichelli & Mariani, 2000; Lambert, Viader, Eustache & Morin, 1994). Sie werden auf der Produktionsseite (gerade noch) von den motorischen Abläufen des Schreibens abgegrenzt (z.B. Black, Behrmann, Bass & Hacker, 1989; Ellis, 1988; Hanley & Peters, 2001). Grapho-motorische Abläufe müssen über die allographischen Aspekte hinaus hinsichtlich der absoluten Größe des Buchstaben, seiner Positionierung auf der Schreibunterlage, dem ausführenden Organ (z.B. Hand), und des verwendeten Instruments (z.B. Füller) spezifiziert sein.

Nach Auffassung der meisten Autoren reflektieren allographische Repräsentationen die visuellen Merkmale der Buchstaben (s. aber Del Grosso Destreri et al., 2000; Rapp & Caramazza, 1997, für eine alternative Attribuierung der fraglichen Daten auf die grapho-motorische Ebene). Theoretisch werden alle konkreten visuellen Merkmale, so auch Varianten- und Schriftartinformation derselben Repräsentationsebene der Sprachverarbeitung zugeordnet. So formulieren Venneri et al. (2002, S. 388): „Allographs represent the concrete forms that these representations can take, such as the case (upper vs. lower) and the

style (cursive vs. print).“ Goodman und Caramazza (1986) vertreten dennoch aufgrund des Störungsmusters ihres Patienten M.W. die Ansicht, Schriftstil, Varianteninformation und die visuelle Gestalt würden in separaten Prozessen ermittelt. In diesem Sinne zeigen jüngere Patientenstudien, dass sogar bestimmte Aspekte der konkreten Buchstabenerscheinung unabhängig voneinander beeinträchtigt sein können:

Venneri et al. (2002) konnten an zwei Patienten mit beginnender Alzheimer-Demenz eine Doppeldissoziation von Druck- und Schreibschrift beobachten. Ihr Patient A.F. war stark beeinträchtigt, wenn er Buchstaben in Schreibschrift produzieren oder imaginieren sollte; er hatte jedoch überhaupt keine Probleme mit den entsprechenden Aufgaben, wenn es um Druckschrift ging. Das genau komplementäre Muster zeigte sich bei der Patientin E.Z., die mit Schreib-, aber nicht mit Druckschrift zurechtkam. Die Buchstabenvariante spielte bei beiden keine Rolle; das heißt, ihre Muster an erhaltener und verlорener Schreibfähigkeit waren für Groß- und Kleinschreibung dieselben. Aber auch für Buchstabenvarianten finden sich in der Literatur Hinweise auf dissoziierte Störungsmuster. Kartsounis (1992) berichtet von einem Patienten, der nahezu ausschließlich darin beeinträchtigt war, Buchstaben in ihren kleinen Varianten zu schreiben. Trojano und Chiacchio (1994) untersuchten eine Patientin, die im Gegensatz dazu noch relativ gut Kleinbuchstaben schreiben konnte, dafür aber ernsthafte Schwierigkeiten damit hatte, Großbuchstaben zu Papier zu bringen. Allerdings scheinen in dieser letztgenannten Untersuchung Kleinbuchstaben in Schreibschrift und Großbuchstaben in Druckschrift gehalten zu sein.

7.1.4 Fazit: Repräsentationen visueller Merkmale von Schrift

Die aufgeführten Untersuchungen belegen, dass es Repräsentationen von Schriftzeichen gibt, welche deren visuelle Merkmale abbilden. In Hinblick auf

allographische Repräsentationen in der Buchstabenproduktion scheinen Buchstabenvariante und Schriftstil voneinander unabhängig zu sein. Was die Repräsentationen der Buchstabenvarianten anbelangt, wurde mit dem *Letter Matching*-Paradigma gezeigt, dass sie auf rezeptive Prozesse selbst dann Einfluss nehmen, wenn das Nachbild maskiert wurde. Dies deutet darauf hin, dass es sich nicht um visuell-sensorische Repräsentationen handelt, wie sie der Verarbeitung unvertrauten Bildmaterials zugrunde liegen. Für Repräsentationen von schriftartbezogenen Buchstabenmerkmalen kann keine so weitreichende Aussage getroffen werden, da in der Studie von Kirsner und Sang (1979), die die Nutzung von Schriftartinformation in *Letter Matching*-Aufgaben belegt, keine Nachbildmaskierung eingesetzt wurde.

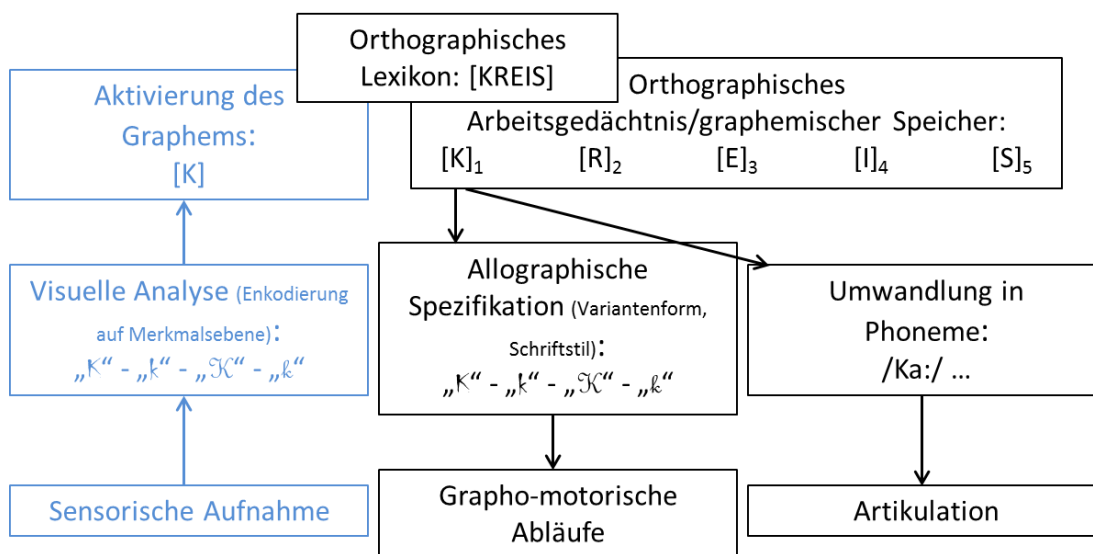


Abbildung 7-3. Einfache Darstellung der am schriftlichen bzw. mündlichen Buchstaben beteiligten Repräsentationsebenen, sowie links (blau) die entsprechenden Repräsentationsebenen der Wortrezeption. In der Literatur finden sich Annahmen über Verflechtungen der schriftspezifischen mit phonologischen Repräsentationen für alle Ebenen jenseits der senso-motorischen (hier nicht dargestellt). Die graphemische Ebene wird sowohl rezeptions- als auch produktionsseitig häufig dem orthographischen Lexikon zugewiesen (auch was einzelne Buchstaben anbelangt; z.B. Evett & Humphreys, 1981).

Wie im Folgenden ausgeführt, werden in der Literatur auch abstrakte Repräsentationen von Buchstaben und Wörtern beschrieben. Solche Repräsentationen spiegeln deren visuelle Eigenschaften nicht wider, und obwohl sie keine phonologische Information enthalten, gehen manche Konzepte sogar davon aus, dass sie nicht für Schrift spezifisch sind. Abbildung 7-3 sind die grundlegendsten Annahmen über die verschiedenen Repräsentationsebenen zu entnehmen.

7.2 Grapheme oder abstrakte Buchstabenrepräsentationen

In psycholinguistischen Modellen und in kognitionspsychologischen Studien werden abstrakte Buchstabenrepräsentationen angenommen. Diese Grapheme sind auf einer Ebene zwischen den Repräsentationen der visuellen Merkmale der Buchstaben und der Ebene ihrer phonologischen Merkmale angesiedelt. Häufig wird angenommen, dass die phonologischen Repräsentationen ausgehend von Schriftzeichen nur über die Graphemebene erreichbar sind (z.B. Besner, Coltheart & Davelaar, 1984; Rapp & Caramazza, 1989) bzw. umgekehrt in Modellen der Schriftproduktion (z.B. Goodman & Caramazza, 1986; vgl. Ellis & Young, 1998). Bowers (1996) bringt auf den Punkt, worum es bei Graphemen geht: „[...] representations that are coded in a modality-specific but perceptually abstract format“ (S. 1337). Diese Formulierung, die sich eigentlich auf orthographische Information bezieht, umfasst alles, was hier unter Graphemen subsummiert wird – und verweist zugleich darauf, dass graphemische und orthographische Information inhaltlich eng verwandt sind.

In der Psycholinguistik, in enger Beziehung zu klinischen Studien, hat das Konzept Graphem eine umfassendere Bedeutung erhalten. In einem Wort könnte man Grapheme als Metabuchstaben bezeichnen, als Wissen über Buchstaben. Rapp und Caramazza (1989) beispielsweise folgern aus der erhaltenen Fähigkeit ihres Patienten J.E., Buchstaben im richtigen Abschnitt des Alpha-

bets zu verorten, dass dessen graphemische Repräsentationen intakt seien. Caramazza und Miceli (1990; vgl. auch Buchwald & Rapp, 2006; Miozzo & De Bastiani, 2002) wiederum schlagen vor, Wissen über den Status eines Buchstaben als Vokal oder Konsonant, sowie Wissen über die graphologische Struktur der Silbe, in die er eingebettet ist, und darüber, ob ein Buchstabe gedoppelt wird (sog. *Geminate Features*), auf der graphemischen Repräsentationsebene einzuordnen. Dieser Auffassung nach stellt sich das Graphem nicht als bezüglich der Variante abstrakte Buchstabenrepräsentation dar, sondern als Wissen über die Zusammengehörigkeit zweier Varianten zu demselben Buchstaben. Manchmal wird von Graphemen gesprochen, um auf Buchstaben oder Buchstabengruppen zu referieren, die einem Phonem entsprechen (wie /sch/; z.B. Jones, Folk & Rapp, 2009; Rey, Ziegler & Jacobs, 2000; Rey & Schiller, 2005, verwenden den Begriff „*Multiletter Graphemes*“).

Graphemische Information kann von nicht-sprachlicher visueller Information unterschieden werden. Beispielsweise berichten Miozzo und Caramazza (1998) von einer Patientin, G.V., deren Fähigkeit, den semantischen Gehalt von Bildern zu erfassen, nach zerebraler Schädigung weitestgehend erhalten war, während sie Buchstaben oder Wörter nicht mehr erkennen konnte. Der umgekehrte Fall beeinträchtigter Objekterkennung ohne Alexie schildern Rumati und Humphreys (1997; Rumati, Humphreys, Riddoch & Bateman, 1994).

Im kleinsten gemeinsamen Nenner handelt es sich bei Graphemen um Repräsentationen, die alle konkreten Ausgestaltungen eines Buchstaben in sich vereinen. Zu den konkreten Ausgestaltungen zählen definitionsgemäß die groß- und kleingeschriebenen Varianten. Das heißt, dass es für die Buchstabenformen „B“ und „b“ ein Graphem [B] gibt. In dieser Bedeutung wird der Graphembegriff in der experimentellen Psychologie verwendet (auch wenn es um Wörter

geht; z.B. Evett & Humphreys, 1981; Forster, Davis, Schoknecht & Carter, 1987). Häufig ist in diesem Forschungsfeld statt von Graphemen von abstrakten Buchstabenidentitäten die Rede (z.B. Arguin & Bub, 1995; Ben-David & Algom, 2009; Besner et al., 1984; Bowers, 2000; Brunson, Coltheart & Nickels, 2006; Finkbeiner & Coltheart, 2009; Petit, Midgeley, Holcomb & Grainger, 2006).

Ein empirisches Argument für derartige abstrakte Buchstabenrepräsentationen ist der Nachweis, dass eine Buchstabenvariante durch die Präsentation der anderen voraktiviert werden kann (*Cross-Case Priming*). Die meisten Studien lassen allerdings die Interpretation zu, dass die abstrakte Buchstabenrepräsentationen phonologischer oder artikulatorischer Natur sind (z.B. Arguin & Bub, 1995; Bowers, Vigliotto & Haan, 1998; Jacobs & Grainger, 1991; Jacobs, Grainger & Ferrand, 1995; Petit et al., 2006; Ziegler, Ferrand, Jacobs, Rey & Grainger, 2000; s. auch Bowers, 2000). In vielen der *Priming*-Studien wurde versucht, phonologische Repräsentationen als Erklärung für die Effekte auszuschließen, aber ein Zweifel bleibt immer. Arguin und Bub (1995) zum Beispiel verwendeten eine Aufgabe, bei der entschieden werden muss, ob es sich um einen Buchstaben handelt oder nicht (*Alphabetic Decision Task*), die im Unterschied zu einer Benenn-Aufgabe ohne Rückgriff auf phonologische Repräsentationen erledigt werden kann. Es ist jedoch schwer auszuschließen, dass dabei tatsächlich keine phonologischen Repräsentationen aktiviert und wirksam werden.

Cross-Case Priming-Effekte lassen nur dann auf die Existenz abstrakter Buchstabenidentitäten schließen, wenn sie für Buchstaben mit oberflächlich verschiedenen Varianten (z.B. G - g) gefunden werden. Wenn die beiden hochgradig ähnlichen Varianten eines Buchstaben (z.B. W - w) einander aktivieren, kann dies über Repräsentationen geschehen, die hinsichtlich der konkreten Form spezifiziert sind (z.B. Arguin & Bub, 1995; Bowers et al., 1998; s. aber Ki-

noshita & Kaplan, 2008). Die Definition von abstrakten Buchstabenrepräsentationen als nicht variantenspezifisch ist hier also eine notwendige Prämisse, nicht das Ergebnis der Forschung. Varianteninformation ist nicht unbedingt konkret – sie ist nur schwer gegen konkrete Information abzugrenzen.

Ein anderes empirisches Argument stammt von Friedman (1980). Sie präsentierte einzelne Buchstaben und passte die Darbietungszeiten so an die Wahrnehmungsgeschwindigkeit jedes Teilnehmers an, dass die Buchstaben mit 50-prozentiger Wahrscheinlichkeit identifiziert werden konnten. Auch hier war jeder Buchstabe also nur für extrem kurze Dauer sichtbar. Häufig konnte die Variante eines Buchstaben nicht angegeben werden, obwohl er korrekt identifiziert und benannt wurde. Da dies auch Buchstaben mit unterschiedlichen Varianten (wie Q und q) betraf, folgerte Friedman (1980), dass abstrakte Buchstabenidentitäten aktiviert wurden. Die Befunde lassen außerdem den Schluss zu, dass dies sehr schnell und ohne bewusste Kenntnis der Buchstabengestalten geschieht. Als eine alternative Erklärung ist auch hier denkbar, dass die phonologischen Repräsentationen der Buchstabennamen aktiviert wurden und im Gegensatz zu den Variantengestalten willkürlich abgerufen werden konnten.

Ein klares Argument für die Existenz abstrakter nicht-phonologischer Buchstabenrepräsentationen lieferte die Patientin M.S. von Mycroft, Hanley und Kay (2002). M.S. wies nach einem Schlaganfall in der linken Gehirnhälfte eine Beeinträchtigung der Sprachverarbeitung auf, die sich speziell auf das Lesen auswirkte; Schreiben, Hörverstehen und Sprechen waren weitgehend intakt. Mycroft et al. (2002) zeigten in einer Serie von Tests, dass M.S. geschriebene Buchstaben nicht mehr in Laute zu übersetzen wusste, obwohl sie sie erkennen konnte – beispielsweise stellte es kein Problem für sie dar, einen Buchstaben von seinem spiegelverkehrten Bild zu unterscheiden. Entscheidend ist,

dass M.S. Buchstabenvarianten einander völlig fehlerfrei zuordnen konnte. Das heißt, sie verfügte über Repräsentationen, in denen so unterschiedliche Formen wie G und g kodiert waren, obwohl sie sich nicht auf Repräsentationen des gemeinsamen Buchstabennamens oder –Lauts stützen konnte. Es muss demnach abgesehen von phonologischen Repräsentationen noch andere, abstrakte (nämlich variantenunspezifische) Buchstabenrepräsentationen geben.

7.3 Orthographische Information

Unter Orthographie versteht man landläufig Regeln zur richtigen Schreibweise von Wörtern und das Wissen darüber. In der kognitiven Psychologie bezeichnet man mit diesem Begriff die gemäß der Schreibweise ausgewählten und angeordneten Repräsentationen der Buchstaben eines Wortes. Grainger (2008, S. 1) schreibt: „[...] in languages that use alphabetic orthographies [...] [t]he term 'orthographic processing' minimally refers to the processing of the identities and positions of the constituent letters of a word.“ Auf dieser Ebene geht es also um Repräsentationen ganzer Wörter. Als Elemente orthographischer Repräsentationen werden Grapheme diskutiert (vgl. Grainger, 2008). Wie auch Grapheme sind orthographische Repräsentationen als abstrakt definiert und daher immun gegen oberflächliche Variation; das heißt, auf dieser Ebene wird dieselbe Repräsentation aktiviert, unabhängig von der Groß-/Kleinschreibung (Bowers et al., 1998), der Schriftart oder der absoluten Größe (z.B. Chauncey, Holcomb & Grainger, 2008; Dehaene, 2010, Kap. 1).

7.3.1 Orthographische Information in alphabetischer Schrift

Nicht immer wird nominell zwischen graphemischen und orthographischen Repräsentationen unterschieden (z.B. verwendet Bowers, 2000, die Begriffe synonym). Die Verwandtschaft der beiden Konzepte äußert sich auch darin, dass im sogenannten graphemischen Speicher (*Graphemic Buffer*; z.B. Blanken,

Schäfer, Tucha & Lange, 1999; Caramazza, Capasso & Miceli, 1996; Hanley & Kay, 1998; Katz, 1991; Rapp & Kong, 2002) die Buchstabenfolge, die einem Wort im orthographischen Lexikon entspricht, für den Buchstabierprozess bereitgehalten wird (vgl. Abb. 7-3, S. 99). Angesichts der Bedeutung, die dem Behalten von *Item*-Abfolgen für die Entwicklung des Arbeitsgedächtniskonzepts zukommt, ist es passend, dass der graphemische Speicher auch als orthographisches Arbeitsgedächtnis bezeichnet wird (z.B. Caramazza, Miceli & Villa, 1986; Costa, Fischer-Baum, Capasso, Miceli & Rapp, 2011; Jones et al., 2009).

Der graphemische Speicher wird im Rahmen kognitiv-neurolinguistischer Studien beschrieben und erforscht, die meist auf die Sprachproduktion (*Written Spelling*) konzentriert sind. Er stellt eine Schnittstelle zwischen dem orthographischen Lexikon und den ausführenden Organen der Sprachproduktion dar (z.B. Buchwald & Rapp, 2009). Das orthographische Lexikon entspricht dem Langzeitgedächtnis für Repräsentationen von Wörtern, die spezifizieren, wie diese geschrieben bzw. buchstabiert werden. Im orthographischen Arbeitsgedächtnis alias graphemischer Speicher werden sie für einen aktuellen Produktionsprozess verfügbar gehalten und in der richtigen Reihenfolge ausgewählt (vgl. Blanken et al., 1999; Jones et al., 2009). Erst jenseits des graphemischen Speichers erhalten die Repräsentationen der Elemente der Wörter, also die Graphemrepräsentationen, ihre konkreten artikulatorischen oder graphomotorischen Merkmale und aktivieren im letzteren Fall allographische Repräsentationen. Im Speicher selbst sind die Repräsentationen noch nicht dahingehend spezifiziert, ob sie artikuliert oder niedergeschrieben werden (z.B. Rapp & Caramazza, 1997; vgl. Abb. 7-3, S. 99). Da sie nicht für die geschriebene Modalität spezifisch sind, unterscheiden sie sich von der experimentalpsychologischen Definition, mit der Bowers (1996) oben (S. 100) zitiert wurde.

Ein wichtiger Befund für die Bedeutung orthographischer Repräsentationen für die Wortrezeption verweist auf den Einfluss der orthographischen Nähe verschiedener Wörter zueinander (vgl. Ziegler & Muneaux, 2007). Orthographische Nachbarn haben einige (z.B. 50 %, wie in McClelland & Mozer, 1986, Exp. 4) konstituierende Buchstaben gemeinsam, wobei es zumindest in der Wortmitte nicht entscheidend ist, dass diese geteilten Buchstaben auch an einander entsprechenden Positionen im Wort liegen (Davis & Bowers, 2004). Unabhängig davon nämlich können bei kurzen Darbietungszeiten Fehler bei der Identifikation von Wortstimuli induziert werden – statt zweier flüchtig sichtbarer Wörter (z.B. SOAP und STEP) wird ein gemeinsamer orthographischer Nachbar der beiden erkannt (z.B. STOP; Davis & Bowers, 2004; Harris & Morris, 2001). Möglicherweise ist die definatorisch bedeutsame Buchstabenabfolge in orthographischen Repräsentationen nicht absolut zu verstehen.

Orthographische und phonologische Repräsentationen sind in alphabetischen Schriftsystemen hochgradig konfundiert. Dies ist in transparenten Orthographien (wie der italienischen oder deutschen) unweigerlich so, da Buchstaben relativ eindeutig Lauten entsprechen. In weniger transparenten Orthographien (wie der englischen) besteht das Problem konfundierter Phonologie und Orthographie zumindest dann genauso, wenn man Grapheme als Buchstabengruppen definiert, die einen Laut kodieren. Orthographische und phonologische Einflüsse und Wechselwirkungen müssen aufwändig gegeneinander abgegrenzt werden (z.B. Grainger, Muneaux, Farioli & Ziegler, 2005; Tree, Longmore & Besner, 2011). Besner et al. (1984; vgl. Abb. 7-4) hoben die Konfundierung auf, indem sie Experimentalmaterial jenseits realer Lexika zusammenstellten. In ihrer Studie verglichen sie die Zeit, die nötig ist, um zwei orthographisch unterschiedliche Homophone (d.h. Wörter bzw. in diesem Fall Kunstwörter, die gleich klingen,

aber unterschiedlich geschrieben werden, z.B. HILE/hyle) als nicht identisch zu klassifizieren, mit der Antwortgeschwindigkeit auf Homophone, die sich nur in der Groß-/Kleinschreibung unterschieden (z.B. HILE/hile). Sie fanden, dass erstere ebenso schnell als verschieden erkannt werden wie zwei phonologisch verschiedene Wörter (z.B. HILE/hule). Dagegen wurden die orthographisch identischen, nur in der Schreibweise verschiedenen Paare deutlich langsamer differenziert. Da sich beide Arten von Kunstwortpaaren phonologisch nicht unterschieden, und da beide aus *Items* bestanden, die an der visuellen Oberfläche unterscheidbar waren, scheiden phonologische und visuelle Repräsentationen als Ursache der abweichenden Latenzen aus. Da für Kunstwörter keine Lexikoneinträge vorhanden sind, folgerten die Autoren, dass beim Lesen Repräsentationen von abstrakten Buchstabenidentitäten aktiviert werden.

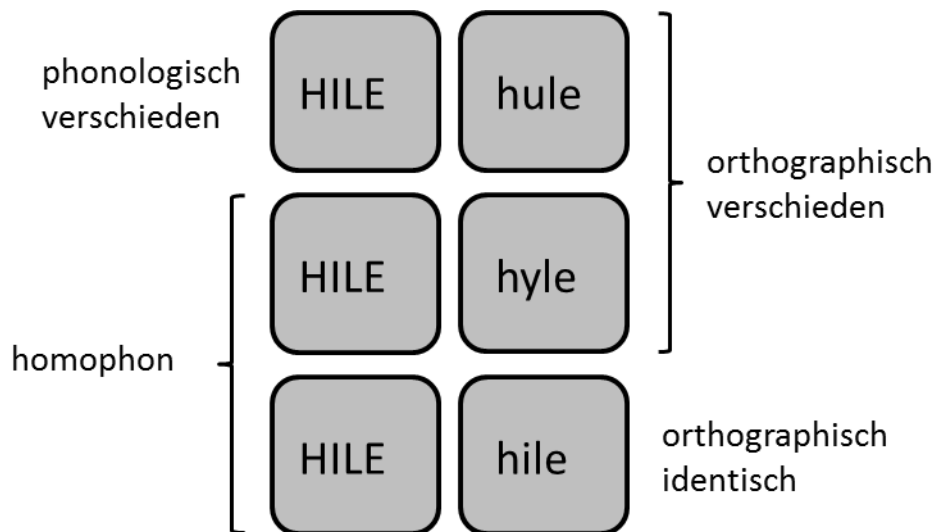


Abbildung 7-4. Veranschaulichung des Experimentaldesigns von Besner et al. (1984).

Unabhängig von der phonologischen Ähnlichkeit konnten orthographisch verschiedene Kunstwörter schneller voneinander unterschieden werden als orthographisch (nicht visuell!) identische Kunstwörter.

Demnach entspräche eine orthographische Repräsentation der gleichzeitigen Aktivität einer bestimmten Auswahl graphemischer Repräsentationen,

wie sie oben definiert wurden. Modelle der Worterkennung wie das *Interactive Activation Model* von McClelland und Rumelhart (1981; s. auch Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993; Grainger & Jacobs, 1994) oder das *Dual Route Cascaded Model* (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001) beziehen auch den umgekehrten Weg der Aktivierung einzelner Buchstaben durch eine orthographische Repräsentation des ganzen Wortes mit ein. Ein vielfach replizierter Befund, der als Wortüberlegenheitseffekt bekannt ist (z.B. Reicher, 1969; Wheeler, 1970), legt nahe, dass derartige *Top-Down*-Aktivierungen eine bedeutende Rolle auch für die Identifikation von Buchstaben spielen: Als Teil eines Wortes kann ein Buchstabe besser identifiziert werden, denn als Teil einer willkürlich zusammengestellten Buchstabenfolge. Dem liegt die Annahme zugrunde, es gebe orthographische über graphemische Repräsentationen hinaus.

Solche orthographischen Repräsentationen wurden auch als Repräsentationen der Wortform, der visuellen Gestalt der Wörter konzipiert (Bouma, 1973). Dies wird von Grainger (2008) wie folgt kritisiert: Erstens unterschieden sich die Gestalten groß- und kleingeschriebener Wörter meist erheblich (z.B. baum vs. BAUM), so dass die weniger vertraute Gestalt nicht so einfach erkennbar sein sollte wie die gängige. Empirisch zeige sich ein solcher Unterschied jedoch nicht. Zweitens sei es vergleichsweise ineffizient, in einem durchschnittlichen mentalen Lexikon mit mehreren Zehntausend Einträgen jedes Wort in den unterschiedlichen Gestalten anzulegen, die sich etwa aus Hand- und Druckschrift sowie Groß- und Kleinschreibung ergeben. Diese Invarianz auf Ebene der Buchstaben herzustellen und auf Wortebene nur noch von der konkreten Gestalt abstrahierte Repräsentationen anzulegen, sei deutlich weniger aufwändig.

7.3.2 Orthographische Information in ideographischen Zeichen

In nicht-alphabetischen Orthographien, die man häufig als ideographische Schriftsysteme bezeichnet, sind die meisten Zeichen aus mehreren Radikalen zusammengesetzt. Radikale sind graphische Elemente, welche für sich genommen und/oder in der spezifischen Kombination mit anderen Radikalen eine bestimmte Bedeutung transportieren. Diese Bedeutung eines Radikals kann (zumindest) semantisch oder phonologisch sein. Vielleicht kann man sich Radikale ein wenig wie Präfixe oder Suffixe vorstellen, die zum Beispiel Wortklassen kennzeichnen (z.B. *-heit*, *-ung* für Nomen, *-en* für Verben im Infinitiv) oder sogar semantischen Gehalt haben (wie *ent-*, *ab-* oder *Vor-*). Sie entsprechen üblicherweise Morphemen und Silben, also den kleinsten bedeutungstragenden Elementen der Sprache und einer lautlichen Einheit (Feldman & Siok, 1999). Sie nehmen als eigenständige Bestandteile der Sprache Einfluss auf Inhalt und Form des Wortes als Ganzes. Anders als alphabetische Orthographien gestatten Schriftsysteme wie das japanische Kanji oder das chinesische Mandarin die unabhängige Variation von phonologischer, orthographischer und sogar visueller Ähnlichkeit von Wörtern und ermöglichen es daher, die Beiträge der verschiedenen Informationsarten voneinander zu trennen.

Mou und Anderson (1981) untersuchten den Einfluss orthographischer Ähnlichkeit im Arbeitsgedächtnis anhand von aus mehreren Radikalen zusammengesetzten Zeichen, die jeweils einer gesprochenen Silbe entsprachen. Sie erstellten vier Stimulus-Sets, deren *Items* (1.) sowohl den Vokal der Silbe als auch das linke Radikal, (2.) den Vokal, aber kein Radikal, (3.) nicht den Vokal, aber das linke Radikal oder (4.) weder den Vokal noch das Radikal gemeinsam hatten. Sie präsentierten ihren Probanden in jedem Durchgang erst eine Liste von vier Zeichen eines Sets visuell, dann entweder auditiv eine Liste von phono-

logisch ähnlichen Zeichen oder visuell eine Liste von visuell ähnlichen Zeichen. Die zweite Liste sollte bei auditiver Darbietung mitgesprochen, bei visueller Darbietung (u.a.) mitgeschrieben werden. Anschließend wurde die serielle Wiedergabeleistung erfasst; die Teilnehmer sollten die erste Liste in der richtigen Reihenfolge schriftlich wiedergeben. Die Autoren berichten, dass sowohl die über den gleichen Vokal als auch die über das gleiche Radikal hergestellte Ähnlichkeit – relativ zur jeweiligen Verschiedenheit – zu Leistungseinbußen bei der Wiedergabe führt. Kurz gefasst beobachteten sie Einflüsse sowohl der orthographischen als auch der phonologischen Ähnlichkeit. Lai (2007) kritisiert an der Studie von Mou und Anderson (1981), dass das linke Radikal grundsätzlich semantischen Gehalt habe und der Effekt der orthographischen Ähnlichkeit auf semantische Verwechslungen zurückzuführen sein könnte.

Lai (2007) setzte sich in ihrer *Master's Thesis* mit visuellen Ähnlichkeitseffekten im verbalen Arbeitsgedächtnis auseinander. Für den empirischen Teil der Arbeit präsentierte sie studierenden Muttersprachlern des Chinesischen chinesische Schriftzeichen, mit denen sie vertraut waren. Als Aufgabe verwendete sie ein Rekognitionsparadigma, bei dem zunächst eine Liste von acht Wörtern und direkt im Anschluss daran eine Auswahl von zwei *Items* dieser Liste präsentiert wurden, von denen die Teilnehmer entscheiden mussten, ob die Abfolge dieser beiden mit ihrer Abfolge in der Liste übereinstimmte. In mehreren Experimenten kontrastierte sie zunächst orthographisch-visuelle Ähnlichkeit mit phonologischer Ähnlichkeit. Orthographische Information beeinflusste die Behaltensleistungen selbst dann, wenn phonologische Unterschiede zwischen den Wörtern ausreichend sein sollten, um diese zu differenzieren. Dann (in Exp. 4) führte sie die Unterscheidung zwischen rein visueller und orthographischer Ähnlichkeit ein. Orthographisch ähnliche Zeichen hatten ein Radikal an einer

bestimmten Position gemeinsam (wie 泊 und 怕), während rein visuelle Ähnlichkeit zwischen verschiedenen Radikalen bestand (wie 幸 und 幸). Hinsichtlich phonologischer und semantischer Ähnlichkeit sowie in der mittleren Anzahl der Striche je Zeichen bestanden keine Unterschiede zwischen den Bedingungen. Es zeigte sich, dass nur die orthographische, nicht aber die rein visuelle Ähnlichkeit die Gedächtnisleistungen reduzierte.

7.4 Fazit: Abstrakte Repräsentationen von Schrift

Sowohl in der neurolinguistischen als auch in der kognitionspsychologischen Literatur finden sich Evidenzen für Repräsentationen von Schrift, die nicht deren wahrnehmbare Qualitäten abbilden. Inwiefern diese Repräsentationen „abstrakt“ sind variiert: In Sprachproduktionsmodellen gibt es einen graphemischen Speicher, der gleichermaßen bei schriftlicher und mündlicher Produktion involviert und somit modalitätsübergreifend ist. In kognitionspsychologischen Modellen nimmt man an, dass es sich um schriftspezifische Repräsentationen handelt, die nicht modalitätsübergreifend, aber dennoch abstrakt sind. Ein gemeinsamer Nenner, unter den auch die Arbeiten mit ideographischer Schrift subsummiert werden können, ist die linguistische Relevanz der Repräsentationen: Die doppelte Dissoziation von Störungen der Lesefähigkeit und Störungen der Bild- bzw. Objekterkennung einerseits und der auf orthographische gegenüber visueller Information beschränkte Ähnlichkeitseffekt in der Studie von Lai (2007) verweisen darauf, dass es sich um sprachspezifische Repräsentationen handelt.

Da es einige Variation in den Definitionen von Graphemen und orthographischer Information gab, sei hier noch ausgeführt, wie die Begriffe in dieser Arbeit verwendet werden: „Graphem“ wird synonym mit „abstrakte Buchstabe-

nidentität“ gebraucht. Gemeint sind Repräsentationen von einzelnen Buchstaben, die nicht variantenspezifisch sind und selbstverständlich auch keine anderen visuell erfassbaren Merkmale aufweisen. „Orthographische Information“ wird mit Bezug auf geschriebene Wörter – alphabetisch oder ideographisch – verwendet, und gemeint sind damit Repräsentationen, denen über ihre Verknüpfungen mit höheren Ebenen der Sprachverarbeitung bereits linguistische Information zu entnehmen ist.

8. Zusammenfassung des Forschungsstands

Die vorliegende Arbeit nimmt eine Fragestellung zum Ausgangspunkt, die sich im Rahmen der angewandten Forschung zu den kognitiven Prozessen beim Lernen mit Texten und Bildern herausgebildet hat. Die Frage, ob schriftlicher Text wie Bilder im visuellen Arbeitsgedächtnis verarbeitet wird, leitet weiter zu den grundlegenden Fragen, ob visuelle Buchstabenmerkmale in Arbeitsgedächtnisaufgaben eine Rolle spielen, und ob es darin Unterschiede zwischen sprachlich relevanten und sprachlich irrelevanten visuellen Merkmalen gibt. Diese Fragen werden in dieser Arbeit empirisch untersucht. Das folgende Kapitel bietet zunächst eine knappe Zusammenfassung des Theorieteils, der von der Ausgangsfragestellung zur ersten empirischen Fragestellung führt.

Eine zentrale Annahme der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009) besagt, dass die kognitive Ressource Arbeitsgedächtnis beim Lernen mit Texten und Bildern effizienter eingesetzt werden kann, wenn die Texte auditiv und nicht visuell präsentiert werden. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, dass die Verarbeitung von schriftlichem Text zunächst dieselbe kapazitätsbegrenzte Komponente des Arbeitsgedächtnisses belastet wie die Verarbeitung von Bildern, nämlich das visuelle Arbeitsgedächtnis. Diese Vorstellung zur Informationsverarbeitung wird in der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009) mit Bezug auf das Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1986) begründet. Innerhalb dieses Modells wiederum sind verschiedene Fragen denkbar, deren experimentelle Prüfung Aufschluss darüber bietet, ob Schrifttext und Bilder sich die Arbeitsgedächtnisressourcen weitergehend teilen als auditiver Text und Bilder: (1) Sind visuelle Merkmale von Schrift im Arbeitsgedächtnis repräsentiert? (2) Entstehen stärkere Interferenzen, wenn schriftlicher Text und Bilder verglichen mit auditivem

Text und Bildern im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden müssen? (3)
Weisen die Leistungen beim Behalten von Schrift im Arbeitsgedächtnis Eigenschaften auf, die typisch für das Behalten visuellen Materials sind?

Zu (1): Die Verfügbarkeit visueller Merkmale von Schrift im Arbeitsgedächtnis sollte sich darin zeigen, dass Ähnlichkeiten in den visuellen Merkmalen von Wörtern oder Buchstaben Verwechslungen Vorschub leisten. Einflüsse der visuellen Ähnlichkeit sind mit den einschlägigen Experimentalparadigmen, anhand derer das Multikomponentenmodell geprüft wird, in der Regel nicht beobachtbar (z.B. Connor & Hoyer, 1976; Crowder, 1978). Dies ist ein Hinweis darauf, dass die erfassten Arbeitsgedächtnisleistungen nicht auf Repräsentationen der visuellen Merkmale basieren. Hingegen beeinflussen Merkmale gesprochener/gehörter Sprache wie die phonologische Ähnlichkeit der Gedächtnis*items* nicht nur die Wiedergabe auditiver, sondern auch die visuell präsentierter *Items*, sofern diese phonologisch rekodiert werden können (z.B. Murray, 1968; Peterson & Johnson, 1971). Im Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1986, 2000; Baddeley & Logie, 1999) wird aufgrund solcher Beobachtungen nicht zwischen einer visuellen und einer auditiven Komponente, sondern zwischen einer visuell-räumlichen und einer verbalen Komponente unterschieden. Schriftlich präsentierte Sprache wird demnach durch einen Prozess der inneren Artikulation, der die visuell-sensorischen Eingangssignale in phonologische Repräsentationen umwandelt, in die Arbeitsgedächtniskomponente aufgenommen, die auch für auditiv präsentierte verbales Material zuständig ist. Insofern ist theoretisch nicht davon auszugehen, dass Schrift in derselben Arbeitsgedächtniskomponente aufrechterhalten wird wie Bilder.

Allerdings gibt es nichtsdestotrotz im Rahmen des Multikomponentenmodells Befunde die zeigen, dass verbale Information auch visuell repräsentiert

sein kann. Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) konnten experimentell einen Einfluss der visuellen Ähnlichkeit von Buchstabenvarianten nachweisen: Bei konstanter phonologischer Ähnlichkeit wurden Listen von Buchstaben mit gestaltlich unterscheidbaren Varianten (wie G/g oder B/b) besser wiedergegeben als Listen von variantenähnlichen Buchstaben (wie V/v oder C/c). Darüber hinaus wurden Einflüsse der visuellen Ähnlichkeit auf das kurzfristige Behalten alphabetischer Wörter (Logie et al., 2000, Exp. 1 & 2) und chinesischer (Yik, 1978) sowie japanischer (Saito et al., 2008) Schriftzeichen berichtet. Die Verfügbarkeit visueller Repräsentationen von Schrift im Arbeitsgedächtnis weist auf eine Beteiligung des visuellen Arbeitsgedächtnisses an verbalen Behaltensanforderungen hin (z.B. Baddeley, 2000).

Zu (2): Im Multikomponentenmodell (z.B. Baddeley, 1986) wird angenommen, dass die auf Sprache und visuell-räumliche Information spezialisierten Speicherkomponenten in ihrer Kapazität jeweils begrenzt und voneinander unabhängig sind. Unter dieser Prämisse ist zu erwarten, dass die Behaltensleistungen für Schrift und Bilder geringer sein müssten als für auditiven Text und Bilder. In der Literatur finden sich Studien, die dies mit dem Doppelaufgabenparadigma untersuchten (z.B. Logie et al., 1990; Rummer et al., 2010). Wechselseitige Beeinträchtigungen von visuell-verbalen und visuell-bildhaften Arbeitsgedächtnisanforderungen wurden damit nicht nachgewiesen. Dies deutet darauf hin, dass Schrift nicht im visuellen Arbeitsgedächtnis gespeichert wird.

Zu (3): Wenn visuell-sprachliche Repräsentationen dieselben Eigenschaften aufwiesen wie visuell-bildhaften Repräsentationen, wäre dies ein Indiz dafür, dass sich beide Informationsarten eine Arbeitsgedächtniskomponente teilen. Im Multikomponentenmodell ist das visuelle Arbeitsgedächtnis als temporärer Speicher mit hoher Störanfälligkeit durch visuelle und räumliche Zweitaufga-

ben sowie geringer Kapazität definiert (z.B. Baddeley & Logie, 1999). Diese Definition stützt sich jedoch auf ganz bestimmte Materialien: Da vertraute Stimuli meist unwillkürlich auch verbal enkodiert werden und die phonologischen Einflüsse den Untersuchungsgegenstand übertönen, wird in der Regel unvertrautes Material verwendet, um das visuelle Arbeitsgedächtnis zu untersuchen (z.B. Mate & Basqués, 2009; Walker et al., 1993). Buchstaben interessieren hier als hoch vertraute visuelle Reize, für die geübte Leser alphabetischer Sprachen Langzeitrepräsentationen angelegt haben sollten. Wenn solche visuellen Langzeitrepräsentationen nicht die Charakteristika aufweisen, die dem visuellen Arbeitsgedächtnis zugewiesen wurden, hieße das womöglich nur, dass die Definition des visuellen Arbeitsgedächtnisses nicht breit genug angelegt ist.

Zusammenfassend ist die Annahme, schriftlicher Text und Bilder interferierten im visuellen Arbeitsgedächtnis, mit Bezug auf das Multikomponentenmodell schwer zu begründen. Sie wäre allerdings auch schwer zu widerlegen, da die Modellvorstellungen über das visuelle Arbeitsgedächtnis nicht zu den Vorstellungen über die Nutzung von Langzeitrepräsentationen im Arbeitsgedächtnis passen. Wenn also die Schriftrepräsentationen nicht die entsprechenden Eigenschaften aufweisen, könnte dies auch ein definitorisches Problem sein. So ist es unabhängig von den Eigenschaften der entsprechenden Repräsentationen aufschlussreich, dass die visuelle Ähnlichkeit von Buchstaben, Wörtern und Schriftzeichen Arbeitsgedächtnisleistungen beeinflusst. Schließlich ist nicht in jedem Arbeitsgedächtnismodell die Zuordnung einer Informationsart zu einer spezialisierten Speicherkomponente Voraussetzung für Interferenzen mit anderen Informationsarten.

Aus der Perspektive eines eher unitären Arbeitsgedächtnismodells (z.B. Cowan, 1999) gestaltet sich die Suche nach einer Antwort auf die Frage, ob

schriftliche Texte und Bilder im Arbeitsgedächtnis interferieren auf andere Weise schwierig. Im Unterschied zum Multikomponentenmodell gehen unitäre Modelle nicht von nach Modalität (verbal oder bildhaft) oder Stabilität der Repräsentationen (sensorisches, Arbeits- oder Langzeitgedächtnis) getrennten Komponenten aus und nehmen auch keine jeweils spezifischen Repräsentationsformate an. Was im Arbeitsgedächtnis ist, ergibt sich vielmehr daraus, welche Repräsentationen durch Aufmerksamkeit fokussiert werden. „Arbeitsgedächtnis“ ist gewissermaßen ein Aufmerksamkeitsprozess, der auf die Repräsentationen zugreift, die in der Interaktion mit einem Reiz angelegt wurden und werden. Als gemeinsamer Nenner beider Modelltypen verweist der Arbeitsgedächtnisbegriff darauf, dass Informationen für kognitive Prozesse aufrechterhalten werden müssen.

Theoretisch kann aus der Perspektive des Modells nach Cowan (z.B. 1999) jedes Merkmal, jeder Aspekt eines Stimulus, der im Zuge der Verarbeitung enkodiert oder aktiviert wird, im Arbeitsgedächtnis genutzt werden und die Leistungen in entsprechenden Aufgaben beeinflussen. Diese Überlegung wird durch Evidenz dafür gestützt, dass „das Arbeitsgedächtnis im gleichen verteilten neuronalen Netzwerk realisiert [wird], das die visuelle Informationsverarbeitung in der Wahrnehmung leistet“ (Zimmer, 2010, S. 25). Davon ausgehend stellen sich die Fragen, (1) inwieweit Schrift und Bilder bei ihrer Verarbeitung in denselben neuronalen Strukturen repräsentiert sind, und (2) ob jede Information, die irgendwo darin repräsentiert ist, auch im Arbeitsgedächtnis genutzt werden kann. Interferenzen zwischen Schrift und Bildern wären zu erwarten, wenn im Arbeitsgedächtnis verfügbare Repräsentationen in neuronalen Strukturen kodiert sind, welche die Verarbeitung von Schrift und von Bildern leisten.

(1) Aus der Literatur lässt sich einerseits erschließen, dass von der retinalen Stimulierung bis zu den Repräsentationen des primären visuellen Cortex' alle visuellen Reize dieselben Neurone ansprechen: Diese reagieren sehr spezifisch auf Lichtreize mit einer bestimmten Ausrichtung (z.B. /, \, -, |) und einer bestimmten Position auf der Netzhaut (vgl. Pinel, 1997). Buchstaben wie auch Bilder werden hier zunächst in fragmentierter Form repräsentiert, wobei Neurone im sekundären visuellen Cortex, im Areal V4, bereits durch komplexere Merkmale wie Kurven aktiviert werden (vgl. Roe et al., 2012). Es wird die Vermutung angestellt, dass in dieser Verarbeitungsphase Buchstaben als solche kategorisiert werden. Direkte Evidenz gibt es dann wieder für ein Areal, das in der linken Hirnhemisphäre lokalisiert ist und dessen Neurone bevorzugt auf Wörter reagieren; die Region visueller Wortformen (z.B. Dehaene & Cohen, 2011). In unmittelbarer Nachbarschaft dazu wurde ein kleineres Areal beschrieben, das sich auf einzelne Buchstaben spezialisiert hat (Flowers et al., 2004; James et al., 2005). Was die Region visueller Wortformen anbelangt, wurde gezeigt, dass sie zum Beispiel in den beiden Stimuli „QUELLE“ und „quelle“ ein und dasselbe Wort erkennt (Dehaene et al., 2004). Wenn das benachbarte Areal, das einzelne Buchstaben bevorzugt, ebenfalls von der Variantengestalt abstrahiert, dann ist der Befund von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) ein Hinweis darauf, dass auch schon früher im Verarbeitungsprozess aktivierte Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis genutzt werden können. Von diesen früheren Repräsentationen wäre wiederum unbekannt, ob sie in Gehirnregionen lokalisiert sind, die auf Schrift spezialisiert sind, oder ob sie durch Neurone abgebildet werden, die auf Schrift und Bilder gleichermaßen reagieren.

Buchstaben dürften jedenfalls einerseits auf dieselbe Art repräsentiert sein wie nicht-sprachliche visuelle Reize, andererseits aber auch in schriftspezi-

fischen Repräsentationen. Zu welchen die variantenspezifischen Repräsentationen gehören würden ist unklar, wenngleich es eine eindeutige Konvention in der Literatur zu geben scheint: Sowohl in den *Letter Matching*-Experimenten (z.B. Posner & Mitchell, 1967) als auch in den Studien zu allographischen Repräsentationen (z.B. Venneri et al., 2002) gelten variantenspezifische Repräsentationen als Beleg dafür, dass visuelle Buchstabenmerkmale repräsentiert sind. Sowohl kognitionspsychologische (z.B. Bowers, 1996) als auch psycholinguistische Arbeiten (z.B. Ellis & Young, 1998) definieren hinsichtlich der Groß-/Kleinschreibung spezifizierte Repräsentationen als „konkret“. Damit werden sie gegen abstrakte (orthographische) Repräsentationen von Wörtern beziehungsweise abstrakte (graphemische) Repräsentationen von Buchstaben abgegrenzt. Als abstrakt wiederum gelten Repräsentationen, die keine Spezifikation der Groß-/Kleinschreibung enthalten (z.B. Arguin & Bub, 1995). Doch rechtfertigt diese Unterscheidung von konkreten variantenspezifischen und abstrakten variantenübergreifenden Repräsentationen nicht den Schluss, dass variantenspezifische Repräsentationen auf dieselbe Weise konkret seien wie Bilder.

Petit et al. (2006; hierzu mehr in Kap. 11) vertreten die Auffassung, durch die konkrete Form des Reizes würden zunächst variantenspezifische Repräsentationen aktiviert, die von Merkmalen wie der absoluten Größe oder der Ausrichtung abstrahieren. Variantengestalten sind demnach in Repräsentationen kodiert, die von anderen visuellen Merkmalen der Buchstaben abstrahieren. Fiset et al. (2008) fanden, dass insbesondere Linienenden und horizontale Linien indikativ für die Buchstabenidentität sind. Hinsichtlich solcher Merkmale unterscheiden sich einige Buchstaben je nach Groß-/Kleinschreibung (z.B. A und a). Dies legt nahe, dass abstrakte Vorstellungen von den Merkmalen der variantenspezifischen Buchstaben im kognitiven System angelegt sind, welche

die gezielte Suche nach ihnen leiten. Theoretisch ist also plausibel, dass schriftspezifische, von visuellen Merkmalen abstrahierte und dennoch variantenspezifische Buchstabenrepräsentationen dauerhaft verfügbar sind. Da sich variantenähnliche Buchstaben (wie C und c) auf dieser Ebene nicht unterscheiden, variantenverschiedene Buchstaben (wie G und g) dagegen durchaus, könnte der visuelle Ähnlichkeitseffekt von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) auf den Beitrag dieser Repräsentationsebene im Arbeitsgedächtnis verweisen.

(2) Auf der anderen Seite sind im Zuge der Verarbeitung sicher auch solche Merkmale relevant, die oberflächlicher sind als die für Variantengestalten spezifischen Merkmale. Dafür gibt es sowohl experimentelle als auch klinische Belege: Kirsner und Sang (1979) sowie Sanocki (1988) kommen über ganz unterschiedliche Wege zu dem Schluss, dass die Schriftart (z.B. Calibri oder *Curly M*) bei der Aufnahme von Buchstaben in irgendeiner Weise repräsentiert sein muss; im ersten Fall als konkrete visuelle Form, im zweiten Fall als Erwartung an die konkrete Gestalt des folgenden Buchstabens. Venneri et al. (2002) stellen zwei Patienten vor, bei denen selektiv die Produktion nur eines Schriftstils (d.h. Hand- oder Druckschrift) gestört ist. Demnach sind bei der Verarbeitung auch solche Merkmale von Buchstaben repräsentiert, die für deren Identifikation nicht zentral sind und von Exemplar zu Exemplar wechseln. Der Annahme des unitären Arbeitsgedächtnismodells (z.B. Cowan, 1999) folgend müssten solche Merkmale also auch durch Aufmerksamkeit fokussiert werden können.

Empirische Evidenz dafür, dass oberflächliche Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis genutzt werden können gibt es jedoch nicht. Im kleinsten gemeinsamen Nenner wird Arbeitsgedächtnis als der Aspekt der Kognition definiert, der mit willkürlicher Aufrechterhaltung und Manipulation repräsentierter Information zu tun hat (z.B. Alvarez & Cavanagh, 2004; Baddeley, 1992;

Baddeley & Logie, 1999; Cowan, 1999; Smith & Jonides, 1998). Diese Definition vorausgesetzt lässt sich die Evidenz für die Verwendung oberflächlicher Schriftmerkmale (z.B. Kirsner & Sang, 1979; Sanocki, 1988) nicht auf das Arbeitsgedächtnis beziehen. Die darin realisierten Verarbeitungsaufgaben kommen ohne die Aufrechterhaltung und aufmerksamkeitsbasierte Manipulation der fraglichen Information aus.

Die Evidenzen, die aus Sicht eines unitären Arbeitsgedächtnismodells (z.B. Cowan, 1999) Aufschluss darüber gäben, ob Schrift und Bilder im visuellen Arbeitsgedächtnis interferieren, lassen sich also folgendermaßen zusammenfassen: Schrift und Bilder teilen auf neuronaler Ebene sicher einen Teil ihrer Verarbeitungswege, zum Teil verlaufen diese getrennt. Die neuronalen Strukturen, von denen bekannt ist, dass sie auf Buchstaben spezialisiert sind, beinhalten vermutlich keine Repräsentationen von deren visuellen Merkmalen (etwa zur Buchstabengestalt). Ob die visuellen Merkmale in geteilten oder in schriftspezifischen Strukturen kodiert sind ist ungewiss. Theoretisch scheint es plausibel, dass Variantengestalten in schriftspezifischen Repräsentationen enthalten sind, die bereits von oberflächlichen Merkmalen wie der Schriftart abstrahieren. Doch auch konkrete Merkmale wie die Schriftart sind im Laufe der Buchstabenverarbeitung wirksam. Sofern diese für Arbeitsgedächtnisprozesse verfügbar sind, wären die entsprechenden Repräsentationen wahrscheinlichere Kandidaten für Interferenzen mit Repräsentationen bildhaften Materials als Repräsentationen von Variantengestalten, da sie eher in von Schrift und Bildern geteilten neuronalen Pfaden kodiert sein dürften.

Was lässt sich bis hierhin auf die Ausgangsfrage erwidern, ob schriftlicher Text wie Bilder im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden? Zunächst ist festzustellen, dass „im visuellen Arbeitsgedächtnis“ übersetzt werden

muss: Das bedeutet, Schrift und Bild werden entweder in einer besonderen kognitiven Struktur aufrechterhalten, oder sie teilen bei der Verarbeitung Repräsentationsebenen, auf die das Arbeitsgedächtnis bei seinen Operationen zurückgreift. Keine der beiden Alternativen wird durch direkte Evidenz gestützt. Indirekte Evidenz liefern Studien, die zeigen, dass auch die visuellen Merkmale von Buchstaben, Wörtern oder anderen Schriftzeichen repräsentiert sind.

Eine Fülle an Belegen steht für die Relevanz visueller Merkmale bei der Buchstabenverarbeitung. Es ist nicht selbstverständlich, dass die aufgrund dieser Arbeiten beschriebenen Repräsentationen denen entsprechen, die im Arbeitsgedächtnis zur Verfügung stehen. Gerade im Kontext des Multikomponentenmodells werden die Repräsentationsformate des Arbeitsgedächtnisses in Abgrenzung zu denen der Wahrnehmung definiert. Nur sehr wenige Studien wurden auf der Suche nach visuellen Schriftrepräsentationen mit Arbeitsgedächtnisaufgaben fündig. Diese wurden in Kapitel 4.4 referiert. Yik (1978) und Saito et al. (2008) hatten mit chinesischen und japanischen Schriftzeichen Einflüsse der visuellen Ähnlichkeit auf das serielle Behalten verbaler Information aufgezeigt. Logie et al. (2000) hatten visuelle Ähnlichkeitseffekte in der seriellen Wiedergabe von alphabetischen Materialien nachgewiesen. Diese Befunde wurden als Hinweis auf eine Beteiligung des visuellen Arbeitsgedächtnisses am Behalten schriftlich präsentierten verbalen Materials verstanden.

Die in Kapitel 7 dargestellten Aspekte von Schrift allerdings lassen sie in einem anderen Licht erscheinen: In fast allen genannten Studien sind nämlich die visuellen Merkmale, über die die Ähnlichkeit manipuliert wird, potentiell sprachlich relevant. Wie Lai (2007) zeigte, haben rein visuelle, also oberflächliche Ähnlichkeiten keine Effekte auf Arbeitsgedächtnisleistungen. Nur Ähnlichkeit in Bezug auf orthographisch relevante visuelle Merkmale verursachte Ähn-

lichkeitseffekte. Was die Wörter in der Studie von Logie et al. (2000) anbelangt, lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass die orthographische Nachbarschaft innerhalb der Listen mit hoher Ähnlichkeit deutlich größer war als in Listen mit geringer Ähnlichkeit. Ähnliche Wörter hatten bis zu zwei, mindestens aber eines von drei Graphemen gemeinsam (im Mittel 60 %). In einer visuell unähnlichen Liste dagegen teilten sich die Wörter maximal 30 % der Grapheme, und das nicht an derselben Position der Buchstabenfolgen. Die visuelle Ähnlichkeit ist also mit orthographischer Ähnlichkeit konfundiert, ihr Effekt womöglich ein auf sprachliche Information bezogener. Pattamadilok, Lafontaine, Morais und Kolinsky (2010) zeigten mit alphabetischem Material, dass orthographische Ähnlichkeit in Arbeitsgedächtnisaufgaben zu schlechteren Leistungen führt. Was die Studien von Yik (1978) und Saito et al. (2008) angeht, fehlt die Sprachkenntnis, um sicher zu sein, doch besteht aufgrund der Daten von Lai (2007) der Verdacht, dass es sich auch hier um orthographische Ähnlichkeitseffekte handelt. Den Materialbeispielen der Studie von Saito et al. (2008) ist immerhin zu entnehmen, dass orthographische Ähnlichkeit über identische Radikale an einander entsprechenden Positionen hergestellt wurde. Ob aber Repräsentationen sprachlich relevanter orthographischer Information im Arbeitsgedächtnis Gemeinsamkeiten mit nicht-sprachlicher visueller Information haben, kann bezweifelt werden. Orthographische Information sollte in einem modalitätsübergreifenden mentalen Lexikon vorliegen (z.B. Rapp & Caramazza, 1997; vgl. Kap. 7.3). Ähnlichkeit auf dieser Ebene kann, ohne in visuell-bildhafter Form repräsentiert zu sein, die Arbeitsgedächtnisleistungen beeinflussen und die meisten „visuellen“ Ähnlichkeitseffekte erklären.

Der visuelle Ähnlichkeitseffekt beim Behalten von Buchstabenvarianten von Logie et al. (2000; Exp. 3 & 4) ist allerdings nicht damit erklärbar, dass es

zu Verwechslungen zwischen orthographischen Repräsentationen kommt. Wie erwähnt gelten Buchstabenvarianten konventionell als konkrete visuelle Information, aber es ist unklar, ob Buchstabenvarianten (etwa auf neuronaler Ebene) Gemeinsamkeiten mit visuell-bildhafter Information haben. Wenn Varianteninformation im Arbeitsgedächtnis genutzt wird, bleibt genau zu prüfen, ob sie darin auch wie bildhafte Information repräsentiert ist.

Ehe es allerdings darum geht, ob Buchstabenvarianten wie konkrete visuelle Gestalten bzw. Bilder repräsentiert werden, ist auf zwei gewichtige methodologische Einwände gegen die Experimente 3 und 4 von Logie et al. (2000) hinzuweisen, da diese die Frage aufwerfen, ob bislang überhaupt Evidenz für die Verfügbarkeit von Variantengestalten im Arbeitsgedächtnis existiert. Der erste Vorbehalt betrifft die Materialauswahl, der zweite auf die Auswertung.

1. Die Gedächtnis-*Items* der Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) waren einerseits Buchstaben, deren Variantengestalten sich deutlich unterscheiden, andererseits Buchstaben, deren Varianten nahezu identisch geformt und nur in ihrer Größe verschieden sind. Konkret gehörten zum variantenverschiedenen Set in Experiment 3 die Buchstaben H/h, L/l, R/r, Q/q, D/d und M/m und in Experiment 4 die Buchstaben B/b und G/g anstelle von H/h und M/m. Die Buchstaben des variantenähnlichen Sets waren in Experiment 3 K/k, W/w, Y/y, C/c, X/x und Z/z, in Experiment 4 P/p, V/v und S/s anstelle von X/x, Y/y und Z/z.

Entscheidend ist, dass der Buchstabe W in beiden Experimenten Bestandteil der variantenähnlichen Listen war. W wird im Englischen /ˈdʌbljuː/ gesprochen und hat somit den einzigen dreisilbigen Namen im englischen Alphabet. Die sechs Buchstaben jedes Sets wurden mit ver-

gleichbarer Häufigkeit eingesetzt, so dass zwei Drittel der variantenähnlichen Listen bezüglich der Artikulationsdauer um 50 % länger waren als die variantenverschiedenen Listen, die durchweg vier Silben umfassten. Das bedeutet, dass die Variantenähnlichkeit in der Originalstudie mit der Artikulationsdauer konfundiert war.

Oben (S. 52ff) der Wortlängeneffekt eingeführt, der häufig mit Bezug auf phonologische Merkmale erklärt wird: Bei der inneren Artikulation der verbalen Information führen Faktoren wie die Artikulationsdauer oder die phonologische Komplexität zu Informationsverlust. Entsprechend dem Multikomponentenmodell sollten auch visuelle Listen mittels subvokaler Artikulation im Arbeitsgedächtnis gehalten werden, zumindest ohne artikulatorische Unterdrückung. Dann sollte sich der Unterschied in der Artikulationsdauer negativ auf das Behalten der längeren variantenähnlichen Listen auswirken. Die Leistungsminderung bei der Wiedergabe variantenähnlicher gegenüber unähnlichen Listen könnte also durch einen Wortlängeneffekt verursacht sein. Vielleicht wurden die variantenähnlichen Listen weniger gut wiedergegeben, weil bei der Reaktivierung der Listen im subvokalen Artikulationsprozess relativ mehr Information verloren ging.

2. Die kritische unabhängige Variable war also die Ähnlichkeit der Variantengestalten. Die abhängige Variable der hauptsächlich relevanten Datenanalyse greift diese Manipulation allerdings nicht auf. Das höhere Risiko von Verwechslungen aufgrund der Variantenähnlichkeit im Arbeitsgedächtnis müsste sich auf die Fehlerhäufigkeit bei der Wiedergabe der richtigen Variante von variantenähnlichen im Vergleich zu variantenverschiedenen Buchstaben niederschlagen. In die kritische Analyse von Lo-

gie et al. (2000, Exp. 3 & 4) gingen allerdings die Fehler in der Groß-/Kleinschreibung je Position, unabhängig von der Buchstabenidentität ein. Würde beispielsweise die Originalliste „W k p S“ als „K p w S“ wiedergegeben, würde dies nicht als Fehler gewertet. Dagegen würde für die Wiedergabe von „k W p S“ zwei Fehler (k statt W und W statt k) im Behalten der Varianteninformation gezählt, obwohl beide Buchstaben in der Variante wiedergegeben sind, in der sie auch präsentiert wurden.

Es ist aus dieser Sorte Fehler nicht ersichtlich, ob die visuelle bzw. Variantenähnlichkeit überhaupt in den kritischen Effekt mit eingeht; die Buchstaben K und W ähneln einander schließlich auf vergleichbare Weise wie M und R, und theoretisch könnte anstelle eines M sogar ein W wiedergegeben werden, ohne dass das als Beleg für den Verlust visueller Information gewertet würde. Der zentralen Materialvariation des Experiments nach sollte der Beitrag des visuellen Arbeitsgedächtnisses darin bestehen, die Buchstabengestalten verfügbar zu halten. Das analysierte Fehlermaß bildet diese Möglichkeit aber nicht stringent ab.

Bevor sich also die Frage stellt, welche Art von Repräsentationen (visuell-bildhafte oder schriftspezifische) dem visuellen Ähnlichkeitseffekt beim Behalten von Buchstabenlisten zugrunde liegen, ist zunächst zu klären, ob Variantengestalten überhaupt im Arbeitsgedächtnis nachweisbar sind. Im ersten empirischen Teil werden daher die Experimente von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) modifiziert, um die genannten Einschränkungen aufzuheben.

9. Empirischer Teil I

Diese Ausführungen machen deutlich, dass Ungewissheit darüber besteht, wie die Effekte in der Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) zustande kommen. Bei den Experimenten I-1 bis I-4 handelt es sich um modifizierte Replikationen dieser Studie. Ziel ist es zu klären, inwieweit der visuelle Ähnlichkeitseffekt auf Einflüsse der Variantenähnlichkeit zurückgeht. Vor dem eigentlichen empirischen Teil wird der theoretische Hintergrund zusammengefasst und ein Ausblick auf die Studie gegeben.

9.1 Zusammenfassung und Überblick über die Experimente

Die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009) legt Empfehlungen für die Aufbereitung von Lehrmaterialien die These zugrunde, die Verarbeitung schriftlicher Texte interferiere im visuellen Arbeitsgedächtnis mit der Verarbeitung von Bildern (vgl. Kap. 3). Zahlreiche Befunde zeigen jedoch, dass auch visuell präsentierte sprachliche Information im Arbeitsgedächtnis vorwiegend in phonologischer Form zur Verfügung steht (etwa Befunde zur phonologischen Ähnlichkeit oder zum Wortlängeneffekt, vgl. Kap. 4.2.1). Einflüsse visueller Merkmale lassen sich häufig nicht feststellen (z.B. Baddeley, 1966) oder sind als Einflüsse linguistisch relevanter orthographischer Information erklärbar (z.B. Lai, 2007; vgl. Kap. 8). Eine Studie jedoch belegt einen Einfluss der Variantenähnlichkeit von Buchstaben im seriellen Wiedergabeparadigma sowohl mit als auch ohne artikulatorischer Unterdrückung (Logie et al., 2000, Exp. 3 & 4). Diese Studie wird als Hinweis auf einen generellen Beitrag des visuellen Arbeitsgedächtnisses am verbalen Behalten gewertet.

Das im Rahmen des Multikomponentenmodells entwickelte Konzept des visuellen Arbeitsgedächtnisses kann nicht schlüssig auf so vertraute Informati-

on wie Buchstaben angewendet werden kann (vgl. Kap. 4.5). Als Untersuchungsmaterial werden in der Regel neuartige Stimuli eingesetzt, und vielleicht hängt es damit zusammen, dass Information in dieser Komponente einem inneren Bild gleicht. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern Repräsentationen von Buchstabengestalten visuell sind. Das unitäre Arbeitsgedächtnismodell (z.B. Cowan, 1999; vgl. Kap. 5) lässt die Möglichkeit zu, dass jegliche bei der Enkodierung eines Reizes fokussierte Information auch im Arbeitsgedächtnis genutzt werden kann. Eine Skizze des Verarbeitungswegs visueller Information und Schrift insbesondere auf neuronaler Ebene verdeutlicht, dass es in den frühen Verarbeitungsstadien Gelegenheit zu Schrift-Bild-Interferenzen gibt (vgl. Kap. 6). Ob allerdings Buchstabengestalten wie visuelle Information in den frühen Verarbeitungsstadien oder auf schriftspezifische Weise repräsentiert sind, lässt sich aus den verfügbaren Studien nicht erschließen. Fest steht jedoch, dass bei der Identifikation von Buchstaben sowohl die Merkmale der Variantengestalten (z.B. Sanocki, 1988) als auch oberflächlichere Merkmale der Schriftart (z.B. Kirsner & Sang, 1979) relevant und wenigstens kurzfristig repräsentiert sind (vgl. Kap. 7). Ob solche Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis, also willkürlich genutzt werden können, ist keinesfalls sicher:

Die Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4), der einzige Beleg für die Verfügbarkeit von Variantengestalten im Arbeitsgedächtnis, ist aus methodischen Gründen kaum interpretierbar. Der Unterschied zwischen variantenähnlichen und -verschiedenen Buchstaben geht möglicherweise nicht auf Repräsentationen der Buchstabengestalten zurück. Der Datenanalyse liegt ein „*Skyline*“-Maß zugrunde, das nicht geeignet ist, die Verfügbarkeit visuell vermittelter Merkmale der Buchstaben abzubilden, da es von den Buchstabenidentitäten absieht und nur die Größe je Position wertet (vgl. Kap. 8). Auch die visuellen

Merkmale der Gesamtliste kommen im „*Skyline*“-Maß nicht zum Tragen, denn sonst müssten die variantenähnlichen besser als die variantenverschiedenen Listen wiedergegeben werden, nicht schlechter (vgl. Kap. 4.5).

Anders als in der Originalstudie wurden hier in allen Experimenten die Wiedergabefehler nach der Art der Information getrennt, deren Verlust darin zum Ausdruck kommt. Als primär kritisches Maß wurden Fehler in der Wiedergabe der Variante eines korrekt erinnerten Buchstabens analysiert, da sich darin der Verlust variantenspezifischer Buchstabenrepräsentationen äußert. Die Manipulation der Variantenähnlichkeit sollte sich auf die Variantenfehlerraten auswirken. Ein solcher Einfluss von visuell vermittelten Buchstabenmerkmalen würde bedeuten, dass (subgraphemische) visuelle Merkmale von Buchstaben der aufmerksamkeitskontrollierten Verarbeitung zugänglich sind. Das wäre ein erster Hinweis auf Schrift-Bild-Interferenzen im visuellen Arbeitsgedächtnis.

Experiment I-1 dient der Replikation des visuellen Ähnlichkeitseffekts, der im Folgenden Variatenähnlichkeitseffekt genannt wird. Dieser Begriff macht kenntlich, dass es um eine ganz bestimmte Informationsart geht, die vorab nicht mit visueller Information im Allgemeinen gleichzusetzen ist. Die Materialvariation verspricht Erkenntnis darüber, ob die visuelle Erscheinung, die Gestalt von Buchstaben, im Arbeitsgedächtnis genutzt werden kann, denn diese Gestalt gibt nur bei unähnlichen Varianten Aufschluss über die Groß-/Kleinschreibung, die bei der Wiedergabe berücksichtigt werden soll. In dieser Replikation wird die Konfundierung von Variantenähnlichkeit und Artikulationsdauer aufgehoben. Diese könnte die schlechtere Wiedergabe der Listen variantenähnlicher gegenüber variantenverschiedener Buchstaben in der Originalstudie, zumindest für die Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung, mit Bezug auf rein phonologische Information erklären (/dʌbljuː/-Hypothese).

Experiment I-2 soll in Kombination mit I-1 die Hypothese prüfen, ob der von Logie et al. (2000) berichtete Effekt in der stillen Bedingung (d.h. ohne artikulatorische Unterdrückung) auf die Wortlänge anstelle von visuellen Merkmalen zurückführbar ist. Dafür wird der einzige dreisilbige Buchstabe des deutschen Alphabets verwendet, der sich zumindest in der verwendeten Schriftart wie das /dʌblju:/ als variantenähnlicher Buchstabe darstellt, nämlich das /'ypsilon/.² Wenn die Artikulationsdauer der Buchstabennamen die schwächeren Gedächtnisleistungen für variantenähnliche Buchstaben verursacht, sollte der Variantenähnlichkeitseffekt ohne artikulatorische Unterdrückung in Experiment I-2, nicht aber in Experiment I-1 nachweisbar sein.

Mit Experiment I-3 wird die Prüfung der /dʌblju:/-Hypothese mit Muttersprachlern des Englischen fortgeführt, da das /'ypsilon/ wie ein (einsilbiger) Vokal ausgesprochen werden kann. In Glasgow werden sowohl eine exakte Replikation des Experiments 4 von Logie et al. (2000) als auch eine Replikation mit Z/z anstelle von W/w realisiert. Für erstere werden schwächere Wiedergabeleistungen für variantenähnliche gegenüber –verschiedenen Buchstaben sowohl in der Bedingung mit als auch in der ohne artikulatorische Unterdrückung erwartet. Für letztere wird ein Variantenähnlichkeitseffekt nur unter artikulatorischer Unterdrückung vorhergesagt. Dieses Muster würde die /dʌblju:/-Hypothese belegen.

Experiment I-4 prüft, ob die Diskrepanzen zwischen den Befunden mit englisch- und denen mit deutschsprachigen Probanden auf einen Deckeneffekt in der Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung im Deutschen zurück-

² In vielen Schriftarten weicht das kleine y vom großgeschriebenen Y leicht ab; so ist die Unterlänge des y schräger als der „Stamm“ des Y, und manchmal endet sie zusätzlich in einem angedeuteten Haken. Auf ähnliche Weise sind die Varianten K und k voneinander leicht verschieden. Dennoch sind bei diesen Buchstaben die Varianten deutlich ähnlicher als bei irgendeinem der variantenverschiedenen Buchstaben. Dies zeigt sich auch im Variantenähnlichkeits-*Rating*.

gehen. Es werden Listen von je sechs Buchstaben verwendet, um auch in der stillen Bedingung genügend Fehler zu erhalten.

9.2 Materialerstellung

Sowohl die Materialien als auch der Ablauf dieser modifizierten Replikationen sind eng an die Originalstudie von Logie et al. (2000) angelehnt. Einige Änderungen sind aufgrund der Unterschiede zwischen englischen und deutschen Buchstabennamen notwendig. So werden nicht dieselben Buchstaben verwendet, sondern bei der Auswahl die Kriterien angelegt, die auch Logie et al. (2000) berücksichtigten. Dies sind die phonologische Ähnlichkeit und die Frequenz, wobei in der vorliegenden Untersuchung manchmal Kompromisse eingegangen werden müssen. In solchen Fällen wird der phonologischen Ähnlichkeit Vorrang vor Maßen der Frequenz gegeben, da von phonologischen Merkmalen angenommen werden muss, dass sie das verbale Behalten besonders stark beeinflussen (vgl. Kap. 4.2.1 und 4.3). Die Buchstabenfrequenz dagegen sollte weniger entscheidend für die Wiedergabeleistung sein, da jeder Buchstabe im Rahmen des Experiments häufig vorkommt und die Grundaktivierung aller Buchstaben deswegen sehr hoch sein dürfte.

9.2.1 Kontrolle phonologischer Einflüsse

Die variantenähnlichen und variantenverschiedenen Buchstabensets sollen sich nicht hinsichtlich der phonologischen Ähnlichkeit der Buchstaben unterscheiden, und das Risiko von Verwechslungen aufgrund der phonologischen Repräsentationen der Buchstabennamen soll so gering wie möglich gehalten werden. Für das Englische gibt es in der Literatur mehrere Untersuchungen zur Wahrscheinlichkeit von „akustischen“ Verwechslungen zwischen auditiv präsentierten Buchstaben (z.B. Conrad, 1964). Eine solche zogen Logie et al. (2000) als Grundlage für ihre *Item*-Auswahl heran (Hull, 1973). Solche *Confusion Matrices*

gibt es für das Deutsche noch nicht. Listen vergleichbarer Ähnlichkeit wurden deshalb auf Grundlage des Phonetischen Alphabets der *International Phonetic Association* (IPA, 2005) erstellt. In Tabelle 9-1 sind für die Namen aller Buchstaben, die in dieser Arbeit als Experimentalmaterial verwendet werden, entsprechende phonetische Beschreibungen aufgeführt. Geteilte phonologische Merkmale betreffen insbesondere die Vokale; die Buchstabennamen haben häufig ein /ɛ/ zum *Onset* oder ein /e:/ im Reim. Über die Materialsets hinweg wurde daher die Anzahl gleichlautender *Onsets* und Reime konstant gehalten.

9.2.2 Kontrolle der Frequenz und Sonstiges

Das zweite Merkmal, in dem sich variantenähnliche und -verschiedene Listen nicht unterscheiden sollen, ist die Frequenz der Buchstaben, da diese Einfluss auf den Grad der Vertrautheit des Materials hat. Entsprechende Angaben beruhen gewöhnlich auf extrapolierten Auszählungen der Buchstaben in Zeitungstexten und sind als Näherungswerte für das Vorkommen in der Erfahrung jedes Menschen zu verstehen. Die hier berichteten Werte sind Beutelspacher (2005) entnommen. Sie entsprechen dem Anteil des Vorkommens jedes Buchstaben in deutschsprachigen Texten relativ zu allen anderen Buchstaben. Zusätzlich zu den Vorgaben der Originalstudie wurde kontrolliert, dass sich in jedem Set gleich viele alphabetische Buchstabenfolgen befanden. Solche Folgen dürften als überlernte *Cluster* besonderes leicht erinnert werden.

9.2.3 Vorstudie zur Variantenähnlichkeit

Zentrale Größe bei der Zusammenstellung der Materialien ist die visuelle Ähnlichkeit der beiden Varianten jedes Buchstaben. Analog zum Vorgehen von Logie et al. (2000, Exp. 4) wurde die Variantenähnlichkeit jeder Buchstabenidentität in einem Vortest erfasst (s. Anhang A1, S. 356) und die *Items* dann mit dem Ziel maximaler Verschiedenheit beider Sets zusammengestellt. Die

visuelle Ähnlichkeit über die Buchstaben eines Sets hinweg ist notwendigerweise für die variantenähnlichen Buchstaben größer als für die variantenverschiedenen, da pro Buchstabe nur eine statt zwei Gestalten existieren.

Zehn Studierenden der Universität Erfurt, die an keinem weiteren Experiment im Rahmen dieser Arbeit teilnahmen, wurde ein *Rating*-Bogen mit je neun variantenähnlichen und variantenverschiedenen Buchstaben in pseudorandomisierter Anordnung vorgelegt. Die Buchstaben standen in der im Experiment verwendeten Schriftart jeweils am Kopf einer sechs Zentimeter langen Linie, die in der Instruktion als Skala für die Variantenähnlichkeit eingeführt wurde. Das linke Linienende stand für maximale, das rechte für minimale Variantenähnlichkeit, und die Probanden wurden gebeten, für jeden Buchstaben ihr Urteil in Form eines Kreuzchens auf der Linie abzutragen. Zur Auswertung der Bögen wurde dessen Position auf der Linie ausgemessen, der Wert wurde zur Linienlänge in Beziehung gesetzt (z.B. 4,5 cm von 6 cm). Das Resultat wurde je Buchstabe über die Probanden gemittelt und als Maß für die Variantenähnlichkeit herangezogen. Kleinere Werte entsprechen größerer Ähnlichkeit.

In der Materialbeschreibung zu jedem Experiment werden die Kenngrößen Frequenz, Anzahl geteilter phonologischer Merkmale in *Onset* oder Reim der Buchstabennamen sowie visuelle Ähnlichkeit gemäß dem Vortest genannt. Bei der Auswahl der *Items* wurde bezüglich der nicht interessierenden Größen immer darauf geachtet, Unterschiede zwischen den Materialsets zu minimieren und, soweit sie nicht zu vermeiden waren, Unterschieden den Vorzug zu geben, die der Richtung der erwarteten Effekte entgegengesetzt sind. Wenn Prioritäten gesetzt werden mussten, wurde der Anzahl geteilter phonologischer Merkmale vor der Frequenz Vorrang gegeben. Konfundierungen von phonologischer und visueller Ähnlichkeit können daher weitgehend ausgeschlossen werden.

Tabelle 9-1. Phonetische Beschreibung der Namen der Buchstaben (im Deutschen), die in der vorliegenden Arbeit als Experimentalmaterial verwendet wurden, gemäß IPA (2005). Variantenverschiedene Buchstaben sind grün, variantenähnliche Buchstaben orange gekennzeichnet.

Buchstaben	Name	Phonetische Beschreibung
B, b	/be:/	plosiv/bilabial/stimmhaft - close-mid/front/long(vowel)
F, f	/ɛf/	open-mid/front-central(vowel) - frikativ/labiodental/stimmlos
J, j	/jɔt/	approximant/palatal - open-mid/back(vowel) - plosiv/alveolar/stimmlos
M, m	/ɛm/	open-mid/front-central(vowel) - nasal/bilabial
Q, q	/ku:/	plosiv/velar/stimmlos - close/back/long(vowel)
R, r	/ɛr/ (/ɛʀ/)	open-mid/front-central - trill/alveolar
G, g	/ge:/	plosiv/velar/stimmhaft - close-mid/front/long(vowel)
C, c	/tse:/	plosiv/alveolar/stimmlos - frikativ/alveolar/stimmlos - close-mid/front/long(vowel)
K, k	/ka/	plosiv/velar/stimmlos - open/central(vowel)
P, p	/pe:/	plosiv/bilabial/stimmlos - close-mid/front/long(vowel)
S, s	/ɛs/	open-mid/front-central(vowel) - frikativ/alveolar/stimmlos
V, v	/faʊ/	frikativ/labiodental/stimmlos - diphthong-open/central-linking-close/back
W, w	/ve:/	frikativ/labiodental/stimmhaft - close-mid/front/long(vowel)
Y, y	/'ypsilon/	close(-mid)/front(-central)(vowel) - plosiv/bilabial/stimmlos - frikativ/alveolar/stimmlos - close/front(vowel) - lateral approximant/alveolar - close-mid/back/long(vowel) - nasal/alveolar
Z, z	/tset/	plosiv/alveolar/stimmlos - frikativ/alveolar/stimmlos - open-mid/front-central(vowel) - plosiv/alveolar/stimmlos

9.3 Experiment I-1

9.3.1 Design

Es wurde ein zweifaktorielles Design mit den unabhängigen Variablen VARIANTENÄHNLICHKEIT (variantenverschieden: DIS; variantenähnlich: SIM) und ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG (ohne: -AS; mit: +AS; AS für Engl.: *Articulatory Suppression*) realisiert. Beide wurden innerhalb von Probanden variiert. Als abhängige Variablen wurden Buchstaben-, Positions- und Variantenfehler analysiert.

9.3.2 Methode

9.3.2.1 Stichprobe

32 Studierende der Universität Erfurt wurden in Einzelsitzungen von je einer halben Stunde Dauer getestet. Sie waren allesamt Muttersprachler des Deutschen und hatten sich auf eine Einladung für „ein Experiment zum Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Die Probanden waren in ihrer Sehkraft nicht eingeschränkt, oder aber sie brachten Sehhilfen mit. Für die Teilnahme erhielten sie entweder eine halbe Versuchspersonenstunde oder drei Euro. Gegen Mundtrockenheit infolge der artikulatorischen Unterdrückung wurde hier und in allen weiteren Experimenten Mineralwasser angeboten. Zwei Probanden wurden ausgeschlossen; einer, weil er bei der Wiedergabe nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben differenzierte, und der andere, weil er das Experiment vorzeitig abbrach.

9.3.2.2 Material

Den in Kapitel 9.2 dargelegten Kriterien folgend, wurden für die DIS-Listen die variantenverschiedenen Buchstaben B/b, F/f, J/j, M/m, Q/q und R/r ausgewählt, für die SIM-Listen die variantenähnlichen Buchstaben K/k, P/p,

S/s, V/v, W/w und Z/z. Im Ähnlichkeits-*Rating* liegen die DIS-Listen im Mittel bei 0,497 und die SIM-Listen bei 0,092. Die Buchstaben des DIS-Sets teilen drei phonologische Merkmale, die alle den *Onset*-Vokal betreffen; von den SIM-Buchstaben haben zwei denselben Reim-Vokal. SIM-Listen waren also phonologisch weniger verwechselbar als DIS-Listen, so dass der erwartete nachteilige Einfluss der Variantenähnlichkeit nicht auf höhere phonologische Ähnlichkeit zurückführbar wäre. Die mittlere Frequenz liegt bei 2,60 % für das DIS- und 2,16 % für das SIM-Set. Jedes Set beinhaltet eine alphabetische Folge von zwei Buchstaben (QR und VW).

Mit den genannten Buchstaben wurden pro Set 36 Viererlisten für das Experiment und acht als Übungsdurchgänge gebildet. Gemäß den Angaben im Artikel von Logie et al. (2000) beinhaltet jede Liste vier Buchstaben eines Sets, war also bzgl. der Variantenähnlichkeit homogen. Jeder Buchstabe wurde gleich häufig in jeder seiner beiden Varianten, gleich häufig auf jeder Listenposition, und pro Liste nur einmal dargeboten. Zusätzlich zu den Vorgaben der Originalstudie wurden die Übergangswahrscheinlichkeiten kontrolliert, so dass keine Buchstabenfolge häufiger oder seltener ist als eine andere. Auch die Muster, die sich aus der Abfolge von Groß- und Kleinbuchstaben ergeben, waren gleich über DIS- und SIM-Listen verteilt (die Listen sind in Anhang B1, S. 358 aufgeführt). Im gesamten Experiment wurden die Buchstaben in der Schriftart *Comic Sans MS*, 40 pt., in schwarz auf hellgrauem Hintergrund an einem Notebook präsentiert.

9.3.2.3 Ablauf

Die Probanden lasen zunächst die Instruktion, die Anhang C1 (S. 373f) zu entnehmen ist. Jede Buchstabenliste sollte hinsichtlich Buchstabenidentität, Abfolge und Groß-/Kleinschreibung möglichst wie dargeboten wiedergegeben werden. Als Bestandteil der Instruktion wurden alle Buchstaben einmal vorge-

stellt. Um sicherzugehen, dass jeder Buchstabe auch hinsichtlich der Variante ohne Probleme erkannt werden konnte, ließ sich die Versuchsleiterin das gesamte Material vorlesen (z.B. „kleines b, großes V...“). Da die Varianten der SIM-Buchstaben nur an ihrer relativen Größe auseinanderzuhalten sind, wurde mit Hilfe von Klammern links und rechts jedes Buchstabens seine Größe kenntlich gemacht, um Fehlidentifikationen zu verhindern. Während Kleinbuchstaben zumindest mit ihrem Körper nicht an den oberen Rand der Klammern heranreichen, ragen Großbuchstaben immer darüber hinaus (vgl. Abb. 9-1).

DIS-Set: [B] [b] [F] [f] [J] [j] [M] [m] [Q] [q] [R] [r]
 SIM-Set: [K] [k] [P] [p] [S] [s] [V] [v] [W] [w] [Z] [z]

Abbildung 9-1. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-1 präsentiert wurden.

Der Ablauf eines Durchgangs ist in Abbildung 4-4 (S. 61) dargestellt. Ein Tonsignal läutete jeden Durchgang ein, und nach einer Sekunde, während der der Bildschirm leer blieb, begann die Darbietung der Buchstabenliste. Die Buchstaben wurden sequentiell für je 500 ms in der Mitte des Bildschirms eingeblendet, immer gefolgt von einem ebenso langen Interstimulusintervall (d.h. 500 ms leerer Bildschirm). Nach dem letzten Interstimulusintervall war zunächst für eine Sekunde das Wort „Wiedergabe“ zu lesen, woraufhin die acht Sekunden Wiedergabezeit begannen. Diese endeten wiederum mit einem Tonsignal, das den nächsten Durchgang ankündigte.

Die Wiedergabe erfolgte handschriftlich auf einem Wiedergabebogen (s. Anhang D, S. 384), der für jeden Durchgang einen vertikal in vier Felder unterteilten Rahmen mit einer horizontalen Linie enthielt. Damit die großen und kleinen Buchstabenvarianten bei der Auswertung eindeutig identifizierbar wa-

ren, wurden die Probanden gebeten, Großbuchstaben über und Kleinbuchstaben unter diese Linie zu schreiben. Wurde ein Buchstabe überhaupt nicht erinnert, sollte das seiner Listenposition entsprechende Feld frei gelassen werden.

Wie in der Originalstudie waren die Durchgänge auf zwei Blöcke verteilt, bestehend jeweils aus 18 SIM- und 18 DIS-Listen, die zu etwa gleichen Anteilen je Position aus den dazugehörigen Buchstaben bestanden. Die Probanden durchliefen jeweils einen der Blöcke mit artikulatorischer Unterdrückung, den anderen ohne Zweitaufgabe; die Hälfte begann mit der stillen Bedingung. Die Abfolge der Blöcke sowie die Abfolge der *Items* innerhalb der Blöcke waren randomisiert. Für die Präsentation und die Randomisierung wurde das Experimentalsteuerungsprogramm DMDX (Forster & Forster, 2003) verwendet. Jedem Block gingen acht Übungsdurchgänge voraus, je vier SIM- und DIS-Listen. Die artikulatorische Unterdrückung bestand darin, laut von eins bis fünf zu zählen, sowohl während der Darbietungs- als auch während der Wiedergabephasen. Am Ende des Experiments wurden die Probanden nach Strategien befragt und über den Hintergrund der Erhebung informiert.

9.3.2.4 Hypothesen

Es ist ein Haupteffekt für artikulatorische Unterdrückung im Sinne geringerer Fehlerhäufigkeiten in der stillen Bedingung gegenüber der mit Artikulation zu erwarten. Hohe (SIM) gegenüber niedriger (DIS) Variantenähnlichkeit sollte sich nachteilig auf die Leistungen auswirken. Da dieser Variantenähnlichkeitseffekt sich aus der visuellen Unterscheidbarkeit der Buchstabenvarianten ergibt, sollte er die Rate der Variantenfehler beeinflussen.

9.3.3 Ergebnisse

9.3.3.1 Datenaufbereitung

Jeder Buchstabe konnte hinsichtlich seiner Identität falsch oder richtig sein, und nur in letzterem Fall kann man es an der falschen Listenposition und/oder in der falschen Variante wiedergeben. Das Auftreten der Fehler wurde jeweils in Häufigkeiten übersetzt; Buchstabenfehler durch Relativierung an der Anzahl der präsentierten Buchstaben (je Zelle $18 \times 4 = 72$), Positions- und Variantenfehler jeweils an der Anzahl der korrekt wiedergegebenen Buchstabenidentitäten relativiert. Buchstaben, die bezüglich Position und Variante falsch wiedergegeben wurden, sind in beiden Fehlermaßen enthalten.

Die beobachteten Häufigkeiten aller drei Fehlertypen wurden als abhängige Variablen in separaten ANOVAs mit den unabhängigen Variablen ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG und VARIANTENÄHNLICHKEIT über Probanden hinweg analysiert. Sie sind nebeneinander in Abbildung 9-2 graphisch dargestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Fehlerhäufigkeiten aus den Experimenten I-1 bis I-4 sind in Tabelle 9-2 (S. 173) aufgeführt. Als Maß für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der F -Wert war kleiner als eins.

9.3.3.2 Auswertung

Buchstabenfehler. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 29) = 81.21$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .737$ (-AS 1,30 % vs. +AS 19,65 %). Weder der Effekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT noch die Interaktion beider Variablen waren signifikant, $F(1, 29) = 1.028$, $p = .319$, $\eta_p^2 = .034$ (DIS 10,81 % vs. SIM 10,14 %) bzw. $F(1, 29) = 2.768$, $p = .107$, $\eta_p^2 = .087$.

Positionsfehler. ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG führte zu einem starken Anstieg der Fehlerraten (-AS 1,14 % vs. +AS 19,46 %), $F(1, 29) = 96.805$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .769$. Variantenverschiedene Buchstaben wurden häufiger an der richtigen Position wiedergegeben als variantenähnliche Buchstaben (DIS 9,09 % vs. SIM 11,50 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 29) = 7.051$, $p = .013$, $\eta_p^2 = .196$. Auch die Interaktion beider Faktoren ist signifikant, $F(1, 29) = 4.604$, $p = .040$, $\eta_p^2 = .137$. Nur unter artikulatorischer Unterdrückung trat der Nachteil für variantenähnliche Buchstaben zutage: Geplante Vergleiche ergaben einen Effekt der Variantenähnlichkeit in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung, $F(1, 29) = 6.050$, $p = .020$, $\eta_p^2 = .173$ (DIS 17,19 % vs. SIM 21,72 %), nicht aber in der stillen Bedingung, $F < 1$ (DIS 1,00 % vs. SIM 1,28 %).

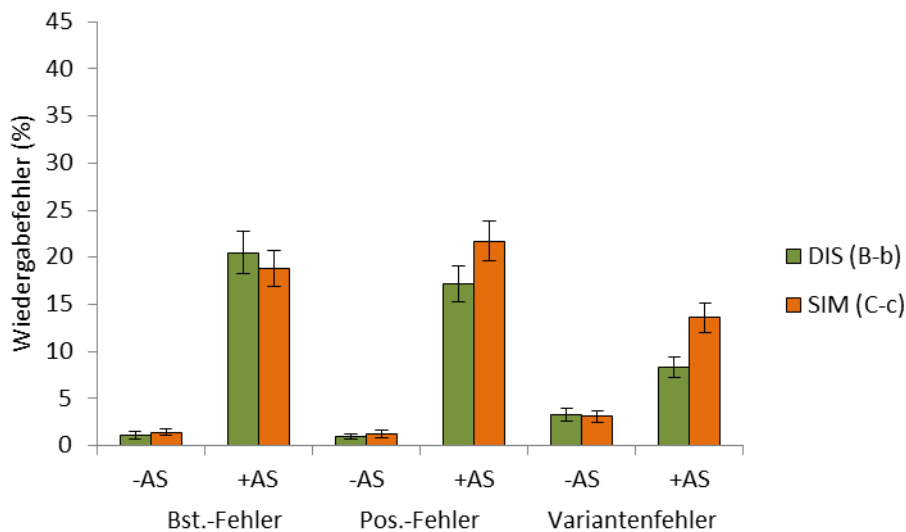


Abbildung 9-2. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-1, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Variantenfehler. Mit artikulatorischer Unterdrückung waren Variantenfehler deutlich häufiger als ohne (-AS 3,20 % vs. +AS 10,96 %). Variantenähnli-

che Buchstaben wurden häufiger als variantenverschiedene Buchstaben in der falschen Variante wiedergegeben (DIS 5,80 % vs. SIM 8,36 %). Dies galt jedoch nur für die Bedingung mit Artikulation. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 29) = 45.940$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .613$. Auch der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 29) = 12.129$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .295$. Die Interaktion beider Faktoren war ebenfalls signifikant, $F(1, 29) = 16.368$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .361$. In geplanten Vergleichen erwies sich der Variantenähnlichkeitseffekt nur in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung als bedeutsam, $F(1, 29) = 18.348$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .388$ (DIS 8,31 % vs. SIM 13,60 %); ohne Artikulation unterschieden sich die Fehleraten nicht, $F < 1$ (DIS 3,29 % vs. SIM 3,11 %).

Folgende Analysen wurden zusätzlich durchgeführt, um auszuschließen, dass das Befundmuster in den Variantenfehlern nicht in Abhängigkeit von der Abfolge der Experimentalblöcke mit und ohne artikulatorische Unterdrückung oder der Listenposition entsteht. Der Einfluss der Abfolge der Blöcke äußerte sich in den verschiedenen Fehlermaßen in vergleichbaren Effekten. Wurde die Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung als zweite durchlaufen, traten darin mehr Fehler auf, als wenn das die erste Bedingung war. Die zentralen Befunde blieben davon jedoch unberührt. In den Variantenfehlern fand sich kein Haupteffekt für die Abfolge der Blöcke, $F(1, 28) = 1.017$, $p = .322$, $\eta_p^2 = .035$. Weder die Interaktion der Abfolge mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG, $F < 1$, noch die Interaktion von Abfolge und VARIANTENÄHNLICHKEIT waren signifikant, $F(1, 28) = 1.347$, $p = .256$, $\eta_p^2 = .046$. Die Dreifachinteraktion war marginal signifikant, $F(1, 28) = 3.403$, $p = .076$, $\eta_p^2 = .108$, was darauf zurückgeht, dass der Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung mit Artikulation größer war, wenn diese als zweite durchlaufen wurde, $F(1, 28)$

= 18.803, $p < .001$, $\eta_p^2 = .529$ (DIS 8,15 % vs. SIM 15,48 %), als wenn sie die erste war, $F(1, 28) = 3.682$, $p = .065$, $\eta_p^2 = .247$ (DIS 8,47 % vs. SIM 11,72 %). In der stillen Bedingung dagegen trat unabhängig von der Abfolge kein Variantenähnlichkeitseffekt auf, beide F s < 1 (DIS 4,03 % vs. SIM 3,50 %, wenn der Block mit Artikulation der erste war bzw. DIS 2,55 % vs. SIM 2,72 %, wenn die stille Bedingung zuerst durchlaufen wurde).

Die Listenposition in der Liste verursachte über die Fehlermaße hinweg ebenfalls gleichgerichtete Effekte. Auf der ersten Position wurden am wenigsten Fehler gemacht, über die zweite stiegen die Fehlerzahlen bis zur dritten an, um auf der vierten wieder leicht abzufallen, wenn auch nicht auf das Niveau der ersten. Dieser Verlauf zeigte auch in den Variantenfehlern, und er war mit artikulatorischer Unterdrückung stärker ausgeprägt als ohne (-AS 2,15 %, 3,34 %, 4,46 % und 2,86 % gegenüber +AS 5,70 %, 12,43 %, 14,98 % und 2,86 % Variantenfehler auf Positionen eins bis vier). Der Haupteffekt für Listenposition war signifikant, $F(3, 87) = 12.678$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .304$. Listenposition interagierte mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG, $F(3, 87) = 5.051$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .148$. Mit VARIANTENÄHNLICHKEIT interagierte Listenposition nicht, und auch die Interaktion aller drei Faktoren war nicht signifikant, beide F s < 1 .

9.3.4 Diskussion

Drei Fehlertypen wurden separat hinsichtlich der Auswirkungen von artikulatorischer Unterdrückung und Variantenähnlichkeit analysiert, und zwar Wiedergabefehler bezüglich der Buchstabenidentität, der Listenposition und der Buchstabenvariante. Die zwischen den Buchstabenlisten variierte Variantenähnlichkeit beeinflusste die Wiedergabegenauigkeit vor allem hinsichtlich der Buchstabenvariante. Variantenfehler waren signifikant häufiger, wenn die Buchstabenvarianten einander sehr ähnlich sehen, als wenn sie deutlich ver-

schieden sind. Dieser Unterschied war allerdings auf die Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung beschränkt.

Ehe diese Befunde inhaltlich interpretiert werden sei angemerkt, dass die Variantenfehlerrate ebenso wie die Positionsfehlerrate nicht unabhängig von der Häufigkeit der Buchstabenfehler ist: Je weniger Buchstaben korrekt wiedergegeben werden, desto kleiner ist die Anzahl an Buchstaben, die überhaupt noch bezüglich ihrer Richtigkeit in Variante oder Position erfasst werden können, und desto schwerer fällt jeder einzelne Fehler ins Gewicht. Was die vor allem Anderen interessante Interaktion von artikulatorischer Unterdrückung und Variantenähnlichkeit anbelangt, ist allerdings ausgeschlossen, dass sie durch ungleiche Gewichtungen der Variantenfehler zustande kam, da variantenverschiedene seltener als -ähnliche Buchstaben wiedergegeben wurden. Die Variantenfehler der DIS-Bedingung wirken an ihrer Grundgesamtheit relativ häufiger als die Variantenfehler in der SIM-Bedingung relativ zu ihrer (größeren) Grundgesamtheit – und trotzdem ist der prozentuale Anteil an Variantenfehlern in der SIM-Bedingung größer als in der DIS-Bedingung.

Ein überraschender Befund ist der Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung in den Fehlern, die die Abfolge der Buchstaben in einer Liste betreffen. Auf den ersten Blick könnte dieser Effekt die Interpretation von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) stützen, dass die Verfügbarkeit eindeutiger Varianteninformation das Behalten der Abfolge erleichtert, dass eine „*Skyline*“ aus DIS-Buchstaben besser rekonstruiert werden kann als eine aus SIM-Buchstaben. Da in den Analysen zu Experiment I-1 allerdings nur für richtig erinnerte Buchstabenidentitäten überhaupt Positionsfehler berechnet wurden, handelt es sich doch um ein anderes Maß als in der Originalstudie. Davon abgesehen gibt es einen Ansatz, diesen Variantenähnlichkeitseffekt

fekt auch auf Fehler in der Wiedergabe der Buchstabenvarianten zu attribuieren: Fehler, die sowohl die Abfolge als auch die Variante betrafen, waren beiden Fehlermaßen zugeordnet. Differenziert man die Positionsfehler danach, ob sie ausschließlich die Abfolge oder außerdem die Variante betreffen, bleibt in den kombinierten Fehlern der Haupteffekt für Variantenähnlichkeit signifikant, $F(1, 29) = 8.670$, $p = .006$, $\eta_p^2 = .231$. Auch dessen Interaktion mit artikulatorischer Unterdrückung bleibt in den kombinierten Fehlern signifikant, $F(1, 29) = 7.248$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .120$. In den reinen Positionsfehlern dagegen zeigt sich ein Einfluss der Variantenähnlichkeit weder generell noch in Interaktion mit artikulatorischer Unterdrückung (beide F s < 1). Um auszuschließen, dass der Variantenähnlichkeitseffekt grundsätzlich nur in den Fehlern auftritt, die Position und Variante betreffen, wurden auch die Variantenfehler unter Ausschluss der kombinierten Fehler analysiert. Sowohl der Variantenähnlichkeitseffekt war signifikant, $F(1, 29) = 4.273$, $p = .048$, $\eta_p^2 = .128$, als auch seine Interaktion mit artikulatorischer Unterdrückung, $F(1, 29) = 5.062$, $p = .032$, $\eta_p^2 = .149$.

Alle Effekte der Variantenähnlichkeit resultieren also aus Einflüssen der Ähnlichkeit der groß- und kleingeschriebenen Buchstabenvarianten auf die Häufigkeit der Fehler in der Variantenwahl. Dies belegt, dass bei entsprechender Aufgabenstellung Repräsentationen der konkreten visuellen Gestalt von Buchstaben in einer verbalen Arbeitsgedächtnisaufgabe einen Beitrag leisten können. Dies steht im Gegensatz zu der Originalstudie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4), in der solche Effekte auch ohne Artikulation auftraten. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz wurde bereits in Kapitel 8 eingeführt: Da in der Originalstudie der Dreisilber /'dʌblju:/ Teil der variantenähnlichen Buchstabensets war, könnte die Artikulationsdauer Ursache des vermeintlichen Variantenähnlichkeitseffekts in der stillen Bedingung sein. Ohne artikulatorische Un-

terdrückung werden die Buchstaben durch subvokale Artikulation phonologisch rekodiert. Dann sind die phonologischen Repräsentationen der Buchstabennamen die Grundlage des Listenbehaltens, und die Artikulationsdauer ist kritisch für ihre Aufrechterhaltung. Diesbezüglich sind die variantenähnlichen Listen im größeren Teil der Durchgänge eineinhalb Mal so lang wie die variantenverschiedenen Listen. In derselben Zeit können daher im Mittel weniger SIM- als DIS-Buchstaben durch subvokale Artikulation reaktiviert werden, was einen größeren Informationsverlust bedingen sollte. Dieser mag sich in dem visuellen Ähnlichkeitseffekt äußern, den Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) in ihren Leistungsmaßen beobachteten, sofern der ohne artikulatorische Unterdrückung auftrat. Wenn laut gezählt wird, ist subvokale Artikulation nur eingeschränkt möglich, so dass die Artikulationsdauer der Listen dann weniger kritisch ist.

9.4 Experiment I-2

9.4.1 Design

Das Experimentaldesign entsprach dem von Experiment I-1 (s. S. 135).

9.4.2 Methode

9.4.2.1 Stichprobe

21 Studierende der Universität Erfurt wurden in Einzelsitzungen von je einer halben Stunde Dauer getestet. Sie waren allesamt Muttersprachler des Deutschen und hatten sich auf eine Einladung für „ein Experiment zum Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Die Probanden waren in ihrer Sehkraft nicht eingeschränkt, oder aber sie brachten Sehhilfen mit. Keiner von ihnen hatte an einem anderen Experiment dieses Projekts teilgenommen. Für die Teilnahme erhielten sie entweder eine halbe Versuchspersonenstunde oder

drei Euro. Die Daten eines Teilnehmers wurden ausgeschlossen, weil sich die artikulatorische Unterdrückung nicht auf seine Wiedergabeleistung auswirkte.

9.4.2.2 Material

Dieses Experiment unterschied sich von I-1 darin, dass anstelle des W/w der im Deutschen einzige Buchstabe mit dreisilbigem Namen, das /'ypsilon/, in das Set der variantenähnlichen Buchstaben aufgenommen wurde (vgl. Abb. 9-3).

DIS-Set: [B] [b] [F] [f] [J] [j] [M] [m] [Q] [q] [R] [r]
 SIM-Set: [K] [k] [P] [p] [S] [s] [V] [v] [Y] [y] [Z] [z]

Abbildung 9-3. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-2 präsentiert wurden.

Damit ergab sich aufgrund des Ähnlichkeits-*Rating* für die SIM-Listen ein Wert von 0,097 gegenüber nach wie vor 0,497 für die DIS-Listen. Die Anzahl der von den Buchstabennamen geteilten phonologischen Merkmale veränderte sich in Richtung eines größeren Ungleichgewichts zuungunsten der DIS-Buchstaben; die Buchstaben der SIM-Listen teilen keine *Onset* oder Reim-Vokale, während drei der DIS-Buchstaben mit /ɛ/ beginnen. Demnach wäre die Wahrscheinlichkeit von Verwechslungsfehlern in den DIS-Listen größer als in den SIM-Listen, was der Hypothese schlechterer Wiedergabeleistungen von SIM-Listen entgegensteht. Die mittlere Frequenz betrug 1,85 % für das SIM-Set, womit sich der Abstand zum im Mittel höher frequenten DIS-Set (2,60 %) weiter vergrößerte. Das ist nicht optimal, aber vermutlich weniger kritisch als die phonologischen Unterschiede. Weiterhin beinhaltet jedes Set zwei alphabetische Folgen (QR und YZ).

9.4.2.3 Ablauf

Das Experiment lief ab wie für Experiment I-1 (s. S. 136ff) beschrieben.

9.4.2.4 Hypothesen

Wieder wurden Effekte für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG erwartet (höhere Fehlerraten +AS gegenüber -AS). Buchstaben mit hoher VARIANTENÄHNLICHKEIT sollten insbesondere unter artikulatorischer Unterdrückung mehr Fehler in der Wiedergabe der richtigen Variante hervorrufen (+AS höhere Variantenfehlerrate für SIM gegenüber DIS).

Der durch das /'ypsilon/ provozierte Wortlängeneffekt sollte sich ebenfalls in schlechteren Wiedergabeleistungen für SIM- verglichen mit DIS-Buchstaben zeigen, allerdings nicht beschränkt auf die Variantenfehler: Es handelt sich um eine Manipulation, die nicht mit der Variantenähnlichkeit zusammenhängt, so dass sie auch nicht speziell die Wiedergabe der richtigen Variante betreffen muss. Dieser Nachteil für SIM-Listen sollte vor allem ohne artikulatorische Unterdrückung auftreten, da ein Einfluss der Artikulationsdauer nur wirksam werden kann, wenn subvokale Artikulation möglich ist.

9.4.3 Ergebnisse

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte wie in Kapitel 9.3.3 ausgeführt. Die Einflüsse der unabhängigen Variablen ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG und VARIANTENÄHNLICHKEIT auf die Fehler in der Wiedergabe der Buchstaben selbst, ihrer Position in der Liste sowie ihrer Variante werden im Folgenden berichtet und sind in Abbildung 9-4 dargestellt. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 9-2 (S. 173) zu entnehmen.

Buchstabenfehler. Ohne ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG wurden signifikant weniger Buchstabenidentitäten falsch wiedergegeben als

mit, $F(1, 19) = 93.460$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .831$ (-AS 1,84 % vs. +AS 18,96 %). In diesem Maß war weder der Haupteffekt der VARIANTENÄHNLICHKEIT noch die Interaktion der beiden Faktoren signifikant, beide F s < 1 .

Positionsfehler. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG erwies sich als signifikant, $F(1, 19) = 67.627$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .781$ (-AS 1,50 % vs. +AS 17,22 %). Positionsfehler waren häufiger in DIS-Listen als in SIM-Listen (DIS 10,14 % vs. SIM 8,59 %). Dieser Unterschied der VARIANTENÄHNLICHKEIT war statistisch tendenziell signifikant, $F(1, 19) = 3.388$, $p = .081$, $\eta_p^2 = .151$. Die Interaktion beider Faktoren war nicht signifikant, $F < 1$.

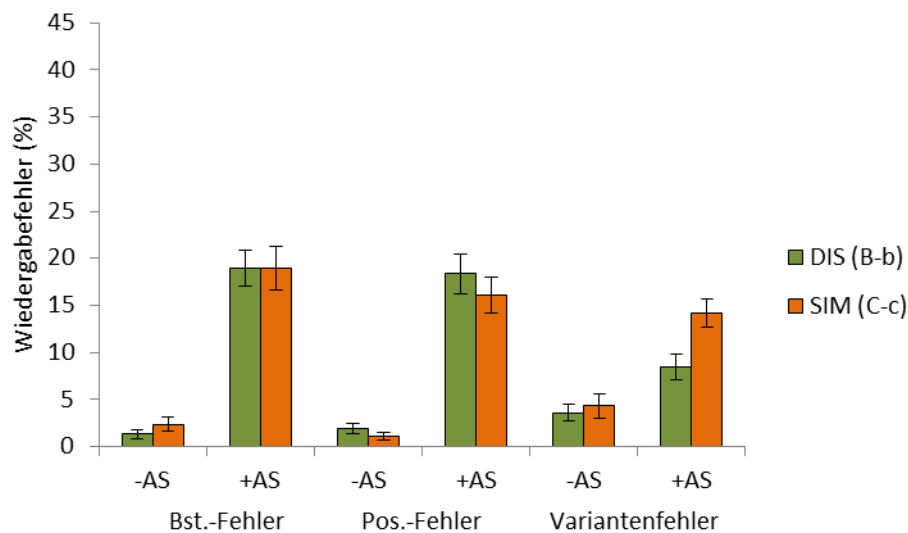


Abbildung 9-4. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-2, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Variantenfehler. Mit artikulatorischer Unterdrückung waren Variantenfehler deutlich häufiger als ohne (-AS 3,98 % vs. +AS 11,30 %). Variantenähnliche Buchstaben wurden häufiger als variantenverschiedene Buchstaben in der falschen Variante wiedergegeben (DIS 6,03 % vs. SIM 9,25 %). Dies galt jedoch

nur für die Bedingung mit Artikulation. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 19) = 24.968$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .568$. Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 19) = 17.138$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .474$. Die Interaktion beider Faktoren war ebenfalls signifikant, $F(1, 19) = 7.560$, $p = .013$, $\eta_p^2 = .285$. Geplante Vergleiche zeigten, dass der Unterschied zwischen SIM und DIS in der stillen Bedingung nicht signifikant war, $F < 1$ (DIS 3,60 % vs. SIM 4,36 %), mit Artikulation dagegen deutlich, $F(1, 19) = 16.325$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .462$ (DIS 8,47 % vs. SIM 14,14 %).

Wie schon in Experiment I-1 war zu prüfen, ob die zentralen Ergebnisse durch die Abfolge der Experimentalblöcke (+AS/-AS) und Einflüsse der Listenposition modifiziert wurden. Da sich ein Variantenähnlichkeitseffekt nur in den Variantenfehlern zeigte, werden die Einflüsse der beiden Faktoren nur hinsichtlich dieses Maßes dargestellt. Der für Experiment I-1 beschriebene Trend, dass weniger Fehler auftraten, wenn die Bedingung mit Artikulation vor der stillen Bedingung durchlaufen wurde, fand sich in Experiment I-2 nicht. Die Abfolge verursachte weder einen Haupteffekt, $F(1, 18) = 1.387$, $p = .254$, $\eta_p^2 = .071$, noch war die Interaktion mit VARIANTENÄHNLICHKEIT signifikant, $F(1, 18) = 1.806$, $p = .196$, $\eta_p^2 = .091$. Auch die anderen Interaktionen waren nicht signifikant, alle F s < 1 .

Die Listenposition verursachte erneut deutliche Effekte, wobei die Fehlerraten über die Positionen auf vergleichbare Weise variieren wie in Experiment I-1. Der Anstieg in den Fehlerraten von Position eins bis drei und auch deren Abfall auf Position vier war mit artikulatorischer Unterdrückung deutlicher ausgeprägt als ohne (-AS: 1,58 %, 3,85 %, 5,26 % und 5,20 % gegenüber +AS: 3,69 %, 12,21 %, 18,19 % und 12,93 % Variantenfehler auf Positionen eins bis vier). Der Haupteffekt für Position war signifikant, $F(3, 57) = 17,513$, $p <$

.001, $\eta_p^2 = .480$. Auch die Interaktion mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(3, 57) = 10.177$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .349$. Interaktionen mit VARIANTENÄHNLICHKEIT waren nicht signifikant (alle $ps > .3$).

9.4.4 Diskussion

Ein Variantenähnlichkeitseffekt zeigte sich erneut nur in den Variantenfehlern und wieder nur dann, wenn die innere Artikulation eingeschränkt war. Damit liefert auch das zweite Experiment Evidenz dafür, dass die Formen der Buchstabenvarianten prinzipiell im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein können und, wenn sie sich unterscheiden, die Aufrechterhaltung der Buchstabenvariante erleichtern. Entgegen der Erwartung allerdings trat kein Effekt der Artikulationsdauer auf. In keinem der Fehlermaße zeigte sich ein ohne artikulatorische Unterdrückung ein Nachteil für die längeren Listen aus variantenähnlichen Buchstaben. Dies spricht zunächst gegen die Hypothese, dass der visuelle Ähnlichkeitseffekt in der Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) in der Bedingung ohne Artikulation eigentlich ein Wortlängeneffekt sei.

Statt schlechterer Leistungen für variantenähnliche Buchstaben war in den Positionsfehlern ein Unterschied zugunsten der variantenähnlichen Buchstaben zu beobachten. Die Abfolge der DIS-Buchstaben wurde häufiger fehlerhaft erinnert als die der SIM-Buchstaben. Dies legt die Vermutung nahe, dass Y/y subvokal nicht als /ypsilon/ artikuliert wurde, sondern als /i:/ oder /y/, denn auf diese Weise lassen sich mehrere Buchstaben verketteten und zu einem silbenartigen *Cluster* zusammenfassen. Solche CVC-(Konsonant-Vokal-Konsonant)-Strukturen wie etwa „SYP“ lassen sich als Einheit artikulieren und somit leicht behalten. Diese Erklärung setzt zwar voraus, dass die artikulatorische Unterdrückung die phonologische Rekodierung nur unvollkommen unterbindet, denn der Vorteil für SIM-Listen ist in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrü-

ckung besonders stark. Dennoch muss die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass Experiment I-2 deswegen keinen Hinweis auf einen Wortlängeneffekt erbrachte, weil sich das Experimentalmaterial dafür nicht eignete.

Die Erklärung für die divergierenden Ergebnisse in der ursprünglichen und der vorliegenden Studie im Sinne eines Wortlängeneffekts kann folglich weder bestätigt noch abgelehnt werden, da das /'ypsilon/ womöglich nicht als Dreisilber repräsentiert war. Damit bleibt weiterhin offen, warum Einflüsse der Variantenähnlichkeit einmal generell (Logie et al., 2000, Ex. 3 & 4) und einmal nur mit artikulatorischer Unterdrückung (Exp. I-1 und I-2 dieser Arbeit) beobachtbar sind. Eine Replikation der Originalstudie in englischer Sprache ist ein Ansatz mit besserer Aussicht auf einen Wortlängeneffekt, da es nicht nahe liegt, /'dʌblju:/ als Vokal zu artikulieren. Englischsprachige Probanden sollten für die subvokale Artikulation von Listen mit /'dʌblju:/ mehr Zeit benötigen als für Listen mit vier einsilbigen Buchstaben.

9.5 Experiment I-3

Dieses Experiment wurde an der Universität Glasgow durchgeführt.³ Es beinhaltet eine exakte Replikation des Experiments 4 von Logie et al. (2000) und eine Modifikation desselben mit dem Unterschied, dass anstelle des /'dʌblju:/ ein Buchstabe mit einsilbigem Namen, nämlich Z (/zɛd/) im SIM-Set verwendet wurde.

9.5.1 Design

Das Design entsprach dem von Experiment I-1 (s. S. 135) abgesehen davon, dass nun die phonologische bzw. artikulatorische LISTENLÄNGE als zusätzlicher Zwischen-Subjekt-Faktor eingeführt wurde.

³ Ich danke Christoph Scheepers, der mir dort einen Experimentalraum zur Verfügung gestellt hat.

9.5.2 Methode

9.5.2.1 Stichprobe

34 Probanden nahmen gegen Bezahlung (£ 5,00) an dem Experiment teil. Sie hatten sich auf eine Einladung als Muttersprachler des Englischen gemeldet. Drei der Teilnehmer betrachteten sich zwar als Muttersprachler, waren aber zweisprachig aufgewachsen mit Italienisch, Griechisch oder Hindi als Erst- und frühe Umgebungssprache, weswegen ihre Daten aus den Analysen ausgeschlossen wurden. Weiterhin wurden die Daten eines Probanden ausgeschlossen, der nach eigenen Angaben seine Finger zu Hilfe nahm, um sich die Groß-/Kleinschreibung zu merken. Letztendlich gingen in der Bedingung mit W/w 16 und in der Bedingung mit Z/z 14 Datensätze in die Analysen ein.

9.5.2.2 Material

In der Bedingung, die einer exakten Replikation des Experiments 4 von Logie et al. (2000) entspricht, wurden im DIS-Set die Buchstaben B/b, L/l, D/d, R/r, G/g und Q/q sowie im SIM-Set V/v, K/k, P/p, C/c, W/w und S/s eingesetzt. In der modifizierten Replikation ohne dreisilbigem Buchstabename wurde W/w durch Z/z ersetzt. Die Buchstaben sind in Abbildung 9-5 dargestellt. Im Ähnlichkeits-*Rating* lagen die DIS-Listen im Mittel bei 0,61, die SIM-Listen mit W/w bei 0,12 und die SIM-Listen mit Z/z bei 0,13. Die Wahrscheinlichkeit phonologischer bzw. akustischer Verwechslungen der Buchstaben beträgt auf Grundlage der von Logie et al. (2000) verwendeten Studie von Hull (1973) im Mittel für die DIS-Listen 14,2 %, für SIM-Listen mit W/w 9,1 % und für SIM-Listen mit Z/z 10,2 %. Ein etwaiger Nachteil für SIM-Listen sollte demnach nicht auf größere phonologische Ähnlichkeit zurückzuführen sein. Die Häufigkeit des Auftretens der Buchstaben in englischen Korpora wurde wie auch bei Logie et al. (2000) auf Grundlage der Angaben von Solso und King (1976) be-

stimmt. Die mittlere Frequenz liegt demnach bei 2,97 % für das DIS-Set und für das SIM-Set mit W/w bei 2,53 % sowie mit Z/z bei 2,23 %.

DIS-Set: [B] [b] [D] [d] [G] [g] [L] [l] [Q] [q] [R] [r]

SIM-Set: [C] [c] [K] [k] [P] [p] [S] [s] [V] [v] [W] [w]/[Z] [z]

Abbildung 9-5. Die variantenverschiedenen (oben) und variantenähnlichen (unten) Buchstaben, wie sie in Experiment I-3 präsentiert wurden.

Die Buchstabenlisten wurden auf die im Rahmen von Experiment I-1 beschriebene Weise erstellt und sind in Anhang B2 (S. 360) aufgeführt. Die englische Übersetzung der Instruktion ist in Anhang C2 (S. 375) nachzulesen. Da die kleine Variante des L (l) der großen Variante des I (/i:/) ähnelt, wurde in der Instruktionsphase mündlich ergänzt, dass der Buchstabe /i:/ nicht vorkommt.

9.5.2.3 Ablauf

Die Testung erfolgte in 40-minütigen Einzelsitzungen; der Ablauf gestaltete sich wie für Experiment I-1 beschrieben. Allerdings wurde als Schriftart Tahoma (vgl. Abb. 9-5) statt *Comic Sans MS* verwendet, da das D (in *Comic Sans MS*) ohne Kontext nicht eindeutig identifizierbar schien. Daher wurde erneut die Variantenähnlichkeit mittels eines Fragebogens (s. Anhang A2, S. 357) erfasst. Dieser Bogen wurde den Probanden im Anschluss an das eigentliche Experiment vorgelegt, woraus sich die etwas längere Dauer der Sitzungen ergab.

9.5.2.4 Hypothesen

Hohe Variantenähnlichkeit sollte in der Bedingung ohne W/w wie in Experiment I-1/2 nur unter artikulatorischer Unterdrückung häufiger Variantenfehler verursachen. In der Bedingung mit /dʌblju:/ sollten, wie für Experiment I-2 erwartet, auch ohne artikulatorische Unterdrückung höhere Fehlerraten für

SIM-Listen auftreten, und zwar nicht nur in den Variantenfehlern. Kurz gefasst lautet die zentrale Hypothese, dass ein Nachteil für SIM-Listen auch ohne artikulatorische Unterdrückung auftreten sollte, wenn diese durch das W/w länger waren als die DIS-Listen.

9.5.3 Ergebnisse

Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgte wie in Kapitel 9.3.3 beschrieben. Da der Buchstabe L/l in den DIS-Listen trotz des Hinweises in der Instruktion zu Irritationen geführt haben könnte, wurden alle Fehlermaße (Buchstabenfehler, Positionsfehler und Variantenfehler) auch unter dessen Ausschluss gebildet und analysiert. Diese Analysen ergaben jedoch keine in den interessierenden Punkten von denen mit L/l abweichenden Befunde, so dass im Folgenden nur die Daten berichtet werden, die alle Buchstaben einschließen. Diese wurden in einer ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG und VARIANTENÄHNLICHKEIT sowie LISTENLÄNGE als kategorialem Prädiktor analysiert. Da LISTENLÄNGE keinen Einfluss auf die Daten hatte, sind die Fehlerbalken in Abbildung 9-6 ebenso wie für die anderen Experimente nur nach VARIANTENÄHNLICHKEIT und ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG aufgeschlüsselt. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 9-2 (S. 173) zu entnehmen.

Buchstabenfehler. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 28) = 74.609$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .727$ (-AS 3,17 % vs. +AS 17,91 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 28) = 2.108$, $p = .158$, $\eta_p^2 = .070$ (DIS 11,22 % vs. SIM 9,86 %). Dasselbe gilt für den Haupteffekt für LISTENLÄNGE, $F(1, 28) = 1.316$, $p = .261$, $\eta_p^2 = .045$ (mit /'dʌblju:/ 9,24 % vs. ohne /'dʌblju:/ 11,83 %). Keine der Zweifachinteraktionen war signifikant, alle F s < 1 . Die Dreifachinteraktion war

marginal signifikant, $F(1, 28) = 3.412$, $p = .075$, $\eta_p^2 = .109$. Geplante Vergleiche zeigten, dass für DIS- gegenüber SIM-Listen selektiv in der Bedingung -AS/ohne /'dʌblju:/ mehr Fehler auftraten, $F(1, 28) = 3.890$, $p = .059$, $\eta_p^2 = .164$ (DIS 5,06 % vs. SIM 2,58 %). Kein anderer Vergleich war signifikant, alle p s > .18.

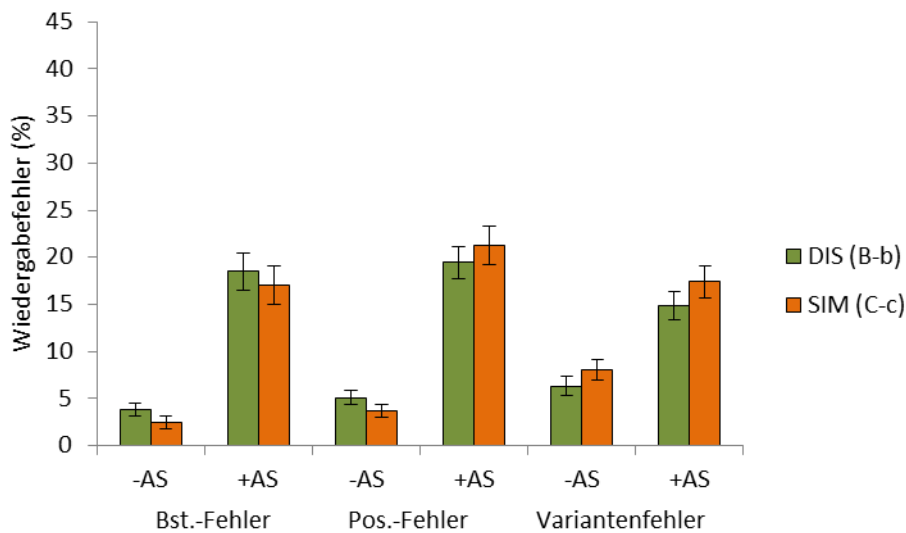


Abbildung 9-6. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-3 unabhängig von der Listenlänge, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Positionsfehler. Mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG wurden die Buchstaben häufiger in der falschen Reihenfolge wiedergegeben als ohne, $F(1, 28) = 84.257$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .751$ (-AS 4,42 % vs. +AS 20,30 %). VARIANTENÄHNLICHKEIT hatte keinen Einfluss auf die Positionsfehler, $F < 1$. Auch die Interaktion dieser beiden Faktoren war nicht signifikant, $F(1, 28) = 2.620$, $p = .117$, $\eta_p^2 = .086$. LISTENLÄNGE bedingte keinen Haupteffekt und war an keiner Interaktion beteiligt, alle F s < 1.

Variantenfehler. In diesem kritischen Maß trat in sämtlichen Bedingungen ein Variantenähnlichkeitseffekt auf (DIS 10,60 % vs. SIM 12,71 %). Der

Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 28) = 63.647$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .694$ (-AS 7,17 % vs. +AS 16,14 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 28) = 6.516$, $p = .016$, $\eta_p^2 = .189$. Die Interaktion dieser beiden Faktoren hingegen war nicht signifikant, $F < 1$. Der Haupteffekt für LISTENLÄNGE war nicht signifikant, $F < 1$. Die Interaktion von LISTENLÄNGE und ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG war marginal signifikant, $F(1, 28) = 3.689$, $p = .065$, $\eta_p^2 = .116$: Mit /dʌblju:/ war der Unterschied zwischen der stillen Bedingungen und der mit Artikulation (-AS 5,90 % vs. +AS 17,03 %) größer als ohne /dʌblju:/ (-AS 8,44 % vs. +AS 15,25 %). Weitere Interaktionen sind nicht signifikant, alle F s < 1 .

Um auszuschließen, dass der Variantenähnlichkeitseffekt in den Variantenfehlern durch die Abfolge der Experimentalblöcke moderiert wird oder nur auf bestimmten Listenpositionen auftritt, wurden wieder zusätzliche ANOVAs durchgeführt. Die Abfolge der Experimentalblöcke mit und ohne artikulatorischer Unterdrückung hatte keinen bedeutsamen Einfluss auf die Variantenfehler, $F(1, 26) = 1.578$, $p = .220$, $\eta_p^2 = .057$ (10,26 % vs. 13,05 %, wenn die Bedingung mit bzw. die ohne Artikulation die erste war). Weder die Interaktion von Abfolge mit LISTENLÄNGE erwies sich als signifikant, $F < 1$, noch die mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG, $F(1, 26) = 1.361$, $p = .254$, $\eta_p^2 = .050$, und auch nicht die mit VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F(1, 26) = 2.170$, $p = .153$, $\eta_p^2 = .077$. Die Dreifachinteraktion der Abfolge mit ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG und VARIANTENÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 26) = 3.075$, $p = .091$, $\eta_p^2 = .106$: Der Variantenähnlichkeitseffekt trat nur im ersten Experimentalblock auf und war unterschiedlich stark ausgeprägt, je nachdem ob dieser Block mit oder ohne Artikulation durchlaufen wurde. Geplante Vergleiche zeigten, dass der Variantenähnlichkeitseffekt ohne

Artikulation marginal signifikant war, wenn diese Bedingung im zweiten Block realisiert wurde, $F(1, 26) = 3.080$, $p = .091$, $\eta_p^2 = .159$ (DIS 7,05 % vs. SIM 8,87 %). Es gab ohne Artikulation keinen Variantenähnlichkeitseffekt, wenn diese Bedingung im ersten Block realisiert wurde, $F(1, 26) = 2.267$, $p = .144$, $\eta_p^2 = .190$ (DIS 5,60 % vs. SIM 7,16 %). Mit Artikulation war der Variantenähnlichkeitseffekt signifikant, wenn der erste Block derjenige mit Artikulation war, $F(1, 26) = 6.498$, $p = .017$, $\eta_p^2 = .380$ (DIS 11,60 % vs. SIM 16,67 %). Es gab keinen Variantenähnlichkeitseffekt mit Artikulation, wenn diese im zweiten Block realisiert wurde, $F < 1$ (DIS 18,15 % vs. SIM 18,12 %). Die Vierfachinteraktion war mit $F < 1$ nicht signifikant.

Wurden die Variantenfehler nach Position jedes *Items* in der Liste aufgeschlüsselt, ergaben sich dieselben Verlaufskurven über die Positionen wie die beiden bisherigen Experimente. Sie sind, für die Bedingungen mit und ohne /'dʌblju:/ zusammengefasst, in Abbildung 9-7 dargestellt. Die Fehlerraten stiegen von Position eins bis drei und fielen auf der letzten Position ab, und dieser Verlauf war mit Artikulation deutlicher ausgeprägt als ohne (-AS 4,33 %, 7,35 %, 8,98 % und 8,03 % gegenüber +AS 7,74 %, 17,39 %, 23,74 % und 17,89 % Variantenfehler auf Positionen eins bis vier). Der Haupteffekt für Position war signifikant, $F(3, 84) = 37.046$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .570$. Die Interaktion von Position und ARTIKULATORISCHER UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(3, 84) = 9.210$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .248$. Unabhängig von der Artikulationsbedingung fand sich ein Variantenähnlichkeitseffekt nur auf den ersten beiden Listenpositionen (DIS 4,17 %, 10,18 %, 16,06 % und 13,95 % gegenüber SIM 7,90 %, 14,56 %, 16,66 % und 11,98 % Variantenfehler auf den Positionen eins bis vier). Die Interaktion von Position und VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(3, 84) = 5.876$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .173$. Sie wurde nicht durch ARTIKULATORISCHE

UNTERDRÜCKUNG moderiert, $F(3, 84) = 1.363$, $p = .260$, $\eta_p^2 = .046$. Keine weitere Interaktion mit dem Faktor Listenposition war signifikant, alle $ps > .27$.

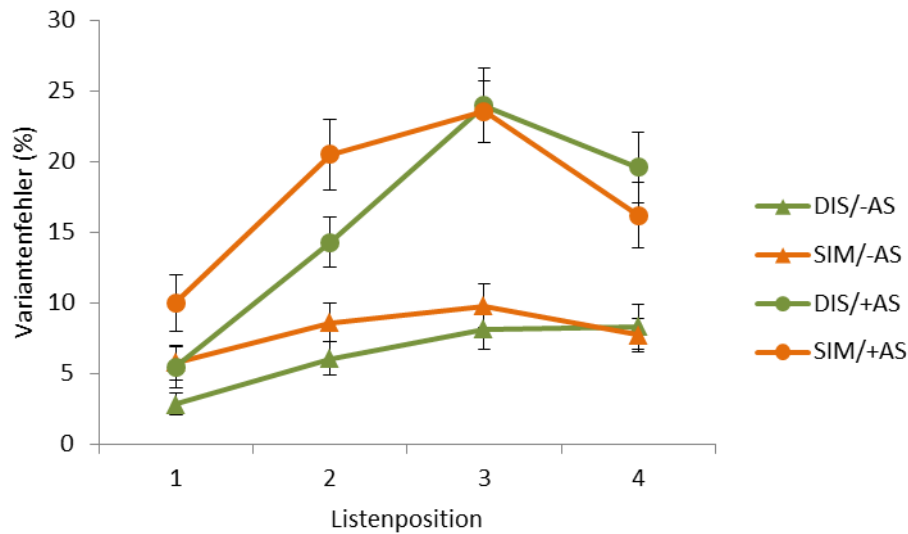


Abbildung 9-7. Variantenfehler (%) in Experiment I-3, aufgeschlüsselt nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS), Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und Listenposition (1-4).

9.5.4 Diskussion

Die Einflüsse der artikulatorischen Unterdrückung zeigten sich auch mit englischsprachigen Probanden in sämtlichen Fehlertypen. Wie in den Experimenten von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4), aber anders als in den bisherigen Experimenten waren die Effekte der Variantenähnlichkeit nicht auf die Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung beschränkt. Entgegen der Vorhersage lag dies nicht an einem Wortlängeneffekt in der stillen Bedingung: Der Variantenähnlichkeitseffekt trat ohne artikulatorische Unterdrückung sowohl in den Listen mit W/w als auch in jenen mit Z/z auf.

Die „/dʌbljuː/-Hypothese“ muss also abgelehnt werden. In keinem Fehlermaß fand sich ein Variantenähnlichkeitseffekt speziell in der Bedingung mit phonologisch bzw. artikulatorisch längeren SIM-Listen. Der Faktor Listenlänge

ist lediglich an einem signifikanten Unterschied zwischen SIM- und DIS-Listen beteiligt (in den Buchstabenfehlern), der allerdings die Bedingung ohne W/w betrifft und in einem Vorteil für die SIM-Listen besteht. Vielmehr sieht es so aus, als gäbe es in diesem Experiment keinen Wortlängeneffekt. Vermutlich hat auch in den Originalexperimenten der Wortlängeneffekt keine Rolle gespielt und kann nicht für den Variantenähnlichkeitseffekt ohne artikulatorische Unterdrückung verantwortlich gemacht werden.

Allerdings muss der Variantenähnlichkeitseffekt in diesem Experiment mit Vorsicht interpretiert werden. In den zusätzlichen Analysen mit Version bzw. Position als weiterer Faktor stellte sich heraus, dass der generelle Variantenähnlichkeitseffekt im Grunde in keiner einzelnen Bedingung signifikant ist. Einerseits ist er auf die ersten beiden Listenpositionen beschränkt, andererseits ist er nur für den ersten Experimentalblock signifikant. Die Beschränkung auf die ersten beiden Listenpositionen ist überraschend, da visuelle Information eigentlich kurzfristig am wirksamsten sein sollte. Die Beschränkung auf den ersten Teil des Experiments wirkt zufällig und legt keine theoretisch fundierte Erklärung nahe. Trotz dieser Vorbehalte ist bemerkenswert, dass hier wie in der Originalstudie der Nachteil für variantenähnliche Buchstaben sich auch ohne artikulatorische Unterdrückung zeigt. Hier scheint ein systematischer Unterschied zwischen Experimenten mit englischsprachigen und solchen mit deutschsprachigen Probanden zu bestehen. Es liegt daher nahe, Unterschiede zwischen den beiden Sprachen zu betrachten, und über deren Einfluss auf das Behalten von Buchstabengestalten zu spekulieren.

Ein bedeutsamer Unterschied zwischen Sprachen betrifft die Graphem-Phonem-Korrespondenz (s. z.B. Cossu, Shankweiler, Liberman & Gugliotta, 1995). Während im Deutschen die Zuordnung von Zeichen zu Lauten relativ

klar und eindeutig ist, gibt es im Englischen zahlreiche „Mehrfachbelegungen“ sowohl von Zeichen mit Lauten (z.B. kann „s“ als /s/, /z/, /ʃ/, /z/ oder stumm ausgesprochen werden) als auch umgekehrt (z.B. kann der Laut /f/ durch die Zeichen „f“, „ph“ oder „gh“ dargestellt werden). Wie die zuverlässig auftretenden Effekte artikulatorischer Unterdrückung zeigen, sind phonologische Repräsentationen von zentraler Bedeutung für die Bewältigung der Aufgabe. Die Grapheme sind also über die Buchstabennamen hinaus mit Lauten assoziiert, und die Grapheme der beiden Sets könnten sich in der Anzahl solcher Assoziationen unterscheiden. Ein solcher Unterschied scheint jedoch nicht zu bestehen; im PONS-Lexikon (Wörterbuch für Schule und Studium Teil 1, 2001) zähle ich 18 verschiedene Aussprachevarianten für die DIS-Grapheme und 20 für die SIM-Grapheme. Des Weiteren könnte es in DIS-Listen zu mehr Verwechslungen kommen als in SIM-Listen, weil die Grapheme beider Listen zwar Laute teilen, das Graphem jedoch, das stärker mit dem Laut verknüpft ist, der SIM-Liste angehört (wie /k/ in „q“ und „k“). Dies sollte sich in schlechteren Wiedergabeleistungen für DIS-Listen in Fehlermaßen äußern, welche nicht von der Variantenähnlichkeit beeinflusst werden; eine Hypothese, die keine Bestätigung findet.

Möglicherweise wirkt sich die Ausprägung der Graphem-Phonem-Korrespondenz auch auf die Gedächtnisstrategien aus. Im Englischen liefern die Grapheme regelhaft Information, welche nicht phonologisch kodiert ist, während sich im Deutschen die Grapheme recht zuverlässig aus der Phonologie ableiten lassen. Der Nutzen graphemischer Repräsentationen dürfte also in der Erfahrung der englischsprachigen Probanden weitaus größer sein als für die deutschsprachigen Probanden. Verlassen sich deswegen möglicherweise die englischsprachigen Probanden von vornherein weniger auf die phonologischen Repräsentationen, nutzen routiniert visuelle Repräsentationen und sind daher in

ihren Leistungen durch visuelle Ähnlichkeit grundsätzlich stärker beeinträchtigt? Tatsächlich produzieren die britischen Probanden einen höheren Anteil an Variantenfehlern (-AS 14,33 % und +AS 32,28 %) als die deutschen Probanden (-AS 7,18 % und +AS 22,26 % im Durchschnitt von Exp. I-1 und I-2). Die Effekte artikulatorischer Unterdrückung dagegen sind insgesamt (also über alle Fehlermaße hinweg) vergleichbar; die kumulierten Differenzen zwischen den Fehlermaßen mit und ohne Artikulation betragen 79,12 % in Experiment I-3, über die Experimente I-1 und I-2 hinweg gemittelt 84,59 %. Zudem gaben neun der Glasgower Probanden an, sich die Buchstabenlisten „visuell“ gemerkt zu haben, was keiner der Erfurter Probanden von sich sagte. Die Hypothese, dass die graphemischen Repräsentationen für englischsprachige Leser nützlicher sind und daher stärker genutzt werden, kann zwar aufgrund der vorliegenden Daten nicht bestätigt oder abgelehnt werden. Doch bleibt sie ein interessanter Ansatz zur Erklärung der diskrepanten Befundmuster.

Über die im weitesten Sinne phonologisch begründeten Unterschiede hinaus könnten Varianzen in der visuellen Ähnlichkeit der Grapheme eines Listentyps untereinander die Wiedergabeleistungen beeinflussen. Im Arbeitsgedächtnis könnten die Grapheme V W K einander ähnlicher sein als D B R oder d b r. Daraus könnten höhere Häufigkeiten in den Positionsfehlern resultieren. Unter der Prämisse, dass die Abfolge von Groß- und Kleinbuchstaben auch (!) unabhängig von den Buchstabenidentitäten behalten wurde, könnte die Verfügbarkeit der Abfolgeinformation hilfreich sein, um die Varianten zu rekonstruieren. Die Prämisse ist nicht ganz abwegig, da ein gutes Zehntel aller Probanden angab, eine Folge hoher und tiefer Töne imaginiert zu haben, um die Groß-/Kleinschreibung im Gedächtnis zu behalten. So könnte es, wenn die Abfolge der Buchstabenidentitäten durcheinander gerät, vermehrt zu Fehlern kommen, die

sowohl Position als auch Variante betreffen, weil der falsche Buchstabe einem hinsichtlich der Groß-/Kleinschreibung korrekt definierten Listenplatz zugewiesen wird. Dies erinnert stark an das „*Skyline*“-Maß für visuelle Ähnlichkeit, das Logie et al. (2000) verwendet haben. Um zu prüfen, ob solche Fehler dem Variantenähnlichkeitseffekt in Experiment I-3 zugrunde liegen, wurden die Daten wie von diesen Autoren beschrieben aufbereitet und in einer ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren artikulatorische Unterdrückung und Variantenähnlichkeit analysiert. Es fand sich weder ein Haupteffekt für Variantenähnlichkeit noch eine Interaktion beider Faktoren, beide F s < 1 . Diese Erklärung ist also wahrscheinlich unzutreffend, und es kann ausgeschlossen werden, dass in Experiment I-3 die Befunde von Logie et al. (2000) repliziert wurden.

Zusammenfassend lässt sich über die Inkonsistenz der mit englisch- gegenüber deutschsprachigen Probanden erhaltenen Daten nur spekulieren. Für keinen der vorgeschlagenen Erklärungsansätze finden sich Belege in den verfügbaren Daten. Eine plausible Hypothese ist jedoch, dass Leser mit Muttersprachen mit geringer Graphem-Phonem-Korrespondenz den graphemischen Repräsentationen mehr Gewicht beimessen, weil Information zur Schreibweise oftmals nur anhand solcher kodiert werden kann. Unabhängig davon wirken die Befunde aus Experiment I-3 nur eingeschränkt belastbar, da Einflussgrößen wie die Abfolge der Blöcke mit und ohne Artikulation und die Listenposition die kritischen Effekte moderieren. Sie sind daher nicht geeignet, die bisherige Interpretation zu widerlegen, dass visuelle Merkmale nur bei beeinträchtigter phonologischer Schleife im Arbeitsgedächtnis nachweisbar seien. Allerdings werfen die Daten aus den Experimenten I-1 und I-2 selbst Vorbehalte gegen diese Interpretation auf:

Der Anteil an Variantenfehlern in der Bedingung ohne Artikulation war in beiden Experimenten sehr gering (durchschnittlich 3,6 %). Die Leistungen im Behalten der richtigen Buchstabenvarianten waren also auf sehr hohem Niveau und man könnte einen Deckeneffekt vermuten. Möglicherweise gibt es also auch im Deutschen einen Variantenähnlichkeitseffekt ohne artikulatorische Unterdrückung, nur kann dieser hier nicht statistisch nachgewiesen werden, weil die Fehlerzahlen zu niedrig sind, um ausreichend zu variieren. Das heißt, der Variantenähnlichkeitseffekt liegt ohne artikulatorische Unterdrückung vielleicht unter einem Deckeneffekt verborgen. Diese Möglichkeit wird mit Experiment I-4 geprüft, indem Listen von je sechs statt vier Buchstaben eingesetzt werden, wodurch die Aufgabe schwer genug ist, um Perfektion zu verunmöglichen.

9.6 Experiment I-4

Das letzte Experiment dieser Serie dient dazu, auch in der Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung ausreichend viele Variantenfehler zu provozieren, dass kein Deckeneffekt mehr mögliche Unterschiede zwischen variantenähnlichen und –verschiedenen Buchstaben verschleiern kann. Im Vorfeld wurde mit negativem Ergebnis geprüft, ob fünf Buchstaben pro Liste dafür ausreichen; die Probanden der Vorstudie machten ohne artikulatorische Unterdrückung kaum Variantenfehler.

9.6.1 Design

Das Design entsprach dem von Experiment I-1 (s. S. 135).

9.6.2 Methode

9.6.2.1 Stichprobe

36 Studierende der Universität Erfurt wurden in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde getestet. Sie waren allesamt Muttersprachler des Deut-

schen und hatten sich auf eine Einladung für „ein Experiment zum Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Die Probanden waren in ihrer Sehkraft nicht eingeschränkt, oder aber sie brachten Sehhilfen mit. Keiner von ihnen hatte an einem anderen Experiment dieses Projekts teilgenommen. Für die Teilnahme erhielten sie entweder eine halbe Versuchspersonenstunde oder 4,50 Euro.

Sechs Datensätze wurden ausgeschlossen: Ein Proband machte bei der Wiedergabe die Groß-/Kleinschreibung nicht hinreichend kenntlich, einer nahm seine Finger zu Hilfe, um sich die Variante zu merken, einer konzentrierte sich in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung auf die ersten drei Buchstaben einer Liste und gab darüber hinaus keinen einzigen wieder, einer wiederholte die Buchstaben während der Darbietungsphase leise flüsternd, und zwei Probanden produzierten außerordentlich hohe Fehlerraten (rund 61 % bzw. 63 % bei einem Mittelwert von rund 40 % und einer Standardabweichung von rund 10 %). Die folgenden Analysen basieren also auf 30 Datensätzen.

9.6.2.2 Material

Das für Experiment I-1 (s. S. 135f) beschriebene Stimulus-Set wurde verwendet. Unter Berücksichtigung der dort genannten Restriktionen und Kriterien wurden Listen von je sechs Buchstaben gebildet (s. Anhang B3, S. 362f).

9.6.2.3 Ablauf

Der Ablauf glich dem oben beschriebenen abgesehen davon, dass die Wiedergabephase den zusätzlichen Buchstaben angemessen von acht auf zwölf Sekunden verlängert wurde.

9.6.2.4 Hypothesen

Wenn der Variantenähnlichkeitseffekt bislang aufgrund eines Deckeneffekts in der stillen Bedingung nicht sichtbar wurde, sollten nun in den Varian-

tenfehlern auch ohne artikulatorische Unterdrückung schlechtere Wiedergabeleistungen für die SIM- gegenüber der DIS-Bedingung auftreten. Da die Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung mit sechs Buchstaben langen Listen eine extreme Arbeitsgedächtnisbelastung darstellt, musste damit gerechnet werden, dass diese Daten nur eingeschränkt interpretierbar sind. Theoretisch besteht jedoch kein Grund, aus dem der Variantenähnlichkeitseffekt unter höherer Arbeitsgedächtnisbelastung nicht auftreten sollte, so dass unter Vorbehalt ein Haupteffekt für Variantenähnlichkeit unabhängig von dem Haupteffekt für artikulatorische Unterdrückung vorhergesagt wurde. Wenn allerdings nicht der Deckeneffekt dafür ursächlich ist, dass sich bislang ohne artikulatorische Unterdrückung kein Variantenähnlichkeitseffekt zeigte, sollte eine Interaktion ähnlich wie in den Experimenten I-1 und I-2 auftreten.

9.6.3 Ergebnisse

Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgten wie in Experiment I-1. Die Einflüsse der unabhängigen Variablen ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG und VARIANTENÄHNLICHKEIT auf die Wiedergabefehler bezüglich der Buchstabenidentität, ihrer Position in der Liste sowie ihrer Variante werden im Folgenden berichtet und sind in Abbildung 9-8 dargestellt. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 9-2 (S. 173) zu entnehmen.

Buchstabenfehler. ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG verursachte einen Haupteffekt, $F(1, 29) = 208.05$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .878$ (-AS 9,94 % vs. +AS 38,75 %). VARIANTENÄHNLICHKEIT bedingte keinen signifikanten Haupteffekt, $F < 1$. Die Interaktion beider Faktoren war ebenfalls nicht signifikant, $F(1, 29) = 1.354$, $p = .254$, $\eta_p^2 = .045$.

Positionsfehler. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war signifikant, $F(1, 29) = 79.241$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .732$ (-AS 10,91 % vs. +AS 28,10 %). Weder der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT noch die Interaktion beider Faktoren waren signifikant, beide F s < 1 .

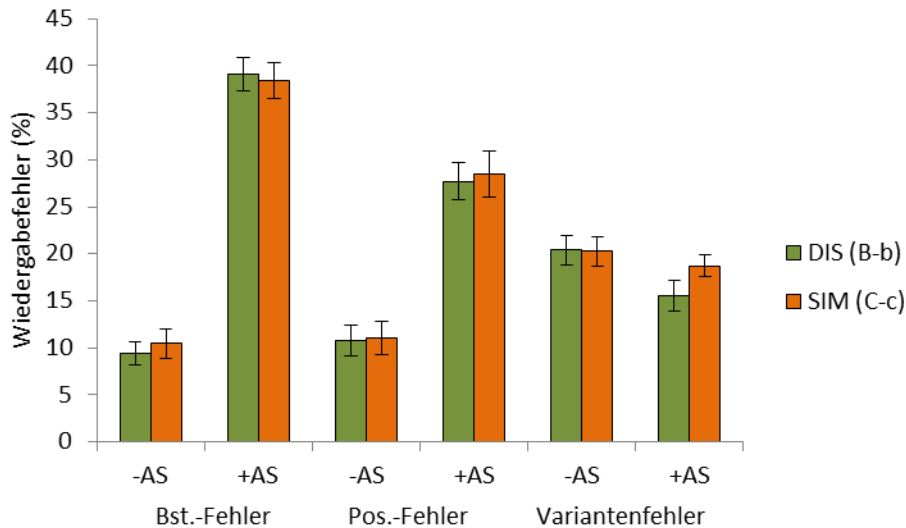


Abbildung 9-8. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Experiment I-4, aufgeschlüsselt jeweils nach artikulatorischer Unterdrückung (mit: +AS, ohne: -AS) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Variantenfehler. Der Haupteffekt für ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG war marginal und nicht in die erwartete Richtung ausgeprägt, $F(1, 29) = 4,089$, $p = .052$, $\eta_p^2 = .124$ (-AS 20,33 % vs. +AS 17,14 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 29) = 2.491$, $p = .125$, $\eta_p^2 = .079$ (DIS 17,98 % vs. SIM 19,49 %). Das Gleiche galt für die Interaktion beider Faktoren, $F(1, 29) = 2.528$, $p = .123$, $\eta_p^2 = .080$. Trotz der nicht signifikanten Interaktion erschien in Anbetracht der numerischen Daten eine weitere Analyse mit geplanten Vergleichen sinnvoll: In der stillen Bedingung trat kein Variantenähnlichkeitseffekt auf, $F < 1$ (DIS 20,38 % vs. SIM 20,28 %). Mit

artikulatorischer Unterdrückung dagegen war ein Variantenähnlichkeitseffekt beobachtbar, $F(1, 29) = 4.682$, $p = .039$, $\eta_p^2 = .139$ (DIS 15,57 % vs. SIM 18,71 %).

Die Variantenfehler wurden hinsichtlich nicht intendierter Einflüsse von Abfolge (der Experimentalblöcke mit und ohne artikulatorische Unterdrückung) und Listenposition (eins bis sechs) auf den Variantenähnlichkeitseffekt untersucht. Die Abfolge verursachte einen marginal signifikanten Haupteffekt, $F(1, 28) = 3.851$, $p = .060$, $\eta_p^2 = .121$ (16,75 % vs. 20,72 %, wenn die Bedingung mit bzw. die ohne Artikulation zuerst realisiert wurde), war aber an keiner signifikanten Interaktion beteiligt, alle F s < 1 .

Über die Listenpositionen hinweg zeigte sich zunächst ein ausgeprägter *Primacy*-Effekt, dann ein Anstieg der Fehlerraten bis Position vier und schließlich ein *Recency*-Effekt auf den letzten beiden Positionen, was in einem signifikanten Haupteffekt resultiert, $F(5, 145) = 16.394$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .361$. In der stillen Bedingung traten numerisch auf der letzten Position deutlich mehr Fehler auf als in der Bedingung mit Artikulation (-AS: 10,21 %, 20,32 %, 25,07 %, 26,60 %, 23,27 % und 18,47 % gegenüber +AS: 11,28 %, 19,47 %, 23,65 %, 28,51 %, 21,08 % und 12,19 %). Dennoch wurde der Verlauf der Positionskurve nicht durch ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG moderiert, $F(4, 145) = 1.515$, $p = .189$, $\eta_p^2 = .121$. Die Interaktion von Position mit VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F < 1$, und die Dreifachinteraktion war ebenfalls nicht bedeutsam, $F(5, 145) = 1.153$, $p = .335$, $\eta_p^2 = .038$.

9.6.4 Diskussion

Das Hauptanliegen dieses Experiments war es zu prüfen, ob der Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung in den deutschen Experimenten nur deswegen ausblieb, weil nicht genügend Vari-

antenfehler auftraten. Die Daten widersprechen dieser Hypothese: Trotz zahlreicher Fehler war ohne artikulatorische Unterdrückung kein Variantenähnlichkeitseffekt zu verzeichnen. Allerdings war der Einfluss der Variantenähnlichkeit auch mit artikulatorischer Unterdrückung in diesen sechs Buchstabenlangen Listen nicht gleichermaßen stark wie mit kürzeren Listen in den Experimenten I-1 und I-2. Dies könnte damit zusammenhängen, dass durch die höhere Aufgabenschwierigkeit mehr unspezifische Varianz die Unterschiede zwischen den Bedingungen verwischt.

Überraschend ist die Richtung des Einflusses, den artikulatorische Unterdrückung auf die Variantenfehler hatte, der darauf zurückgeht, dass variantenverschiedene Buchstaben unter lautem Zählen seltener hinsichtlich ihrer Variante verwechselt wurden als in der stillen Bedingung und als variantenähnliche Buchstaben generell. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die ohne Artikulation versucht wurde, die Information allein in der phonologischen Schleife zu repräsentieren. Das heißt, die Probanden könnten sich alle aufgabenrelevanten Informationen subvokal vorgesagt haben (z.B. „kleines a, großes b,...“). Die zahlreichen Variantenfehler wären in dieser Bedingung durch Verwechslungen zwischen den gleichlautenden Variantenspezifikationen verursacht. Erst wenn die Möglichkeit zur phonologischen Rekodierung durch artikulatorische Unterdrückung blockiert war, wurden visuell basierte Repräsentationen hinzugezogen. Daher gehen die Variantenfehler in dieser Bedingung zurück. Erst dann konnte die hohe Differenzierbarkeit der variantenverschiedenen Buchstaben die Häufigkeit von Variantenfehlern reduzieren.

9.7 Diskussion der Experimente I-1 – I-4

Vier Experimente wurden durchgeführt, um zu prüfen, ob die Ähnlichkeit von Buchstabenvarianten Leistungen in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe

beeinflusst. Dafür wurden Modifikationen gegenüber der Originalstudie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) vorgenommen, um solche Einflüsse von anderen möglichen Ursachen des Variantenähnlichkeitseffekts zu isolieren. Die erste Modifikation betraf das Maß, auf das sich die Variantenähnlichkeit auswirken sollte: Durch diese Manipulation sollten primär Fehler in der Wiedergabe der richtigen Variante beeinflusst werden. Die zweite Modifikation betraf die Kontrolle der Artikulationsdauer der Buchstabenlisten.

In Experiment I-1 trat ein Variantenähnlichkeitseffekt in den Variantenfehlern auf. Das heißt, Buchstaben, deren groß- und kleingeschriebenen Varianten einander sehr ähnlich sehen, wurden häufiger als jeweils unterschiedlich geformte Buchstaben in der falschen Variante wiedergegeben. Anders als in der Originalstudie war dieser Effekt allerdings auf die Bedingung beschränkt, in der lautes Zählen die phonologische Rekodierung erschwerte.

Experimente I-1 und I-2 dienten dazu herauszufinden, ob die Konfundierung von Artikulationsdauer und Variantenähnlichkeit in der Originalstudie ursächlich für die abweichenden Befunde sein könnte. In Experiment I-2 wurde versucht, die Artikulationsdauer für Listen variantenähnlicher Buchstaben durch Einbeziehung des Dreisilbers /'ypsilon/ zu verlängern. Dies gelang scheinbar nicht, so dass keine Aussage bezüglich der Hypothese getroffen werden konnte. Immerhin bestätigte sich der Befund eines auf die Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung begrenzten Effekts der Variantenähnlichkeit in den Variantenfehlern aus Experiment I-1. Aufgrund von Experiment I-3 muss die Hypothese schließlich zurückgewiesen werden: Englischsprachige Probanden zeigten mindestens ebenso gute Wiedergabeleistungen für Listen mit dem Dreisilber /'dʌblju:/ wie für Listen ohne ihn.

Passend zu den Ergebnissen der Originalstudie (allerdings nicht bezogen auf das in der Originalstudie verwendete Maß) und im Gegensatz zu den Experimenten mit deutschsprachigen Probanden trat in Experiment I-3 auch in der stillen Bedingung tendenziell ein Variantenähnlichkeitseffekt auf. Diese Diskrepanz konnte aufgrund der verfügbaren Daten nicht erklärt werden. Ein vielversprechender Ansatz liegt jedoch darin, dass in einer Sprache mit geringer Graphem-Phonem-Korrespondenz die graphemischen Repräsentationen eine größere Bedeutung besitzen und daher auch dann im Arbeitsgedächtnis genutzt werden, wenn phonologische Repräsentationen uneingeschränkt verfügbar sind.

Experiment I-4 sollte prüfen, ob nicht doch auch mit deutschsprachigen Probanden unter allen Bedingungen ein Variantenähnlichkeitseffekt auftreten würde, wenn die Fehlerraten dafür hoch genug wären. Mit Hilfe längerer Buchstabenlisten wurden die Leistungen in der stillen Bedingung soweit reduziert, dass sie deutlich vom Deckenniveau entfernt waren. Der Variantenähnlichkeitseffekt fand sich dennoch wieder ausschließlich in der Bedingung mit artikulatorischer Unterdrückung.

Mit Ausnahme von Experiment I-3 sind in dieser Studie die Repräsentationen visueller Erscheinungen von Buchstaben – selbst wenn das Behalten der Varianten gefordert ist – nur unter artikulatorischer Unterdrückung im Arbeitsgedächtnis nachweisbar. Zudem verursacht in sämtlichen Experimenten die Variantenähnlichkeit deutlich schwächere Effekte als die Beeinträchtigung des verbalen Arbeitsgedächtnisses durch lautes Artikulieren. Dies ist mit der Fassung des verbalen Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (z.B. 1986) stimmig, in der verbale Information im Arbeitsgedächtnis in erster Linie in einem phonologischen Repräsentationsformat vorliegt. Es bedeutet auch, dass der Beitrag von Repräsentationen visueller Merkmale in verbalen Arbeitsgedächtnisaufgaben zu

vernachlässigen ist, wenn phonologische Repräsentationen ausreichend sind, um die Aufgabe zu leisten.

Die Prämisse der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens (z.B. Mayer, 2009), Schrift interferiere im visuellen Arbeitsgedächtnis mit Bildern, findet hierdurch keine Bestätigung: Immerhin dürfte üblicherweise beim Lernen mit Texten und Bildern die artikulatorische Schleife frei für die Verarbeitung der verbalen Information sein, während das visuelle Arbeitsgedächtnis durch die Verarbeitung der Bilder in Anspruch genommen ist. Allerdings verweist Experiment I-3 darauf, dass die Annahme von Schrift-Bild-Interferenzen der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens für Sprachen mit intransparenter Orthographie zutreffen könnte: Da sie vermutlich die Elemente der orthographischen Repräsentationen sind, werden variantenspezifische Buchstabengestalten generell verfügbar gehalten. Sofern die visuelle Erscheinung von Buchstaben im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist, könnte es darin zu Interferenzen zwischen Schrift und bildhafter Information kommen.

Grundsätzlich ist denkbar, dass die Repräsentationen der Buchstabengestalten immer aktiviert sind, dass ihr Beitrag aber erst dann in den Leistungsmaßen sichtbar wird, wenn das Arbeitsgedächtnis maximal ausgelastet ist. Der Befund aus Experiment I-4, dass auch bei hoher Arbeitsgedächtnisbelastung kein Variantenähnlichkeitseffekt auftritt, sofern der Rekodierungsmechanismus verfügbar ist, spricht dagegen. Zwingend ist dieses Argument jedoch nicht; es kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier verfügbare Repräsentationen aus Gewohnheit nicht genutzt wurden. So betrachtet wäre es für die Frage nach Schrift-Bild-Interferenzen irrelevant, ob der Variantenähnlichkeitseffekt grundsätzlich oder nur unter artikulatorischer Unterdrückung beobachtbar ist. Auch wenn sie im Hintergrund bleiben, können aktivierte Repräsentationen prinzipi-

ell an Interferenzen mitwirken. Allein die Tatsache, dass die Buchstabengestalten Einflüsse entfalten können würde es rechtfertigen, Interferenzen speziell beim Lernen mit Schrifttext und Bildern zu erwarten.

Ebendies haben die vorgestellten Experimente erstmals klar und ohne Widerspruch gezeigt: Information über Variantengestalten von Buchstaben kann zum verbalen Arbeitsgedächtnis beitragen. Die Repräsentationen, die dem Variantenähnlichkeitseffekt zugrunde liegen, reflektieren die Merkmale der physikalischen Stimuli. Diese Schlussfolgerung ist gerechtfertigt, da sich die Variantenähnlichkeit hauptsächlich auf die Wiedergabe der Buchstabenvarianten niederschlägt, und dies in allen vier Experimenten.⁴ Da sich also visuelle Buchstabenmerkmale im Arbeitsgedächtnis nachweisen lassen liegt nahe, dass zumindest dann auch dessen visuelle Speicherkomponente beteiligt ist. Dies sollte sich in Interferenzen äußern. In Kapitel 4.6 (S. 67ff) wurde berichtet, dass Interferenzen zwischen schriftlicher und bildhafter Information empirisch nicht nachzuweisen sind. In diesen Experimenten wurden jedoch eher globale Leistungsmaße erfasst. Beispielsweise wurde in dem Experiment von Rummer et al. (2010) die wörtliche Satz wiedergabe in Abhängigkeit vom Ausmaß der visuellen Arbeitsgedächtnisbelastung erfasst. In diesem Maß kommen nun die visuellen Merkmale der schriftlichen Information allenfalls indirekt zur Geltung, könnten einfach verdeckt werden. Der Variantenähnlichkeitseffekt bietet eine neue Möglichkeit, Interferenzen zwischen bildhafter und sprachlich-visueller Information im Arbeitsgedächtnis zu beobachten.

⁴ Logie et al. (2000; persönliche Kommunikation 2010) interpretierten ihren visuellen Ähnlichkeitseffekt dahingehend, dass visuelle Information genutzt wird, um die richtige Abfolge der Buchstaben im Arbeitsgedächtnis zu behalten. Die Analyse der falsch erinnerten Buchstabenpositionen widerspricht dieser Interpretation: In den Positionsverwechslungen fanden sich nur in den Experimenten I-1 und I-2 überhaupt Effekte der Variantenähnlichkeit, und nur im ersten Fall waren Vertauschungen in den SIM-Listen häufiger.

Tabelle 9-2. Mittelwerte (und Standardabweichungen) aus Exp. I-1 – I-4, aufgeschlüsselt nach Fehlertyp (Buchstabenidentität, Listenposition und Buchstabenvariante), sowie anhand der Faktoren ARTIKULATORISCHE UNTERDRÜCKUNG (ohne/mit AS) und VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. G - g/SIM, z.B. C - c).

		Buchstabenfehler		Positionsfehler		Variantenfehler	
		Ohne AS	Mit AS	Ohne AS	Mit AS	Ohne AS	Mit AS
Exp. I-1	DIS	1,16 (0,42)	20,46 (2,26)	1,00 (0,31)	17,19 (1,93)	3,29 (0,67)	8,31 (1,04)
	SIM	1,44 (0,31)	18,84 (1,92)	1,28 (0,44)	21,72 (2,14)	3,11 (0,58)	13,60 (1,56)
Exp. I-2	DIS	1,32 (0,43)	18,96 (1,92)	1,92 (0,60)	18,36 (2,09)	3,60 (0,90)	8,47 (1,31)
	SIM	2,36 (0,73)	18,96 (2,26)	1,09 (0,44)	16,09 (1,94)	4,36 (1,30)	14,14 (1,51)
Exp. I-3 (W)	DIS	2,69 (0,94)	17,19 (2,78)	4,77 (1,08)	20,25 (2,43)	5,19 (1,38)	16,16 (2,03)
	SIM	2,34 (0,97)	14,56 (2,77)	3,14 (1,02)	21,16 (2,83)	6,60 (1,46)	17,89 (2,39)
Exp. I-3 (Z)	DIS	5,06 (1,01)	19,94 (2,97)	5,45 (1,15)	18,51 (2,60)	7,45 (1,48)	13,59 (2,17)
	SIM	2,58 (1,04)	19,74 (2,96)	4,33 (1,09)	21,30 (3,03)	9,43 (1,56)	16,90 (2,56)
Exp. I-4	DIS	9,38 (1,25)	39,10 (1,77)	10,81 (1,62)	27,71 (2,02)	20,38 (1,58)	15,57 (1,63)
	SIM	10,49 (1,57)	38,40 (1,92)	11,00 (1,77)	28,49 (2,46)	20,28 (1,54)	18,71 (1,20)

10. Empirischer Teil II

Bislang wurde gezeigt, dass Repräsentationen von Buchstabenvarianten bei besonderem Bedarf (d.h. unter artikulatorischer Unterdrückung und durch Instruktion) im Arbeitsgedächtnis nachweislich genutzt werden können. In Kapitel 6 zum neuronalen Verarbeitungsweg wurde herausgestellt, dass manche Gehirnstrukturen einen Teil der Verarbeitung sowohl von Schrift als auch von Bildern leisten: Im primären visuellen Cortex wird ein Eingangsreiz in Komponenten zerlegt repräsentiert, die für bildhafte und schriftliche Reize die gleichen sind. Auch wenn diese Strukturen höchstwahrscheinlich nicht diejenigen Repräsentationen abbilden, die dem Variantenähnlichkeitseffekt zugrunde liegen, so sind sie ja doch daran beteiligt, die Repräsentationen der Variantengestalten zu aktivieren. Manche Arbeitsgedächtnismodelle sehen vor, dass die bei der Verarbeitung relevanten Repräsentationen auch zum Arbeitsgedächtnis beitragen (z.B. Cowan, 1999). Auch wenn man möglicherweise weniger gut willkürlich auf sie zugreifen kann, könnten solche Repräsentationen trotzdem noch aktiviert sein. Sie könnten im Hintergrund wirken, unwillkürlich zur Rekonstruktion der Buchstabengestalten beitragen.

Wenn die Repräsentationen der frühen Verarbeitungsstadien Information ergänzen, die hilft, die richtige Buchstabengestalt abzurufen, dann sollte es die Verfügbarkeit der Variantenrepräsentationen beeinträchtigen, wenn zusätzlich Bilder verarbeitet werden müssen. Die Aufnahme bildhafter Information nach einem Buchstaben produziert andere Aktivationsmuster in denselben Strukturen, überschreibt damit womöglich einen Teil der Buchstabenrepräsentation und reduziert auf alle Fälle die Konturschärfe von deren Aktivationsmuster. Dann wären die Repräsentationen der Buchstabengestalten nicht mehr klar zu identifizieren, und der Vorteil für unterschiedlich geformte Buchstabenge-

stalten wäre entsprechend aufgehoben oder reduziert. Insofern die Repräsentationen von Buchstabengestalten Gemeinsamkeiten mit Repräsentationen bildhaften Materials haben, sollte der Variantenähnlichkeitseffekt durch die zusätzliche Verarbeitung von Bildern im Retentionsintervall schwinden. Dies würde auf eine Quelle von Schrift-Bild-Interferenzen hinweisen, die sich auf Arbeitsgedächtnisleistungen auswirken könnte.

10.1 Experiment II

Mit dem folgenden Experiment wurde überprüft, ob Repräsentationen von bildhafter Information mehr als Repräsentationen nonverbal-auditiver Information die Verfügbarkeit von Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis stören. Dafür wurde erneut auf das serielle Listenwiedergabe-Paradigma von Logie et al. (2000) zurückgegriffen, mit dem im ersten empirischen Teil dieser Arbeit unter artikulatorischer Unterdrückung zuverlässig Variantenähnlichkeitseffekte beobachtet werden konnten. Diese Aufgabe wurde einerseits mit einer nonverbalen visuellen Zweitaufgabe kombiniert, andererseits mit einer nonverbalen auditiven Zweitaufgabe. In beiden Fällen handelte es sich um *Change Detection-Tasks*, das heißt, es mussten zwei Stimuli miteinander verglichen werden mit dem Ziel zu entscheiden, ob sie gleich waren oder verschieden. Um einen Variantenähnlichkeitseffekt zu provozieren, beinhaltete die Aufgabe artikulatorische Unterdrückung zusätzlich zur Listenwiedergabe und zur *Change Detection-Task*. Entsprechend handelte es sich nicht um eine Umsetzung des *Dual Task*-Paradigmas, sondern um ein weniger übliches *Triple Task*-Paradigma.

Als Material wurden für die *Change Detection-Tasks* einerseits asiatische Schriftzeichen, andererseits kurze Tonfolgen eingesetzt, die von den Probanden jeweils nicht verbalisiert werden konnten. Zwischen Präsentation und Wiedergabe der Buchstabenlisten war immer ein Vergleich zwischen zwei sol-

cher Stimuli eingeschoben. Das Erfordernis, einen weiteren Reiz zu verarbeiten und ihn sich zu merken sollte die Aufrechterhaltung der Liste stören. Die beiden Stimuli waren jeweils nicht gleichzeitig zu sehen beziehungsweise zu hören, sondern durch ein Retentionsintervall zeitlich voneinander getrennt. Also musste der erste Stimulus kurzfristig gespeichert werden, wie zugleich auch die Buchstabenliste. Wenn die Repräsentationen der Buchstabengestalten Gemeinsamkeiten mit bildhaften Repräsentationen haben, sollte die visuelle gegenüber der auditiven Zweitaufgabe den Variantenähnlichkeitseffekt reduzieren.

10.1.1 Design

Es wurde ein varianzanalytisches Design mit den unabhängigen Variablen VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS/SIM) und ZWEITAUFGABE (ZEICHEN/TÖNE) realisiert. Die Art der Zweitaufgabe wurde zwischen, die Variantenähnlichkeit innerhalb von Probanden variiert. Das gesamte Experiment fand unter artikulatorischer Unterdrückung statt. Als abhängige Variablen wurden einerseits die Fehler in der Wiedergabe der Buchstabenlisten, andererseits die *Hits-minus-False Alarms*-Raten der *Change Detection-Task* erfasst.

10.1.2 Methode

10.1.2.1 Stichprobe

45 Studierende der Universität Erfurt wurden in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde Dauer getestet. Sie waren allesamt Muttersprachler des Deutschen und verfügten über keinerlei Kenntnis von chinesischen oder japanischen Schriftzeichen. Sie hatten sich auf eine Einladung für „ein Experiment zum Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner der Teilnehmer hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojektes teilgenommen. Die Probanden waren in ihrer Sehkraft nicht eingeschränkt, oder aber sie brachten

Sehhilfen mit. Für die Teilnahme erhielten sie entweder eine Versuchspersonenstunde oder sechs Euro. Um der Mundtrockenheit infolge ständiger lauter Artikulation entgegenzuwirken, wurde Mineralwasser angeboten.

10.1.2.2 Material

Es wurden 60 der Buchstabenlisten aus Experiment I-1 verwendet (s. Anhang B4, S. 364). Auch innerhalb dieser Auswahl war sichergestellt, dass die Buchstaben gleich häufig und jeder Buchstabe etwa gleich häufig in jeder Listenposition und in jeder Variante vorkam. 20 der Durchgänge dienten dazu, mit der Aufgabe vertraut zu werden, 40 waren *Experimentalitems*. Jede Buchstabenliste bestand entweder aus vier variantenähnlichen oder variantenverschiedenen Buchstaben. Die Listentypen waren zu jeweils gleichen Teilen mit positiven und negativen Durchgängen der Zweitaufgabe kombiniert. Die resultierenden *Items* wurden zu zwei Experimentalblöcken zusammengefasst, von denen jeder gleich viele Listen der DIS- und der SIM-Bedingung mit jeweils gleicher Anzahl an positiven und negativen Bild- beziehungsweise Ton-Vergleichen beinhaltete.

Die Stimuli der Zweitaufgabe waren in der ZEICHEN-Bedingung 50 verschiedene chinesische Schriftzeichen (komplexe Zeichen des Mandarin und vereinfachte Zeichen; s. Anhang B5, S. 365ff). Bei einigen wurden zur Vereinfachung einzelne Komponenten entfernt. Die Zeichen entstammen den Seiten der *Chinese Character Database (Research Centre for the Humanities Computing, Universität Hong-Kong)*. In der TÖNE-Bedingung bestand ein Stimulus aus einer Folge von drei verschiedenen Tönen (die Liste der Tonfolgen findet sich in Anhang B6, S. 368). Diese Tonfolgen wurden unter Verwendung der *Digital Audio Workstation (DAW)-Software Ableton live® lite 8* erstellt. Es wurden digital erzeugte Klavierklänge, und zwar Ganz- und Halbtöne der chromatischen Skala

über drei Oktaven verwendet. Jeder einzelne Ton war auf 500 ms Dauer festgelegt, eine Tonfolge beanspruchte 1500 ms.

Zur Entwicklung der Zweitaufgabe wurden mehrere Vortests mit dem Ziel durchgeführt, Bild- und Ton-*Items* zusammenzustellen, die sich im Durchschnitt in der Schwierigkeit nicht unterscheiden. Für beide Materialarten wurden *Items* mit einer möglichst hohen Lösungswahrscheinlichkeit kreiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass richtig erkannt wurde, ob zwei Stimuli gleich oder verschieden waren, lag schließlich sowohl für Bilder als auch für Tonfolgen über zehn Probanden hinweg bei 93,5 %, wobei der Hinweis vonnöten war, dass keine feinen Unterschiede entdeckt werden mussten, sondern zwei Stimuli entweder deutlich verschieden oder gleich waren.

Auf diese Weise wurden 60 Paare von Drei-Ton-Folgen einerseits und von chinesischen (Pseudo-)Zeichen andererseits erstellt. Auch davon waren 20 für Übungs- und 40 für die Experimentaldurchgänge bestimmt. Die Hälfte der Paare setzte sich aus klar unterscheidbaren Stimuli zusammen, in der anderen Hälfte wurde derselbe Stimulus zweimal präsentiert. Die chinesischen Zeichen wurden in der Schriftart MS PGothic mit 96 pt. wie die Buchstaben in schwarz vor hellgrauem Hintergrund präsentiert. Die Tonfolgen wurden in Form von wav-Dateien verwendet.

10.1.2.3 Ablauf

Zu Beginn der Sitzung lasen die Probanden die Instruktion durch (in Anhang C3, S. 376f nachzulesen). Ergänzend wurde erwähnt, dass es in der *Change Detection-Task* nur um grobe Unterschiede gehe, und es wurde nach Kenntnissen über chinesische oder japanische Schriftzeichen gefragt. Wie in der ersten Experimentalserie sollte jede Buchstabenliste hinsichtlich Buchstabeniden-

tität, Abfolge und Groß-/Kleinschreibung möglichst wie dargeboten wiedergegeben werden. Zwischen Präsentation und Wiedergabe allerdings mussten als Zweitaufgabe zwei Zeichen beziehungsweise Tonfolgen miteinander verglichen werden. Von Beginn des Durchgangs bis zum Abschluss der Wiedergabe mussten die Probanden ununterbrochen leise, aber hörbar das Wort „Vita-Cola“ artikulieren. Wie in den Experimenten I-1 bis I-4 von eins bis fünf zu zählen, hatte sich in Vortests neben Haupt- und Zweitaufgabe als zu fordernd erwiesen.

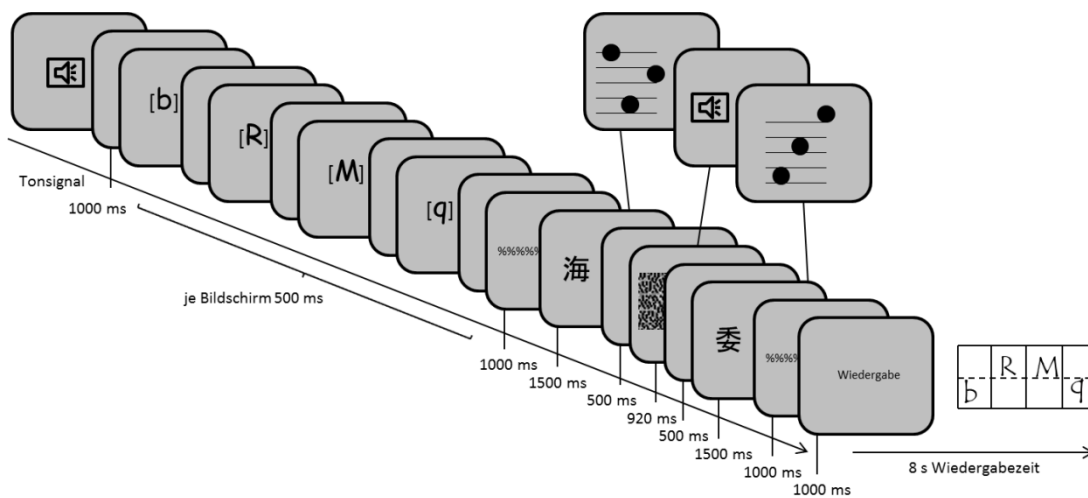


Abbildung 10-1. Graphische Darstellung des Ablaufs eines Durchgangs in Exp. II entlang dem Zeitstrahl. Das Beispiel zeigt eine DIS-Liste mit perfekter Wiedergabe mit Bild-behalten (unten) bzw. Tonfolgen-Behalten (oben) als Zweitaufgabe.

Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 10-1 veranschaulicht. Jeder Durchgang begann mit einem Tonsignal, nach dem der Bildschirm für eine Sekunde leer blieb. Dann wurde die Buchstabenliste dargeboten. Die Buchstaben wurden einer nach dem anderen für je 500 ms in der Mitte des Bildschirms eingeblendet, immer gefolgt von einem ebenso langen Interstimulusintervall (500 ms leerer Bildschirm). Nach dem vierten Buchstaben war für eine Sekunde eine Reihe von Prozentzeichen zu sehen, die den Beginn der eingeschobenen Zweitaufgabe markierte. Es folgte für 1500 ms das erste Zeichen beziehungsweise die erste

Tonfolge. Der Bildschirm blieb für 500 ms leer, ehe ein Pixelbild erschien beziehungsweise ein akustisches Signal ertönte; beides dauerte 920 ms. Wieder blieb der Bildschirm für 500 ms leer, dann folgte das zweite Zeichen beziehungsweise die zweite Tonfolge für jeweils 1500 ms. Auch das Ende der Zweitaufgabe wurde durch eine Reihe von Prozentzeichen kenntlich gemacht. Dann war für eine Sekunde das Wort „Wiedergabe“ zu lesen, woraufhin die acht Sekunden Wiedergabezeit begannen. Diese endeten wiederum mit dem Tonsignal, das zugleich den nächsten Durchgang ankündigte.

10.1.2.4 Hypothesen

Eine Zweitaufgabe sollte bereits wegen der zusätzlichen kognitiven Beanspruchung generell zu höheren Fehlerraten führen. Da artikulatorische Unterdrückung in sämtlichen Durchgängen die Nutzung phonologischer Repräsentationen erschwerte, war ein Einfluss der Variantenähnlichkeit in den Variantenfehlern zu erwarten. Das heißt, prinzipiell sollte ein Variantenähnlichkeitseffekt beobachtbar sein. Wenn dieser jedoch auf die Verwendung früher Repräsentationen zurückgeht, die visuell-bildhaft und nicht für Buchstaben spezifisch sind, sollte er durch die Verarbeitung und das kurzfristige Behalten von Zeichen – verglichen mit Tonfolgen – in seiner Ausprägung reduziert oder aufgehoben sein. Zu erwarten wäre dann eine Interaktion in den Variantenfehlern zwischen dem Material der Zweitaufgabe und der Variantenähnlichkeit. Wenn hingegen den von Buchstaben und bildhaften Zeichen geteilten Repräsentationen bei der Entstehung des Variantenähnlichkeitseffekts keine nennenswerte Rolle zukommt, dann sollte dieser unabhängig davon auftreten, ob zusätzlich visuelle Zeichen oder Töne das Arbeitsgedächtnis beanspruchen.

10.1.3 Ergebnisse

10.1.3.1 Datenaufbereitung

Die Daten der Buchstabenwiedergabe wurden so aufbereitet, wie für Experiment I-1 (S. 139) beschrieben. Wieder wurden Fehler in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Buchstabenfehler), in der Reihenfolge der Buchstaben (Positionsfehler) und in der Wiedergabe der Buchstabenvariante (Variantenfehler) separat analysiert.

Aus den Antworten auf den Vergleich der beiden Tonfolgen bzw. Zeichen wurden *Hits-minus-False Alarms*-Raten errechnet. Es sei angemerkt, dass sich die Ergebnisse zwischen diesen und dem Anteil korrekter Antworten nicht unterscheiden. Die *Hits-minus-False Alarms*-Raten wurden für DIS- und SIM-Items getrennt berechnet, um prüfen zu können, ob die Störaufgaben in den beiden Bedingungen der Variantenähnlichkeit unterschiedlich schwierig waren.

Für jedes Maß wurde eine ANOVA mit dem Messwiederholungsfaktor VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS/SIM) und dem Zwischen-Subjekt-Faktor ZWEITAUFGABE (ZEICHEN/TÖNE) durchgeführt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Fehlerhäufigkeiten sowie der *Hits-minus-False Alarms*-Raten sind in Tabelle 10 (S. 184) aufgeführt. Als Maß für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der *F*-Wert ist kleiner als eins. Im Folgenden werden zunächst die Antwortgenauigkeit in den Zweitaufgaben und dann die drei Fehlermaße zum Buchstabenhalten berichtet.

10.1.3.2 Auswertung

Hits-minus-False Alarms-Raten. Der Haupteffekt für ZWEITAUFGABE erreichte das Signifikanzniveau nicht, $F < 1$ (ZEICHEN 73,70 % vs. TÖNE 77,27

%). Auch der Haupteffekt der VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 43) = 2.126$, $p = .152$, $\eta_p^2 = .047$ (DIS 77,40 % vs. SIM 73,57 %), ebenso wenig die Interaktion beider Faktoren, $F < 1$. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10-2 graphisch dargestellt.

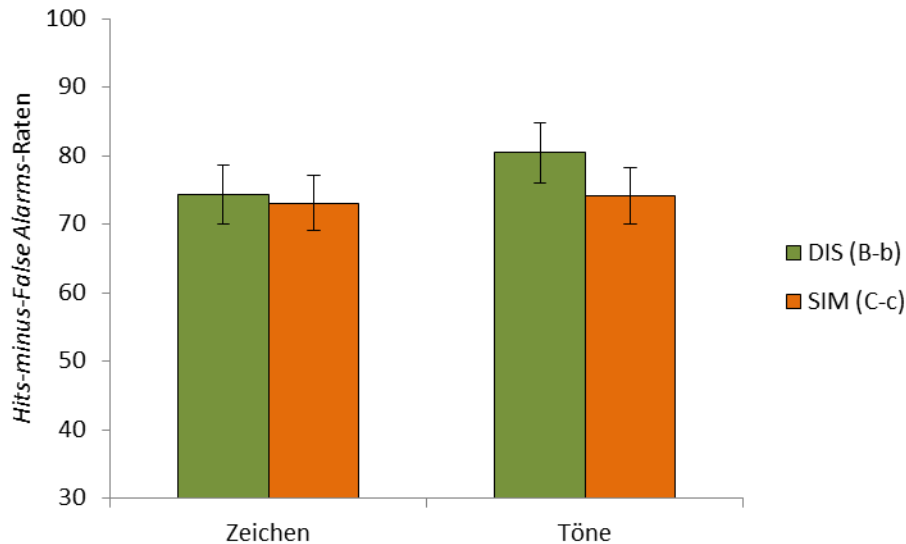


Abbildung 10-2. Hits-minus-False Alarms-Raten in Exp. II, aufgeschlüsselt jeweils nach Zweitaufgabe (Zeichen, Töne) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Buchstabenfehler. Keiner der beiden Haupteffekte war signifikant; der für ZWEITAUFGABE mit $F < 1$ (ZEICHEN 38,80 % vs. TÖNE 36,73 %), der für VARIANTENÄHNLICHKEIT mit $F(1, 43) = 2.100$, $p = .155$, $\eta_p^2 = .047$ (DIS 38,73 % vs. SIM 36,81 %). Die Interaktion beider Faktoren war marginal signifikant, $F(1, 43) = 3.694$, $p = .061$, $\eta_p^2 = .079$. Dies ging darauf zurück, dass in der Bedingung ZEICHEN/DIS mehr Buchstabenfehler auftraten als in den drei anderen Bedingungen. Der geplante Vergleich von SIM und DIS in der ZEICHEN-Bedingung war signifikant, $F(1, 43) = 5.811$, $p = .020$, während alle anderen geplanten Vergleiche nicht statistisch bedeutsam waren, alle F s < 1 . Die Fehlerraten sind in Abbildung 10-3 graphisch dargestellt.

Positionsfehler. Weder die Haupteffekte für ZWEITAUFGABE (ZEICHEN 26,89 % vs. TÖNE 30,10 %) oder VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS 29,00 % vs. SIM 27,99 %) noch die Interaktion waren signifikant, alle F s < 1.

Variantenfehler. Ein Effekt der ZWEITAUFGABE trat nicht auf, $F < 1$ (ZEICHEN 14,46 % vs. TÖNE 16,65 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 43) = 29.618$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .408$ (DIS 12,60 % vs. SIM 18,51 %). Er wurde nicht durch ZWEITAUFGABE moderiert, $F < 1$.

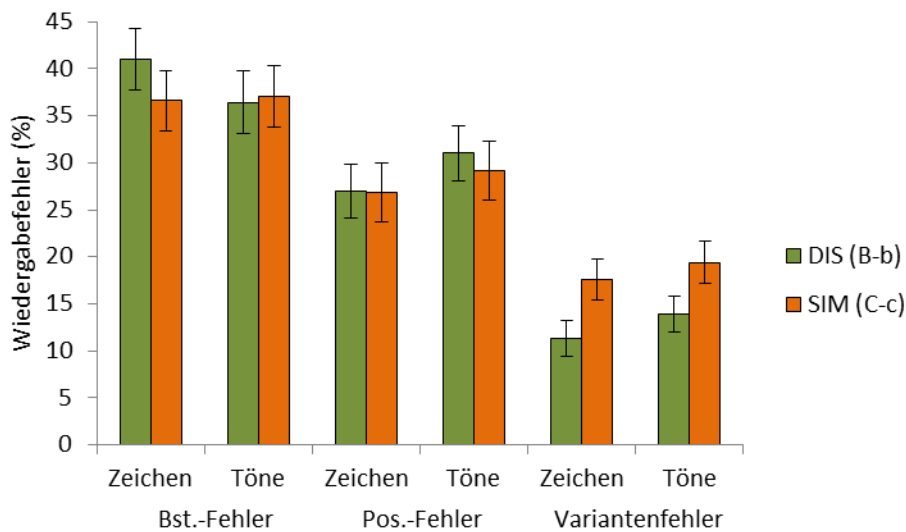


Abbildung 10-3. Fehlerhäufigkeiten (%) in der Wiedergabe der Buchstabenidentität (Bst.-Fehler), der Listenposition (Pos.-Fehler) und der Buchstabenvariante (Variantenfehler) in Exp. II, aufgeschlüsselt jeweils nach Zweitaufgabe (Zeichen, Töne) und Variantenähnlichkeit (DIS, SIM).

Um zu prüfen, ob der Variantenähnlichkeitseffekt an bestimmte Listenpositionen gebunden war, wurden die Variantenfehler zusätzlich in einer ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren LISTENPOSITION (1 – 4) und VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS/SIM) sowie dem zwischen-Subjekt-Faktor ZWEITAUFGABE (ZEICHEN/TÖNE) analysiert. Der Haupteffekt für LISTENPOSITION erwies sich als signifikant, $F(3, 129) = 11.935$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .217$

(10,71 %, 17,73 %, 20,80 % und 15,39 % Variantenfehler auf den Positionen 1 bis 4). LISTENPOSITION interagierte weder mit ZWEITAUFGABE, $F < 1$, noch mit VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F(3, 129) = 1.568$, $p = .200$, $\eta_p^2 = .021$. Die Dreifachinteraktion war nicht signifikant, $F(3, 129) = 1.238$, $p = .299$, $\eta_p^2 = .028$.

Tabelle 10. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms*-Raten) in der Zweitaufgabe sowie der Fehler bei der Wiedergabe der Buchstabenlisten bzgl. Identität, Listenposition und Variante der Buchstaben (in %) aus Exp. II. Die Daten sind aufgeschlüsselt nach Zweitaufgabe (Bilder oder Tonfolgen differenzieren) und nach Variantenähnlichkeit (DIS, z.B. B – b und SIM, z.B. C - c).

	Zweitaufgabe		Wiedergabe der Buchstabenliste					
	<i>(Hits-False Alarms)</i>		Buchstabenfehler		Positionsfehler		Variantenfehler	
	Zeichen	Töne	Zeichen	Töne	Zeichen	Töne	Zeichen	Töne
DIS	74,35	80,45	41,03	36,42	26,96	31,04	11,31	13,88
	(4,27)	(4,37)	(3,25)	(3,33)	(2,86)	(2,92)	(1,88)	(1,92)
SIM	73,04	74,09	36,58	37,05	26,82	29,17	17,61	19,41
	(4,02)	(4,11)	(3,18)	(3,25)	(3,10)	(3,17)	(2,16)	(2,20)

10.1.4 Diskussion

Experiment II wurde durchgeführt um zu prüfen, ob eine zusätzliche Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses durch eine nonverbale visuelle verglichen mit einer nonverbal auditiven Zweitaufgabe im Retentionsintervall den Variantenähnlichkeitseffekt reduziert. Der Variantenähnlichkeitseffekt wird als Beleg für die Verfügbarkeit von Repräsentationen variantenspezifischen Buchstabengestalten gewertet. Wenn diese selektiv durch eine visuelle Behaltensanforderung eingeschränkt würde, wäre anzunehmen, dass die Buchstabengestalten ähnlich wie Bilder ohne linguistische Bedeutung repräsentiert sind. Die Ergebnisse dieses Experiments sprechen dagegen. Variantenähnliche Buchstaben

wurden deutlich häufiger in der falschen Variante wiedergegeben als variantenverschiedene Buchstaben, und dieser Unterschied zeigte sich sowohl bei einer nicht-visuellen als auch bei der visuellen Zusatzanforderung. Die Grundlage des Variantenähnlichkeitseffekts sind also keine visuell-bildhafte Repräsentationen.

Insgesamt betrachtet war die Dreifachaufgabe in Experiment II höchst fordernd. Die verbale Doppelaufgabe, zugleich die vier Buchstaben zu behalten und „Vita-Cola“ zu artikulieren, dürfte für sich genommen nicht beanspruchender sein als die Aufgabe in den Experimenten I-1a bis I-4, während des Buchstabenbehaltens laut zu zählen. Die Fehlerraten sind jedoch eher mit denen in Experiment I-4 vergleichbar, in dem jede Liste aus sechs Buchstaben bestand. Im aktuellen Experiment ist die Leistungsminderung nicht auf höhere verbale Anforderungen zurückzuführen, sondern auf die zusätzliche Beanspruchung durch die *Change Detection-Task*. Diese bedarf einerseits der Aufmerksamkeit, die auch für die Aufrechterhaltung der Buchstaben benötigt wird (z.B. Barrouillet, Bernardin & Camos, 2004; Vergauwe, Dawaele, Langerock & Barrouillet, 2012; vgl. auch Morey & Cowan, 2005). Andererseits bedingt sie eine Verzögerung der Wiedergabe, so dass die Buchstaben länger aufrechterhalten werden mussten als in den Experimenten I-1 bis I-4. Wie genau die Zweitaufgabe das Behalten der Buchstabenliste beeinträchtigte, lässt sich nicht sagen.

Während also die Fehlerraten in diesem Experiment vergleichbar mit denen aus Experiment I-4 sind, ist der Variantenähnlichkeitseffekt deutlich stärker ausgeprägt. Dies könnte darin begründet sein, dass hier keine Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung realisiert war. Zum einen gab es daher ein paar ($6 \pm 17\%$) mehr Durchgänge, in denen sich der Variantenähnlichkeitseffekt zeigen konnte. Zudem wurden die Ergebnisse nicht durch unsys-

tematische Variation verwischt, die durch die Abfolge der Bedingungen mit und ohne artikulatorische Unterdrückung entstand.

Ein unerwartetes Ergebnis zeigte sich in den Fehlern bei der Wiedergabe der Buchstabenidentität. Buchstaben mit unterschiedlich geformten Variantengestalten wurden ausschließlich bei zusätzlicher Bildbehaltensanforderung besonders selten wiedergegeben. Abgesehen von der Variantenähnlichkeit unterschieden sich die beiden Buchstabensets vor allem in der Anzahl der dazugehörigen Gestalten. Möglicherweise boten das variantenverschiedenen Set deswegen mehr Ansatzpunkte für Irritation durch die Zeichen. Für dieses Set ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein Element eines bildhaften Zeichens Ähnlichkeit mit einer der zwölf variantenverschiedenen Buchstabengestalten hat als mit einer der sechs variantenähnlichen Buchstabengestalten. Wenn das Zeichen den entsprechenden Buchstaben aktivieren würde und dieser nicht in der Liste war, könnte dies zu Fehlern bei der Wiedergabe der Buchstabenidentitäten führen. Ein durch ein Zeichen aktivierter Buchstabe könnte sich bei der Wiedergabe mehr als ein tatsächlich präsentierter Buchstabe aufdrängen. Wenn Elemente der Bilder allerdings Buchstaben aktivieren würden, sollten die Fehlerraten in der ZEICHEN- gegenüber der TÖNE-Bedingung auch für variantenähnliche Buchstaben erhöht sein. Dem war nicht so, womit dieser Erklärungsansatz den Befund nicht plausibel aufzulösen vermag.

Was immer ursächlich für diesen Effekt war; die Buchstabenfehler sind bedeutsam für den Variantenähnlichkeitseffekt. Daher ist es vorrangig erforderlich zu prüfen, ob der unerwartete Unterschied in der Wiedergabe variantenähnlicher gegenüber –verschiedenen Buchstaben den Variantenähnlichkeitseffekt erklären kann. Die Variantenfehler wurden an der Anzahl der erinnerten Buchstabenidentitäten (Anzahl präsentierter Buchstaben minus Buchstabenfeh-

ler) relativiert. Das heißt, die Variantenfehlerrate wirkt umso größer, je kleiner die Grundgesamtheit ist, an der sie relativiert wurde. Die Grundgesamtheit der variantenverschiedenen Buchstaben in der ZEICHEN-Bedingung war kleiner als die der variantenähnlichen Buchstaben. Die Variantenfehlerrate für variantenähnliche wurde relativ zu der für variantenverschiedene Buchstaben durch die unterschiedliche Anzahl an Buchstabenfehlern abgeschwächt, nicht vergrößert. So wurde die Ausprägung des Variantenähnlichkeitseffekts eher unterschätzt. Dieser bliebe auch in der ZEICHEN-Bedingung voll erhalten, wenn es keinen Unterschied in den Buchstabenfehlern gäbe. Das Ausbleiben der Interaktion von Variantenähnlichkeit und Zweitaufgabe geht also nicht auf den unerwarteten Einfluss der Variantenähnlichkeit auf die Anzahl korrekt wiedergegebener Buchstabenidentitäten zurück.

Der zentrale Befund dieses Experiments ist folglich trotz des unerwarteten Effekts ohne Einschränkung interpretierbar: Eine nonverbale visuelle Zweitaufgabe beeinträchtigt die Verfügbarkeit der Buchstabengestalten ebenso wenig wie eine nonverbale auditive Zweitaufgabe. Offenbar haben die für das Behalten der Buchstabenvarianten verwendeten Repräsentationen mit den Repräsentationen unvertrauter visueller Zeichen nicht mehr gemeinsam als mit den Repräsentationen arbiträrer Tonfolgen.

Man kann festhalten, dass dies die Annahme der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens, Schrift und Bilder interferierten im visuellen Arbeitsgedächtnis nicht stützt. Doch ist die Annahme damit nicht unbedingt widerlegt. Möglicherweise sind Variantengestalten nicht nur in den frühen sensorischen Repräsentationen kodiert, sondern auch in Repräsentationen, die bereits schriftspezifisch sind und daher wenig mit bildhaften Repräsentationen gemeinsam haben. So betrachtet können Variantengestalten im Arbeitsgedächtnis ver-

füßbar sein, ohne dass es zu Interferenzen mit nonverbalem visuellen Material kommt. Es ist plausibel anzunehmen, dass variantenspezifische Buchstabenrepräsentationen im Langzeitgedächtnis vorhanden sind, gewissermaßen als abstrakte sprachliche Information. In Kapitel 7.1 (S. 88ff) zu den Repräsentationen von Schrift, welche deren visuelle Merkmale beinhalten, wurde dargelegt, dass nicht nur die Buchstabenvarianten, sondern auch Merkmale der Schriftart bei der Verarbeitung von Buchstaben relevant sind. Die Schriftart ist also eine weitere Informationsart, die auch im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein könnte.

Im folgenden Kapitel wird der Gedanke ausgebreitet, dass Schriftartinformation eher bildhaft ist als Varianteninformation. Varianteninformation sollte in buchstabenspezifischen Repräsentationen kodiert sein, die ich als variantenspezifische Grapheme bezeichnen möchte, weil sie trotz der Variantenspezifität abstrakt sind. Schriftartinformation dagegen sollte nicht in diesen variantenspezifischen Graphemen, sondern in früheren Repräsentationen enthalten sein. Diese früheren Repräsentationen liegen womöglich auf dem Verarbeitungsweg den Strukturen, die auch für die Verarbeitung von Bildern zuständig sind. Wenn auch Schriftartinformation im Arbeitsgedächtnis verfügbar ist, dann könnte man vermuten, dass zwar nicht die variantenspezifischen Repräsentationen, wohl aber die schriftartspezifischen Repräsentationen mit bildhafter Information im Arbeitsgedächtnis interferieren. Der anschließende dritte empirische Teil setzt an der Frage an, ob auch die Schriftart repräsentiert ist, wenn Buchstaben im Arbeitsgedächtnis behalten werden müssen. Sofern Buchstaben auf ähnliche Weise repräsentiert sind wie Bilder, dann sollten auch diese Merkmale ihrer konkreten Erscheinung im Arbeitsgedächtnis verfügbar sein.

11. Konkrete und abstrakte visuelle Schriftmerkmale

Im ersten Teil der Arbeit wurde gezeigt, dass die visuelle Gestalt von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden kann. Fehler bei der Wiedergabe der Buchstabenvariante passieren häufiger, wenn sich die beiden Varianten des Buchstabens nicht in der Gestalt unterscheiden. Ein solcher Variantenähnlichkeitseffekt wurde bislang unter Instruktion zur Aufrechterhaltung der Variantengestalten und zumindest mit deutschsprachigen Probanden nur bei eingeschränkter Nutzbarkeit phonologischer Information gefunden. Es scheint, dass in transparenten Orthographien die Bedeutung dieser Repräsentationen in einer verbalen Arbeitsgedächtnisaufgabe gegenüber den phonologischen Repräsentationen nicht besonders groß ist. Dennoch ist auch dort denkbar, dass sie stets still im Hintergrund wirken. Bezüglich der Annahme der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens, Schrift interferiere im visuellen Arbeitsgedächtnis mit Bildern, lautet die kritische Frage dann, ob Buchstabenvarianten auf ähnliche Weise repräsentiert sind wie Bilder. Ein entsprechender Hinweis wäre etwa der Nachweis, dass Buchstaben in ihrer ganz konkreten visuellen Erscheinung im wahrsten Wortsinn als Abbilder repräsentiert sind.

Vor rund 40 Jahren fand in der Kognitionspsychologie eine Diskussion darüber statt, ob Wörter, Nichtwörter und Buchstaben mitsamt ihren oberflächlichen Eigenschaften, als Abbild des sensorischen Ereignisses im Gedächtnis repräsentiert sind (z.B. Craig & Kirsner, 1974; Hintzman & Summers, 1973; Light, Berger & Bardales, 1975). In dieser Diskussion wurden Probleme benannt, die einer Beantwortung der Frage im Weg stehen. So kann es nicht als Argument gegen die Verfügbarkeit der visuellen Merkmale gelten, wenn diese sich nicht nachweisen lassen: Das bedeutet zunächst nur, dass andere Repräsentationen dominieren (Nickerson, 1976), gefördert vielleicht noch durch die

eingesetzte Aufgabe (Hintzman & Summers, 1973). Wenn sich Repräsentationen visueller Merkmale jedoch nachweisen lassen, belegt das nicht, dass es sich um visuelle Abbilder handelt; die visuellen Merkmale könnten Aspekte abstrakter Repräsentationen sein (Light & Berger, 1976).

11.1 Varianten- und Schriftartinformation

Dieser Streit macht deutlich, wie schwierig es ist zu entscheiden, wann eine Repräsentation abstrakt ist und wann „oberflächlich-visuell“. Was Buchstaben betrifft, bieten diese einen Ansatzpunkt zur Klärung des Problems: Es ist möglich, zwei Aspekte ihrer visuellen Erscheinung zu kontrastieren, von denen einer oberflächlich-visuell, der andere auch sprachlich relevant ist. Gemeint sind die mit der Schriftart verknüpften Merkmale gegenüber den Buchstabenvarianten. Die These, dass bildhafte Buchstabenrepräsentationen im Arbeitsgedächtnis genutzt werden, wird durch einen Vergleich der Verfügbarkeiten von Varianteninformation und Merkmalen der Schriftart im Arbeitsgedächtnis geprüft. Zunächst wird dargelegt, dass die Schriftart ein oberflächliches Merkmal von Buchstaben ist, Varianteninformation dagegen von zentraler Bedeutung für deren Identifikation und zudem funktional relevant ist.

11.1.1 Variantenspezifische Grapheme

Modelle der Buchstabenverarbeitung unterscheiden häufig nicht zwischen Varianten- und Schriftartinformation. In Modellen der Produktion wird eine gemeinsame Repräsentationsebene für Variante und Schriftart beschrieben, die der Allographen, auf der sich jedoch produktionsseitig diese beiden Spezifikationen der Buchstabenoberfläche dissoziieren lassen (z.B. Venneri et al. 2002). Als früheste Verarbeitungsebene in der Rezeption postulieren Ellis und Young (1998) eine Stufe der visuellen Analyse. Auf dieser Stufe soll Schrift bezüglich all ihrer Oberflächenmerkmale wahrgenommen werden, wie eben Groß-/

Kleinschreibung und Schriftart. McClelland und Rumelhart (1981; Coltheart et al., 2001; Grainger & Jacobs, 1996; Rumelhart & McClelland, 1982) modellieren eine Ebene der Verarbeitung visueller Merkmale, die der Identifikation von Buchstaben und Wörtern vorgelagert ist. Diese Ebene wurde jedoch lange Zeit nicht näher erforscht. „While the interactive activation (IA) model [...] and its derivatives (e.g., dual route cascaded, DRC, model, [...]; multiple readout model, MROM, [...]) include a feature level that feeds into a subsequent letter level, the architectural and dynamical assumptions underlying these first two levels of processing have largely gone untested” (Finkbeiner & Coltheart, 2009, S. 1).

Dies ändert sich in jüngster Zeit, und zumindest theoretisch wird nun zwischen den verschiedenen visuellen Aspekten von Buchstaben differenziert. Petit et al. (2006) entwarfen in Anlehnung an die eben genannten Modelle und mit Bezug auf neuropsychologische Studien ein Arbeitsmodell der Buchstabenwahrnehmung. Dieses unterscheidet zwischen Verarbeitungsstufen, auf denen die physikalischen Eigenschaften repräsentiert sind und solchen, auf denen nur noch Varianteninformation eine Rolle spielt. Sie schreiben (S. 674f):

„Early visual processing leads to the extraction of elementary visual features (e.g., lines of different orientation and curvature). At this level, processing is sensitive to the physical characteristics of stimuli, such as size, orientation, and component features. [...] Specific combinations of elementary visual features converge on higher level representations of letter form that are insensitive to variation in size and orientation. At this level, processing is sensitive to letter case (this is because many lower- and uppercase versions of the same letter have distinct visual forms). [...] Activation in case-specific letter representations is further propagated to more abstract representations that code the shared nomi-

nal identity of different letter forms. Hence, at this level, processing is insensitive to variation in visual form across a given letter identity.”

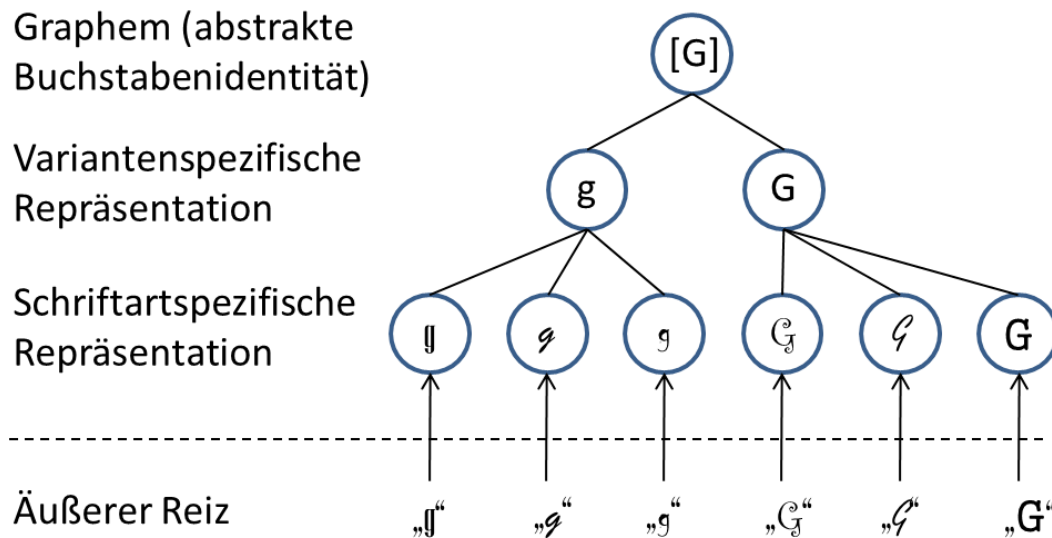


Abbildung 11-1. Veranschaulichung des Gedankens, dass variantenspezifische Repräsentationen abstrakter sind als schriftartspezifische Repräsentationen, da sie durch verschiedene konkrete Wahrnehmungsereignisse aktiviert werden.

Ausgehend etwa von den spezifischen Gestalten \mathcal{H} , \mathcal{A} , \mathfrak{A} und \mathbf{A} wird eine gemeinsame Repräsentation des Großbuchstabens „A“ aktiviert (vgl. Abb. 11-1). Von den Merkmalen des konkreten Wahrnehmungserlebnisses wird also im Verarbeitungsprozess abstrahiert, während die invarianten Merkmale des immer wiederkehrenden Reizes herausgearbeitet werden. Im Fall des „A“ wären dies zwei vertikale Linien, die oben zusammenlaufen und eine horizontale Linie, welche die beiden Vertikalen etwa auf halber Höhe miteinander verbindet. Merkmale wie die genaue Höhe der Schnittstellen, Serifen und Schnörkel, die Neigung der Linien und die Größe der Winkel hingegen würden der Abstraktion zum Opfer fallen. Repräsentationen auf dieser Ebene wären jedoch nicht so abstrakt, dass „a“ und „A“ darin gleichermaßen kodiert wären. Die Verknüpfung dieser unterschiedlichen Gestalten fände erst auf der nächsten Repräsentati-

onsebene statt. Es sei angemerkt, dass „C“ und „c“ schon auf der Repräsentationsebene nicht mehr unterscheidbar wären, die von der absoluten Größe abstrahiert. Auf dieser Repräsentationsebene könnte der Variantenähnlichkeitseffekt entstehen.

11.1.2 Die Relevanz der Varianteninformation

Es könnte also abstrakte Repräsentationen geben welche, anders als Grapheme, die Merkmale der Variantengestalten beinhalten. Ein anderes Argument dafür, dass Buchstabenrepräsentationen zugleich abstrakt und variantenspezifisch sein sollten ist, dass Buchstabenvarianten sprachliche Bedeutung besitzen bzw. vermitteln: Die Wahl der Buchstabenvariante erfolgt im Allgemeinen nicht willkürlich, sondern aufgrund orthographischer Regeln. Diese Regeln verweisen auf grammatikalische Information, die in der Wahl der Variante mit enthalten ist. Beispielsweise werden Satzanfänge und Eigennamen in vielen Sprachen durch Großbuchstaben gekennzeichnet, im Englischen das Personalpronomen in der ersten Person Singular („I“) und im Deutschen die Wortklasse der Nomen, inklusive nominalisierter Verben und Adjektive. Die Verwendung bestimmter Buchstabenvarianten vermittelt also orthographisch-grammatikalisch relevante Information und besitzt somit abstrakte (nicht-visuelle) sprachliche Bedeutung und funktionale Relevanz. Zudem sind sie zentral für die Identifikation der Buchstaben.

Nach Ansicht von Wong und Gauthier (2007) gehören die Merkmale, die eine Buchstabenvariante auszeichnen, zu den Aspekten, die für die Identifikation von Buchstaben zentral sind, Merkmale der Schriftart dagegen nicht. Sie stellen fest, dass Expertise hinsichtlich zahlreicher Stimulusklassen (z.B. Gesichter [von Freunden vs. unvertraut] oder Tiere) eine Verschiebung des Verarbeitungsschwerpunkts mit sich bringt. Mit Referenz auf Rosch, Mervis, Gray,

Johnson und Boyes-Braem (1976) legen sie dar, dass Experten auf untergeordnete Merkmale fokussieren (*Subordinate Level Features*): Während zum Beispiel einem mit Vögeln durchschnittlich vertrauten Beobachter auf einen entsprechenden Reiz hin der übergeordnete Begriff „Vogel“ schneller in den Sinn kommt als etwa die Unterkategorie „Rotkehlchen“, verhält sich dies bei einem Ornithologen genau anders herum. Bei zunehmender Expertise mit Buchstaben jedoch komme es nicht zu dieser Fokusverschiebung. Selbst hochgradig geübte Leser kategorisieren Buchstaben auf Ebene der prototypischen Merkmale (*Basic Level Features*), weil dies dem an den Reiz geknüpften Verarbeitungsziel, der Umwandlung in eine Lautrepräsentation, eher zuträglich ist. Um zu verdeutlichen, was sie im Fall von Buchstaben mit prototypischer bzw. untergeordneter Merkmalsebene meinen, verweisen die Autoren auf Varianten- bzw. Schriftartinformation. Die Merkmale der Schriftart sind nicht zentral sind, um den Buchstaben zu identifizieren und insofern untergeordnet. Die Variantengestalt dagegen beinhaltet Information, die nötig ist, um einen Buchstaben zu erkennen, und diese wird bei der Verarbeitung durch Experten des Lesens fokussiert.

11.1.3 Fazit

Im vorigen Abschnitt wurde die Vorstellung ausgeführt, dass im Zuge der Identifikation Merkmale, die zur Schriftart gehören, „wegabstrahiert“ und frühzeitig im Verarbeitungsprozess, noch vor der eigentlichen Identifikation, nicht mehr in den Repräsentationen kodiert werden. Die Merkmale, welche die Variantengestalt eines Buchstabens ausmachen, werden im Gegensatz dazu im Identifikationsprozess besonders fokussiert. Um zu wissen, welche Merkmale kritisch sind und fokussiert werden müssen, ist eine entsprechende Repräsentation im Langzeitgedächtnis unverzichtbar. Folglich sollten Variantengestalten auf einer Ebene repräsentiert sein, die vom visuell-bildhaften Eindruck unter-

schieden werden kann. Auf dieser Ebene gäbe es für jede der beiden Varianten eines variantenverschiedenen Buchstabens eine auf die wesentlichen visuellen Merkmale reduzierte Repräsentation; die beiden Varianten eines variantenähnlichen Buchstabens dagegen könnten in einer einzigen Repräsentation kodiert sein. Wegen ihrer orthographischen Bedeutung ist Varianteninformation möglicherweise auch routinemäßig über den Identifikationsprozess hinaus repräsentiert. Solche Repräsentationen entsprechen nicht - wie manchmal das Graphemkonzept - Wissen über den Buchstaben, sondern sie enthalten seine Gestaltmerkmale. Sie sind also nicht vollständig abstrakt, aber abstrakter als die Repräsentation des konkreten Wahrnehmungsereignisses, weil sie invariant sind und einige visuelle Merkmale darin aufgehen.

Zu den Merkmalen wiederum, die in den abstrakten Variantenrepräsentationen nicht spezifiziert sind, zählen solche, die eine Schriftart ausmachen. Da die Merkmale der Schriftart früh im Wahrnehmungsprozess zugunsten der invarianten Merkmale herausgefiltert werden, ist es plausibel anzunehmen, dass Merkmale der Schriftart in einem eher bildhaften Format repräsentiert sind. Repräsentationen von Schriftartmerkmalen sind den Repräsentationen der bedeutungsleeren Muster, anhand derer das visuelle Arbeitsgedächtnis häufig untersucht wird, zwar nicht gleichzusetzen, weil sie Teil bedeutsamer Reize sind. Schriftartspezifische Repräsentationen sollten den Repräsentationen bedeutungsleerer Muster jedoch ähnlicher sein als die Variantenmerkmale. So könnte es bei der frühen visuellen Verarbeitung zu Interferenzen zwischen Schrift und nicht-schriftlicher visueller Information kommen. Auch mehrere Buchstabenrepräsentationen sollten auf dieser Ebene stärker interferieren als auf der Ebene abstrakter Variantengestalten. Die abstrakten Repräsentationen sind auf die invarianten Merkmale reduziert, die für die Identifikation entschei-

dend sind. Solche Merkmale definieren jeden Buchstaben und ermöglichen es, ihn von anderen Buchstaben zu unterscheiden. Die abstrakten Repräsentationen haben entsprechend weniger Überschneidungen miteinander und sind deswegen besser gegen Interferenzen geschützt. Eine solche Vorstellung ist in Abbildung 11-2 dargestellt. Da die konkreten Buchstabengestalten mehr visuelle Merkmale beinhalten, ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein weiterer Reiz diese Merkmale teilt. Damit steigt das Potential für wechselseitige Irritationen.

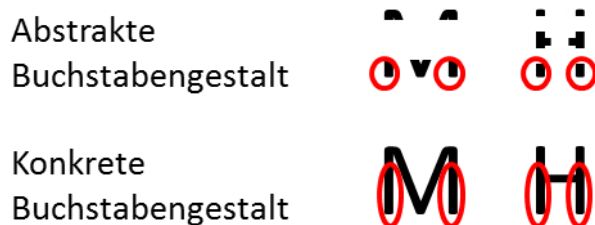


Abbildung 11-2. Beispielhafte Darstellung des Anteils geteilter Merkmale zwischen konkreten (unten) und abstrakten (oben) Buchstabengestalten von „M“ und „H“.

11.2 Empirische Kontrastierung von Schriftart und Variante

Auch der Nachweis von Variantengestalten in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe muss nicht bedeuten, dass Schrift wie visuelle Information behandelt wird. Die Definition von abstrakten Buchstabenidentitäten schließt Varianteninformation aus methodischen, nicht aus inhaltlichen Gründen aus: Um beispielsweise aus einer *Priming*-Studie zu folgern, dass abstrakte Grapheme aktiviert wurden, dürfen *Prime* und *Target* einander nicht in der Form gleichen (z.B. Bowers et al. 1998; vgl. Kap. 7.2). Wenn Variantengestalten abstrakt wären, wenn sie also in schriftspezifischen Repräsentationen kodiert wären, dann wäre der Variantenähnlichkeitseffekt (vgl. Kap. 9) kein Hinweis auf einen visuellen Beitrag zum verbalen Arbeitsgedächtnis. Die beobachteten Effekte wären

stattdessen auf abstrakte Buchstabengestalten zurückzuführen. Um zu prüfen, ob auch konkrete Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein können, wird Varianteninformation in der folgenden Serie von Experimenten mit Schriftartinformation kontrastiert. Ließen sich auch die damit verbundenen visuellen Oberflächenmerkmale von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis belegen, wäre die Annahme vertretbar, dass auch solche visuelle Repräsentationen zum Gedächtnis für Buchstaben beitragen, die nicht für Schrift spezifisch sind.

Durch den Vergleich der Verfügbarkeit von varianten- und schriftartbezogenen Buchstabenmerkmalen soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob die visuellen Merkmale von Schrift in Arbeitsgedächtnisaufgaben auf ähnliche Weise „visuell“ sind wie Bilder: Wenn die Schriftart ebenso wie die Varianteninformation in Arbeitsgedächtnisleistungen nachweisbar ist, dann gibt es Buchstabenrepräsentationen, die relativ konkret und bildhaft und im Arbeitsgedächtnis nutzbar sind. Dies würde die Erwartung von Schrift-Bild-Interferenzen beim Lernen mit Texten und Bildern (z.B. Mayer, 2009) begründen. Wenn jedoch die Schriftartinformation keinen Einfluss auf die Arbeitsgedächtnisleistungen hat, während Varianteninformation in derselben Aufgabe verfügbar ist, wäre dies ein Hinweis darauf, dass bildhafte Aspekte der Buchstaben im Arbeitsgedächtnis nicht aufrechterhalten werden. Dann sollten Buchstabenrepräsentationen auch nicht mit anderer bildhafter Information interferieren.

11.2.1 Motivation für die Vorgehensweise

In Kapitel 5 wurde das unitäre Arbeitsgedächtnismodell (z.B. Cowan, 1999) vorgestellt, in dem jegliche bei der Verarbeitung relevante Information durch Aufmerksamkeit fokussiert werden kann und somit im Arbeitsgedächtnis verfügbar ist. Anders als in den Vorstellungen des Multikomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses gibt es hier kein spezifisch im Arbeitsgedächtnis ver-

wendetes Repräsentationsformat. Arbeitsgedächtnis ist ein Prozess, in dem sensorische und Langzeitrepräsentationen genutzt und zu diesem Zweck durch Aufmerksamkeitszuwendung aufrechterhalten werden. Die alleinige Aufrechterhaltung der Information ist aus dieser Perspektive weniger aufschlussreich als etwa für die Erforschung der Komponenten im Multikomponentenmodell. Entscheidender ist, dass der Aufmerksamkeitsfokus sich dynamisch über die relevanten Repräsentationen verschieben kann. Nicht jede aktivierte Information ist im Aufmerksamkeitsfokus, aber jede aktivierte Information kann fokussiert werden. Der Wechsel zwischen verschiedenen Repräsentationen sowie äußeren Reizen basiert auf Aufmerksamkeitsprozessen. Das Modell ist insofern stärker (bzw. auf andere Weise) prozessorientiert als das Multikomponentenmodell. Cowan (1999, S. 88) schreibt:

„..., there is no single, separate theoretical entity that I would call working memory; that is a practical, task-oriented label. What are potentially more meaningful in a theoretical sense are the basic mechanisms proposed to underlie this complex system, including activation of memory, the contents of an attentional process, and the contextual organization of memory.”

In der Forschung zum Multikomponentenmodell (z.B. Baddeley, 1986) werden häufig serielle Wiedergabeparadigmen eingesetzt (vgl. Kap. 4.2.1), um zu prüfen, welche Informationen in den Speicherkomponenten verfügbar sind. Von diesen Informationen kann man dann annehmen, dass sie auch den zentral-exekutiven, aufmerksamkeitsbasierten Prozessen zugänglich sind. In diesem Paradigma steht die statische Aufrechterhaltung von Information in der richtigen Reihenfolge im Vordergrund. Die Manipulation der Repräsentationen, also ihre Verwendung in Aufmerksamkeit erfordernden Arbeitsgedächtnisprozessen, ist darin kaum operationalisiert (nur im Aufrechterhaltungsmechanismus). Die-

ses Paradigma passt also gut zum Konzept des Kurzzeitgedächtnisses (z.B. Atkinson & Shiffrin, 1968), aber weniger gut zu einer Auffassung von Arbeitsgedächtnis als Aufmerksamkeitsprozess (z.B. Cowan, 1999). In Kapitel 4 wurde dargestellt, dass im Rahmen des Multikomponentenmodells theoretisch nicht vorgesehen ist, dass Schrift im visuellen Arbeitsgedächtnis gespeichert wird. Im unitären Modell von Cowan (z.B. 1999) dagegen ist theoretisch gesetzt, dass jede bei der Verarbeitung relevante Information auch im Arbeitsgedächtnis relevant werden kann. Es ist wünschenswert, die Frage nach der Verfügbarkeit visueller Schriftmerkmale methodisch so anzugehen, dass die empirische Antwort auch mit einem Arbeitsgedächtniskonzept kompatibel ist, das größeren Wert auf die Aufmerksamkeitsprozesse legt.

Der einzige Hinweis auf verfügbare visuelle Merkmale von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis stammt aus der Forschung zum Multikomponentenmodell. Im ersten und zweiten empirischen Teil wurde nicht nur dieser Befund, der Variantenähnlichkeitseffekt, sondern auch die experimentelle Methode von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) aufgegriffen. Die bislang gewonnen Daten passen gut zu Baddeleys (z.B. 2000) Multikomponentenmodell. Nun soll eine andere Methode der Datengewinnung, ein anderes Experimentalparadigma eingesetzt werden, das besser zu prozessorientierten Arbeitsgedächtniskonzeptionen passt: Das sogenannte *N-Back*-Paradigma (z.B. McElree, 2001; Jaeggi, 2005) ist im Unterschied zum seriellen Wiedergabeparadigma dynamisch; es erfordert die kontinuierliche Überwachung (*Monitoring*) und Aktualisierung (*Updating*) des Gedächtnisinhalts. Daher wird diese Aufgabe auch dem Arbeitsgedächtnismodell von Cowan (z.B. 1999) gerecht, das besonders betont, dass die Verfügbarkeit von Repräsentationen auf Aufmerksamkeitsprozesse bezogen sein muss. Im *N-Back*-Paradigma besteht die Aufgabe eben darin, den Aufmerksamkeitsfokus in jedem

Moment auf eine bestimmte, ständig wechselnde Repräsentation zu legen. Auch dieses Paradigma erfordert natürlich die Aufrechterhaltung der Information, die bei der seriellen Wiedergabe im Vordergrund steht.

11.2.2 Experimentelle Umsetzung

Um die Einflüsse beider Informationsarten in einer einzigen Aufgabe zu prüfen, wird das in Kapitel 7.1.2 eingeführte *Letter Matching*-Paradigma verwendet und in eine Arbeitsgedächtnisaufgabe überführt. Dies wird erreicht, indem die Aufgabe, zwei Buchstaben miteinander zu vergleichen, mit dem *N-Back*-Paradigma (z.B. Jaeggi, 2005; s. auch James & Gauthier, 2006) kombiniert wird. Es gibt unterschiedliche Varianten des *N-Back*-Paradigmas (z.B. McElree, 2001; Jaeggi, 2005). Ihnen ist gemeinsam, dass ein aktuell präsentierter Reiz mit einem N Positionen zurückliegenden Reiz verglichen werden muss. Das heißt, dass bei $N = 1$ kein weiterer Reiz zwischen den beiden zu vergleichenden liegt, bei $N = 2$ werden die beiden durch einen Reiz getrennt, bei $N = 3$ durch zwei, und so weiter (vgl. Abb. 11-3). In dieser Arbeit wird eine Variante eingesetzt, die diese Vergleiche kontinuierlich erfordert. Das heißt, eine Reihe von Stimuli wird präsentiert, und für jeden davon muss angegeben werden, wie er sich zu seinem n-ten Vorgänger verhält.

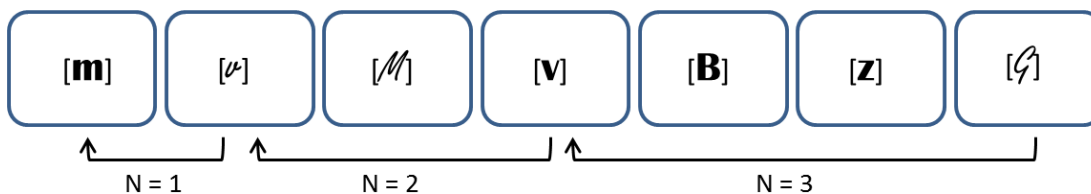


Abbildung 11-3. Veranschaulichung des *N-Back*-Paradigmas. Bei $N = 1$ betrifft der kritische Vergleich den unmittelbaren Vorgänger, bei $N = 2$ den vorletzten, und bei $N = 3$ den vorvorletzten Buchstaben. Sichtbar ist jeweils nur der aktuelle Buchstabe.

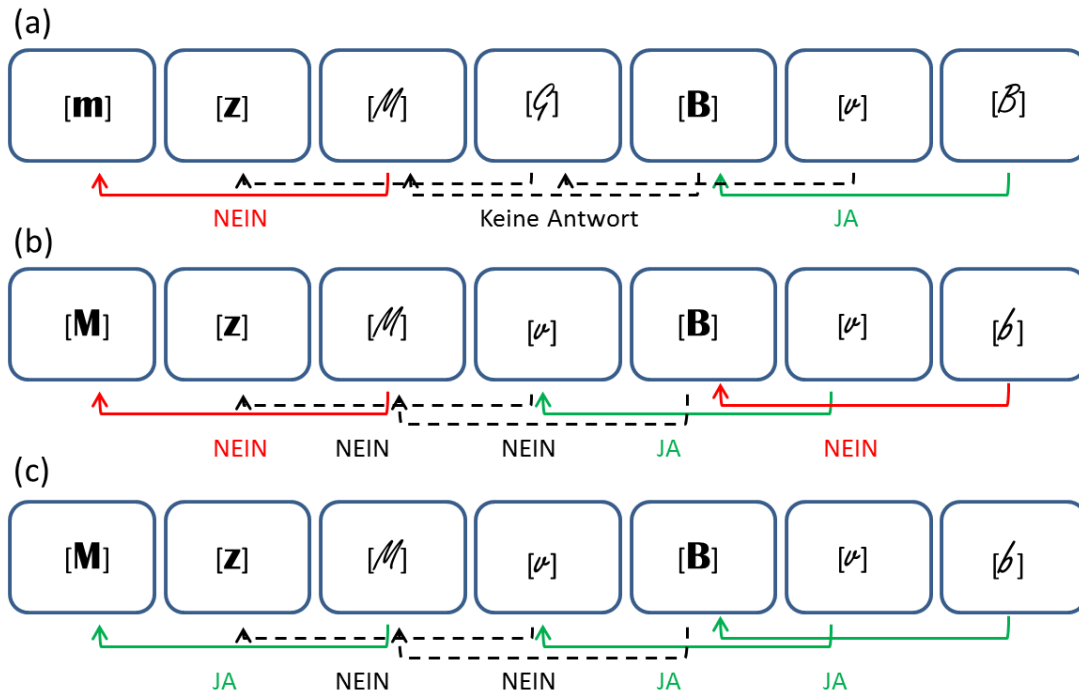


Abbildung 11-4. Veranschaulichung der drei verwendeten Versionen des N-Back-Paradigmas (im Beispiel N = 2). (a) die *Go/No Go*-Version, (b) die *Physical Match*-Version, (c) die *Name Match*-Version. Positive Vergleiche sind grün, negative rot und unkritische schwarz gekennzeichnet.

Das Kriterium, das dem Vergleich zugrunde gelegt werden soll, wird dabei in der Instruktion festgelegt. In der vorliegenden Arbeit wurden über die Instruktion verschiedene Versionen der Aufgabe verwendet (vgl. Abb. 11-4). Im ersten Teil der Experimente wurde eine *Go/No Go*-Version des N-Back-Paradigmas realisiert. Das heißt, es war nur auf Buchstaben gleichen Namens überhaupt zu reagieren. Zwei gleichnamige Buchstaben galten als gleich, wenn sie in derselben Variante erschienen, sonst als verschieden. Auf Buchstaben mit verschiedenen Namen wurde also nicht geantwortet, auf Buchstaben mit gleichem Namen und gleicher Variante war die Antwort „Ja“, auf Buchstaben mit gleichem Namen und unterschiedlicher Variante „Nein“. Im zweiten Teil der Experimente legte die *Physical Match*-Instruktion den Verarbeitungsfokus auf die visuelle Oberfläche der Buchstaben. Jedes Merkmal, ob Schriftart oder Vari-

ante, musste in dem Vergleich mit dem Vorgänger berücksichtigt werden. Entsprechend mussten beide Merkmalsarten so lange aufrechterhalten werden, bis der zweite für den Vergleich erforderliche Buchstabe verarbeitet war. Nur vollkommen identische Buchstaben galten als gleich; auf Unterschiede hinsichtlich Schriftart oder Variante war eine ablehnende Antwort korrekt. Die *Name Match*-Instruktion dagegen lenkte den Fokus von der visuellen Oberfläche ab. Alle hinsichtlich Schriftart und/oder Variante unterscheidbaren Realisierungen eines Buchstabens müssen in dieser Version der Aufgabe derselben Kategorie zugewiesen und als gleich identifiziert werden.

Die Antwortgeschwindigkeit und der Anteil richtiger Antworten sollen Aufschluss darüber geben, wie leicht und zuverlässig die Information verfügbar ist, auf die sich der Vergleich bezieht. In der *Go/No Go*-Version sollte die Entscheidung, ob zwei gleichnamige Buchstaben in derselben Variante gezeigt wurden, umso leichter fallen, je deutlicher sich die beiden Varianten eines Buchstabens in ihrer Gestalt unterscheiden. In der *Physical Match*-Version sollte die Differenzierung zweier Buchstaben umso besser gelingen, je klarer das Unterscheidungsmerkmal repräsentiert ist. In der *Name Match*-Version sollten zwei Buchstaben umso besser als gleich kategorisiert werden, je weniger bedeutsam unterschiedliche Merkmale in den Repräsentationen sind.

Das *N-Back*-Paradigma mit *Letter Matching*-Aufgaben zu kombinieren, hat einige praktische Vorzüge für das aktuelle Vorhaben: Erstens wurde mit *Letter Matching*-Aufgaben bereits die Relevanz sowohl der Variantengestalten (z.B. Posner et al., 1969) als auch der Schriftartinformation (z.B. Kirsner & Sang, 1979) bei der Buchstabenverarbeitung belegt (vgl. Kap. 7.1.2). Es handelt sich also um eine Aufgabe, die zur Demonstration der Verfügbarkeit beider Informationsarten prinzipiell geeignet ist.

Zweitens können die Instruktion zur Aufrechterhaltung der Information und die Prüfung ihrer Verfügbarkeit voneinander entkoppelt werden: In der *Go/No Go*-Version kann auch die Schriftart zwischen den Buchstaben variieren und die Leistungen beeinflussen, obwohl sie nicht in den Vergleich der Buchstaben einbezogen werden soll. Unter *Name Match*-Instruktion liegt den Vergleichen weder Schriftart- noch Varianteninformation zugrunde; da sie beide nichtsdestoweniger variieren, könnten auch beide die Leistungen beeinflussen. Aus der Verfügbarkeit von Merkmalen, die nicht unmittelbar aufgabenrelevant sind, kann auf deren unwillkürliche Nutzung geschlossen werden. Unter *Physical Match*-Instruktion hingegen ist die Aufrechterhaltung beider Informationsarten explizit gefordert. Aus ihrer Verfügbarkeit kann also auf die Möglichkeit geschlossen werden, sie willkürlich zu nutzen. Indem die Instruktion zur Nutzung der Information von der Erfassung ihrer Einflüsse entkoppelt wird, geht die Aussagekraft dieser Serie über die der ersten hinaus: Der Befund, dass Varianteninformation aufrechterhalten werden kann, heißt nicht, dass sie grundsätzlich aufrechterhalten wird. Wenn Varianteninformation nur auf explizite Forderung hin die Leistungen beeinflusst, wäre eine allgemeingültige Aussage über Schrift-Bild-Interferenzen auf dieser Grundlage nicht gerechtfertigt.

Drittens erlaubt die *N-Back Letter Matching*-Aufgabe es, die Reaktionszeit zu erfassen. Die Reaktionszeit gilt als fein auflösende abhängige Variable, so dass auch schwache Einflüsse ermittelt werden können, die die Leistungen in der seriellen Wiedergabe nicht reflektieren würden.

Mit dem *N-Back*-Paradigma wurde viel Erfahrung in der Erforschung aufmerksamkeitsgebundener Arbeitsgedächtnisprozesse gesammelt (z.B. Braver, Cohen, Nystrom, Jonides, Smith & Noll, 1997; Kane, Conway, Miura & Colflesh, 2007; s. auch Jaeggi, Buschkuhl, Perrig & Meier, 2010). Darüber hin-

aus gibt es Studien, die mit Hilfe bildgebender Verfahren zeigen, dass je nach Darbietungsmodalität in einer *N-Back*-Aufgabe neben überlappenden auch unterscheidbare Gehirnareale genutzt werden (z.B. Hautzel, Mottaghy, Specht, Müller & Krause, 2009). Diese Arbeiten erlauben die Aussage, dass beispielsweise auf visuelle oder auditive Verarbeitung spezialisierte Gehirnareale an der Aufgabe beteiligt sind. Soweit bekannt wurde die *N-Back*-Aufgabe jedoch noch nie eingesetzt um zu prüfen, welche der präsentierten Informationen in den beteiligten Repräsentationen kodiert sind. In dieser Arbeit soll darüber eine Aussage gemacht werden, welche wahrnehmbaren visuellen Aspekte der Buchstaben im Arbeitsgedächtnis verfügbar sind.

12. Empirischer Teil III

In der folgenden Serie von Experimenten wird anhand mehrerer Versionen der *N-Back Letter Matching*-Aufgabe Information darüber gesammelt, welche Aspekte der visuellen Erscheinung von Buchstaben dem Arbeitsgedächtnis zur Verfügung stehen, und wie stabil und zuverlässig sie jeweils genutzt werden können. Vor dem eigentlichen empirischen Teil wird der theoretische Hintergrund zusammengefasst und ein Ausblick auf die Experimente gegeben.

12.1 Zusammenfassung und Überblick über die Experimente

Nachdem im ersten empirischen Teil gezeigt wurde, dass Buchstaben in ihrer variantenspezifischen Gestalt im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden können, soll im zweiten empirischen Teil eine Aussage darüber getroffen werden, ob dort auch hinsichtlich der Schriftart spezifizierte Buchstabenrepräsentationen verfügbar sind. Zu diesem Zweck sollen neben dem Variantenähnlichkeitseffekt auch Einflüsse der Schriftart empirisch nachgewiesen werden. Anders als im ersten empirischen Teil wird ein Experimentalparadigma verwendet, das dynamische Verlagerungen des Aufmerksamkeitsfokus‘ zwischen mehreren aktivierten Repräsentationen erforderlich macht (s. hierzu Abb. 5, S. 72). Diese Herangehensweise wird einer Arbeitsgedächtniskonzeption eher gerecht, in der Arbeitsgedächtnis vor allem über die Zuwendung von Aufmerksamkeit definiert wird (z.B. Cowan, 1999; Oberauer, 2002).

Aufgrund des Arbeitsgedächtnismodells von Cowan (1999) sollte im Grunde jegliche am Verarbeitungsprozess beteiligte Information für Arbeitsgedächtnisoperationen herangezogen werden können. In Kapitel 7 wurde dargelegt, dass im Verarbeitungsprozess Varianten- und Schriftartinformation wirksam werden oder gestört sein können, so dass theoretisch beide Informationsar-

ten in den Aufmerksamkeitsfokus gelangen könnten. Es gibt jedoch Argumente dafür, dass sie nicht gleichermaßen bedeutsam für die Verarbeitung sind. Während die mit der Buchstabenvariante assoziierten visuellen Merkmale relevant für die Identifikation eines Buchstabens sind, fallen die nebensächlichen Merkmale der Schriftart im Identifikationsprozess weg. Es ist denkbar, dass diese Merkmale, von denen frühzeitig abstrahiert wird, Bestandteil von Repräsentationen sind, die nicht für die Verarbeitung von Schrift reserviert, sondern auch an der Verarbeitung anderer visueller Reize beteiligt sind. Solche Repräsentationen sollten auch durch die Verarbeitung jeglichen visuellen Reizes gestört werden, das heißt, sie wären kaum gegen Interferenzen zu schützen.

Sie müsste möglicherweise in fragmentierter Form, auf mehrere Repräsentationen verteilt aufrechterhalten werden. Wenn sie außerdem durch jede nachfolgende visuelle Stimulierung gestört wird, wäre allein die Aufrechterhaltung sehr mühsam. Die primär relevanten Repräsentationen der (relativ abstrakten) Buchstabengestalt wären für unspezifische Interferenzen weniger anfällig. Solche buchstabenspezifischen Repräsentationen enthalten jedoch keine (oberflächlichen) Schriftartinformation mehr; sie wurden aus dem Gesamtreiz herausgeschält. Das heißt, die Repräsentationen, die nicht durch jeden visuellen Reiz gestört werden, enthalten zwar Information zu den Buchstabengestalten, aber nicht zur Schriftart. Daher ist anzunehmen, dass solch ein sprachirrelevantes visuelles Merkmal der willkürlichen Aufmerksamkeitszuwendung nicht so selbstverständlich und nicht so robust zur Verfügung steht wie Varianteninformation. Wenn sich in den Leistungen überhaupt entsprechende Einflüsse nachweisen lassen, wäre dies ein Anhaltspunkt dafür, dass Schrift und Bilder im Arbeitsgedächtnis interferieren könnten. Besonders kritisch wären in dieser Hinsicht Einflüsse, die sich trotz Interferenzen durch andere visuelle Reize zei-

gen. Sofern die Notwendigkeit der Aufrechterhaltung und der Abschirmung der Repräsentationen gegen andere Reize nicht gegeben ist, könnte man vermuten, dass diese rasch überschrieben werden und dann für Interferenzen mit inhaltlich relevanter Information überhaupt nicht mehr zur Verfügung stehen. Dann sollten Schriftartrepräsentationen beim Lernen mit Texten und Bildern allenfalls eine randständige Rolle spielen.

Zunächst einmal war sicherzustellen, dass die abstrakten Buchstabengestalten genutzt werden. Experiment III-1a sollte prüfen, ob der Variantenähnlichkeitseffekt auch mit dem *N-Back Letter Matching*-Paradigma nachzuweisen ist, und falls ja, ob er trotz variabler Schriftart auftritt. Beides ist nicht selbstverständlich: Der Befund, dass eine Anzahl von hinsichtlich ihrer Variantengestalt spezifizierten Buchstaben im Arbeitsgedächtnis gehalten werden kann, bedeutet nicht zwangsläufig, dass diese Information auch in einer dynamischen Aufgabe nutzbar ist. Die Schriftart wiederum könnte Unterschiede zwischen Paaren variantenähnlicher Buchstaben produzieren, welche deren Nachteil gegenüber variantenverschiedenen Paaren aufheben. Dies könnte bedeuten, dass Varianten- und Schriftartinformation so nicht kontrastiert werden können. In Experiment III-1b wurden größere Platzhalter verwendet, die etwaige Nachbilder überdecken sollten. Damit wurde ausgeschlossen, dass die visuellen Merkmale anhand aktueller Sinneseindrücke anstelle aufrechterhaltener Repräsentationen verfügbar sind.

In den Experimenten III-2a und III-2b ist das Behalten sowohl der Buchstabenvariante als auch der Schriftart instruiert (*Physical Match*); zwischen den beiden Experimenten wird die Nachbildmaskierung (mit bzw. ohne) variiert. Es wird erwartet, dass zumindest in der Bedingung, die dem Vorgehen von Kirsner und Sang (1979, Exp. 1; vgl. S. 95f) entspricht (N = 1 ohne Nachbildmaskie-

rung), die Schriftartinformation ebenso gut wie die Varianteninformation verfügbar ist. Ob sie darüber hinaus genutzt werden kann, ist eine offene Frage. Wenn an ihrer Repräsentationen Strukturen beteiligt sind, welche die jedes visuellen Reizes leisten, dann sollte bereits eine Nachbildmaskierung selektiv die Verfügbarkeit von Schriftartinformation, nicht aber die von Varianteninformation beeinträchtigen. Bei $N > 1$ sollte unabhängig von der Nachbildmaskierung nur solche Information genutzt werden können, die willkürlich aufrechterhalten werden kann. Dies wird bezüglich Varianteninformation vorausgesetzt. Was Schriftartinformation anbelangt, wird eher nicht erwartet, dass sie willkürlicher Aufrechterhaltung zugänglich ist, da gewohnheitsmäßig davon abstrahiert wird.

Experimente III-2c und III-2d sollten (mit bzw. ohne Nachbildmaskierung) Klarheit darüber bringen, wie selbstverständlich die Oberflächenmerkmale im Arbeitsgedächtnis genutzt werden. In diesen Experimenten nun ist weder das Behalten der Varianten- noch das der Schriftartinformation instruiert. Es wird erwartet, dass zumindest bei $N = 1$ wie in der *Name Match*-Aufgabe bei Posner und Keele (1967; vgl. S. 93f) größere Ähnlichkeit hinsichtlich der Buchstabenvariante zu besseren Ergebnissen führt. Dieser Posner-Effekt wurde bereits mit Nachbildmaskierung im Retentionsintervall gefunden (z.B. Posner et al. 1969; vgl. S. 94) und wird daher in beiden Experimenten erwartet. Wie in der *Name Match*-Variante des Experiments von Kirsner und Sang (1979, Exp. 2; vgl. S. 95f) sollte zumindest mit $N = 1$ ohne Nachbildmaskierung größere auf die Schriftart bezogene Ähnlichkeit ebenfalls die Leistungen verbessern. Wie in den Experimenten III-2a und III-2b soll die Variation der Ergebnisse in Abhängigkeit vom Nachbild Aufschluss darüber geben, inwiefern die genutzten Repräsentationen von der Verfügbarkeit sensorischer Eindrücke abhängen. Der Vergleich der Ergebnisse dieser Experimente mit den entsprechenden Ergebnissen aus

den Experimenten III-2a und III-2b soll Aufschluss darüber bringen, inwieweit die Repräsentationen der visuellen Buchstabenmerkmale unwillkürlich – zumindest ohne besonderes Aufgabenerfordernis genutzt werden.

12.2 Materialerstellung

Wieder wurden einerseits variantenähnliche (SIM) und andererseits variantenverschiedene (DIS) Buchstaben als Experimentalmaterial verwendet. Wie auch in der ersten Experimentalserie wurden alle Buchstaben in eckigen Klammern präsentiert (vgl. Abb. 12-1). Diese dienten als Referenz, um die Größe und damit auch die Variante der SIM-Buchstaben einzuordnen. Jeder Teilnehmer wurde vor Beginn der Übungsdurchgänge gebeten, alle Buchstabengestalten einmal laut vorzulesen. Dabei wurde jede Buchstabenvariante in jeder Schriftart präsentiert. Es wurde von zwei Schriftarten Gebrauch gemacht, das heißt, jeder Buchstabe war in vier verschiedenen visuellen Erscheinungen realisiert – jede seiner beiden Varianten in zwei Schriftarten (vgl. Abb. 12-1). Die Probanden konnten sämtliche Buchstaben fehlerfrei benennen. Es steht also fest, dass jede Realisierung eines Buchstabens einwandfrei auch hinsichtlich der Variante identifiziert werden konnte.

		UNI Font	MIXED Font
SIM	Variante =	[P] ₁ [P] [p] ₁ [p] [P] ₂ [P] [p] ₂ [p]	[P] ₁ [P] [p] ₁ [p] [P] ₂ [P] [p] ₂ [p]
	Variante ≠	[P] ₁ [p] [p] ₁ [P] [P] ₂ [p] [p] ₂ [P]	[P] ₁ [p] [p] ₁ [P] [P] ₂ [p] [p] ₂ [P]
DIS	Variante =	[B] ₁ [B] [b] ₁ [b] [B] ₂ [B] [b] ₂ [b]	[B] ₁ [B] [b] ₁ [b] [B] ₂ [B] [b] ₂ [b]
	Variante ≠	[B] ₁ [b] [b] ₁ [B] [b] ₂ [B] [B] ₂ [b]	[B] ₁ [b] [b] ₁ [B] [b] ₂ [B] [B] ₂ [b]

Abbildung 12-1. Paare kritischer Buchstaben (am Beispiel von P/p und B/b) in allen möglichen Kombinationen von Schriftart und Variante, wie sie in Exp. III-1a und III-1b präsentiert wurden.

Für die Übungsdurchgänge und das eigentliche Experiment wurden aus den Buchstaben Ketten von jeweils 60 bis über 100 Buchstaben gebildet. Diese Ketten waren so zusammengesetzt, dass jeder Buchstabe in jeder visuellen Erscheinungsform (die sich aus Variante und Schriftart ergibt) gleich häufig vorkam. Die Abfolge der Buchstaben war sorgfältig pseudo-randomisiert. Näheres dazu ist den jeweiligen Materialbeschreibungen zu entnehmen.

12.3 Experiment III-1a

In diesem und dem folgenden Experiment stand der Nachweis des Variantenähnlichkeitseffekts unter den neuen paradigmatischen Vorgaben im Vordergrund. Daher wurde eine *Go/No Go*-Instruktion eingesetzt: Es sollte nur dann eine Antwort erfolgen, wenn die beiden Buchstaben dieselbe Identität hatten. Die gewählte Antwortvalenz gab eindeutig Aufschluss darüber, ob die Varianten als gleich („Ja“) oder als verschieden („Nein“) identifiziert worden waren.

12.3.1 Design

Es wurde ein dreifaktorielles Design mit den unabhängigen Variablen VARIANTENÄHNLICHKEIT (variantenverschieden: DIS; variantenähnlich: SIM), Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben, N (1 – 3), und schriftartbezogene Ähnlichkeit zwischen den zu vergleichenden Buchstaben, FONT (gleiche Schriftart: UNI vs. verschiedene Schriftarten: MIXED) realisiert. Alle Faktoren wurden innerhalb von Probanden variiert. N und FONT wurden zwischen Experimentaldurchgängen, VARIANTENÄHNLICHKEIT zwischen *Items* variiert. Die Stufen von N folgten blockweise mit steigender Schwierigkeit aufeinander. Als abhängige Variablen wurden die Antwortgenauigkeit und die Antwortgeschwindigkeit analysiert.

12.3.2 Methode

12.3.2.1 Stichprobe

30 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Sie waren alle Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme bekamen sie entweder 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro.

12.3.2.2 Material

In den Experimenten III-1a und III-1b wurden dieselben beiden Sets von je sechs variantenverschiedenen und variantenähnlichen Buchstaben verwendet wie in Experiment I-1. Die relevanten Kennwerte für Variantenähnlichkeit, Anzahl geteilter phonologischer Merkmale in den Vokalkomponenten der Buchstaben, Frequenz sowie Vorkommen alphabetischer Folgen sind in Kapitel 9.4.2.2 (S. 146ff) aufgeführt. Jeder Buchstabe wurde in zwei Schriftarten realisiert, und zwar in *Courier New* (kursiv, 10 pt.) und **Lucida console** (fettgedruckt, 9 pt.; vgl. Abb. 12-1).

Die Buchstaben, Klammern und Platzhalter (*/#) wurden in schwarz auf hellgrauem Hintergrund am Notebook präsentiert. In den Experimenten III-1a und III-1b waren die Bildschirminhalte in der Experimentalsteuerdatei definiert, anstatt dass – wie sonst – die Steuerdatei Verweise auf Grafiken der Buchstaben enthielt. Daher sind die Angaben zur Größe in pt. nicht informativ. Die Klammern (*Courier New*, 7 pt.) waren auf dem Monitor einen halben Zentimeter hoch, was der Höhe des Körpers eines Kleinbuchstabens entsprach.

Die Buchstabengestalten waren in pseudo-randomisierten Ketten aneinander gereiht. Jeder Buchstabe war gleich häufig mit sich selbst und mit jedem anderen Buchstaben zu vergleichen. Die Buchstabenpaarungen kamen gleich häufig je N vor. Außerdem waren die Buchstaben über die Abschnitte der Kette gleich verteilt, so dass jeder mit vergleichbarer Häufigkeit am Anfang, in der Mitte und am Ende einer Kette auftrat. Dabei wurde auch die visuelle Erscheinung berücksichtigt (d.h. z.B. kleingeschriebene kursive „b“s sind am Anfang, in der Mitte und am Ende jeder Kette gleich häufig). Um proaktive Interferenz zu minimieren, folgten Buchstaben desselben Namens mit einem Abstand von mindestens sieben Buchstaben aufeinander, wenn sie nicht miteinander verglichen werden sollten. Für jedes N wurde ein Übungsdurchgang mit nur 72 Items wie die Experimentaldurchgänge konstruiert. Die in Experiment III-1a und III-1b präsentierten Buchstabenketten sind in Anhang B7 (S. 369f) aufgeführt.

Jede Kette war ein zusammenhängender Experimentaldurchgang. Davon gab es für jede Stufe von N zwei. Die Schriftart variierte in beiden dieser Ketten, in einer davon variierte sie jedoch innerhalb der zu vergleichenden Buchstabenpaare, während in der anderen zusammengehörige Buchstaben in derselben Schriftart gehalten waren. Die schriftartbezogene Ähnlichkeit der Buchstabenpaare wurde auf diese Weise zwischen Experimentaldurchgängen (je Block) variiert. Die Stufen von N folgten mit steigender Schwierigkeit aufeinander. Erst wurden die Durchgänge mit $N = 1$ durchlaufen, zuletzt die mit $N = 3$.

In Abbildung 12-2 ist ein Ausschnitt aus einer Buchstabenkette dargestellt. Die Buchstabenketten umfassten für $N = 1$ je 108, für $N = 2$ und $N = 3$ je 100 Buchstaben. In jeder der Ketten kam jeder Buchstabe vier Mal in seiner großen und vier Mal in seiner kleinen Variante vor, zwei Mal in jeder Schriftart. Zwei Mal war er mit seiner Entsprechung der anderen Variante gepaart, zwei

Mal in der gleichen Variante gehalten. Von jeder Buchstabenkette gab es eine Version mit innerhalb der Buchstabenpaare konstanter Schriftart und eine Version mit innerhalb der Paare wechselnder Schriftart. Welcher der beiden Durchgänge je N zuerst, welcher als zweites präsentiert wurde, wechselte zwischen den Probanden.

Jede Kette beinhaltete 48 kritische Buchstabenfolgen, also 48 Vergleiche zweier gleichnamiger Buchstaben. Nur dann wurde überhaupt eine Antwort erwartet (vgl. Abb. 11-4a, S. 201). In der Hälfte dieser kritischen Vergleiche folgten zwei gleiche Buchstaben in derselben Variante im Abstand N aufeinander (dann war „Ja“ die richtige Antwort), und 24 Mal folgten zwei gleiche Buchstaben in verschiedenen Varianten im Abstand N aufeinander (dann war „Nein“ die richtige Antwort). *No Go*-Durchgänge waren also etwas häufiger als *Go*-Durchgänge, aber innerhalb der kritischen (*Go*)Durchgänge waren positive und negative Antworten gleich häufig. In jeweils der Hälfte der positiven und der negativen *Items* war zudem die Schriftart gleich oder verschieden. Dies war für die Bearbeitung der Aufgabe irrelevant.

Die Vorhersehbarkeit der Buchstabenfolgen und des Antwortrhythmus⁴ wurde dadurch reduziert, dass einerseits einzelne Buchstaben im Abstand N hinter einem kritischen Paar eingefügt wurden (z.B. ...- C - C - c -...). So war nicht jeder Vergleich nach dem zweiten kritischen Buchstaben abgeschlossen. Andererseits wurden einzelne Buchstaben zwischen die Paare gestreut, so dass nicht jeder Buchstabe überhaupt an einem kritischen Vergleich beteiligt war (z.B. ...- G - g - C - m - m - ...). Durch diese Maßnahme sollte der möglichen Strategie entgegengewirkt werden, sich kurze Sequenzen von Buchstaben anstelle der dynamisch aktualisierten letzten N Buchstaben zu merken.

12.3.2.3 Ablauf

Auch diese Serie von Experimenten wurde mittels DMDX (Forster & Forster, 2003) umgesetzt. Wie üblich wurden die Probanden zunächst mit den Buchstaben vertraut gemacht. Diese wurden in einer pseudo-randomisierten Abfolge in jeder realisierten Erscheinung auf dem Bildschirm präsentiert und vom Teilnehmer laut benannt. Anschließend wurde die Instruktion (s. Anhang C4, S. 378f) auf dem Bildschirm präsentiert und nach Bedarf erläutert.

Wie erwähnt wurde eine *Go/No Go*-Instruktion angewendet:⁵ Die Aufgabe bestand darin anzugeben, ob zwei im Abstand N aufeinanderfolgende Buchstaben, wenn sie den gleichen Namen hatten, auch in derselben Variante erschienen waren oder nicht (vgl. Abb. 11-4a, S. 201). Die Probanden sollten also nur dann reagieren, wenn es sich zwei Mal um den gleichen Buchstaben handelte. Dann lautete die Antwort auf zwei Buchstaben in derselben Variante „Ja“, die auf Buchstaben unterschiedlicher Variante „Nein“. Ihre Antworten gaben die Probanden über die Tastatur ein, auf der die linke *Shift*-Taste mit „Nein“, die rechte *Shift*-Taste mit „Ja“ gekennzeichnet war. Die wechselnde Schriftart sollten die Probanden explizit ignorieren.

Nach der Instruktion wurden die Probanden mit drei *Feedback*-Tönen vertraut gemacht, die indizierten, ob eine Antwort richtig oder falsch war oder ob eine Antwort zu erwarten gewesen wäre, aber nicht abgegeben wurde. Diese Töne wurden in Übungsdurchgängen als *Feedback*-Signal eingesetzt. Nach der Vorbereitungsphase begann auf einen Tastendruck hin der Übungsdurchgang

⁵ Hätte man auf jeden Buchstaben antworten sollen, wäre entweder die Antwort auf gänzlich verschiedene Buchstaben ebenso wie auf zwei Varianten eines Buchstabens „Nein“ gewesen, so dass bei letzteren nicht klar gewesen wäre, ob die Buchstabenidentität korrekt erkannt wurde. Oder die Antwort auf zwei Varianten wäre ebenso „Ja“ gewesen wie auf zwei Buchstaben in derselben Variante, so dass nicht sicher wäre, ob die Varianten unterschieden wurden.

für die Bedingung mit $N = 1$. Dem folgten die beiden Experimentalblöcke derselben Bedingung. Danach wurde die Bedingung mit $N = 2$ erst anhand eines Übungsdurchgangs eingeführt und anschließend in zwei Experimentaldurchgängen erhoben. Dieser Ablauf wurde für die Bedingung mit $N = 3$ wiederholt.

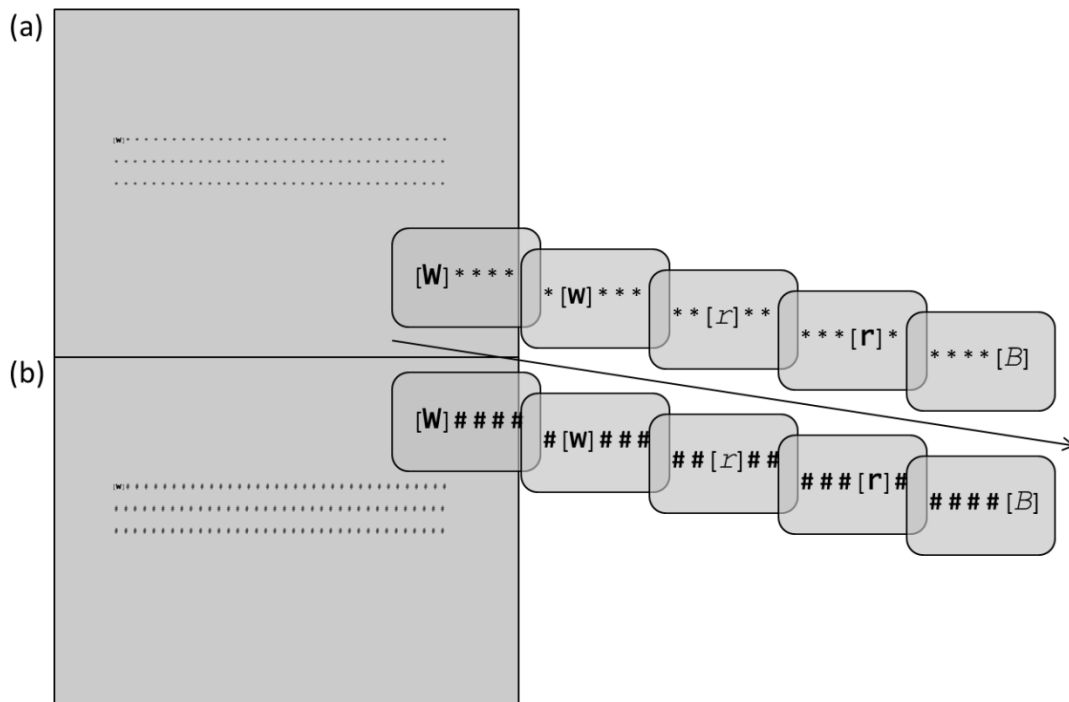


Abbildung 12-2. Beispielhafter Beginn eines Durchgangs mit $N = 1$ in Exp. III-1a (oben) und Exp. III-1b (unten). Rechts ist jeweils eine Folge von Bildschirmausschnitten entlang einer Zeitachse zu sehen. Jeder Bildschirm wurde für zwei Sekunden gezeigt.

Die Buchstaben eines Experimentaldurchgangs wurden sequenziell von links nach rechts und von oben nach unten über drei Zeilen hinweg dargeboten. Hintergrund dieser Entscheidung war der Anspruch, den Abläufen des normalen Lesens entgegenzukommen; hierauf wird in Kapitel 12.5 wieder Bezug genommen. Bis auf den aktuell gezeigten Buchstaben waren dabei nur Platzhalter zusehen (vgl. Abb. 12-2a). Für die Dauer eines Durchgangs waren also drei Zeilen von Sternchen (*) eingeblendet, die in alphabetischer Leserichtung einen Buchstaben nach dem anderen freigaben. Es gab kein Interstimulusintervall.

Jeder Buchstabe war für zwei Sekunden sichtbar, und in diesem Zeitfenster musste die Antwort erfolgen, um erfasst zu werden. Zwischen den Durchgängen konnten die Probanden pausieren. Am Ende wurden sie nach Strategien befragt und über den Hintergrund der Erhebung informiert.

12.3.2.4 Hypothesen

Alle drei unabhängigen Variablen wurden in die Analyse einbezogen, der Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (1 – 3), die VARIANTENÄHNLICHKEIT (variantenähnliche SIM-/variantenverschiedene DIS-Buchstaben) und die schriftartbezogene Ähnlichkeit zwischen den Buchstaben FONT (gleiche Schriftart UNI/verschiedene Schriftarten MIXED). Zentral waren der Einfluss der Variantenähnlichkeit und seine Interaktion mit dem Abstand N zwischen den Buchstaben. Dem Variantenähnlichkeitseffekt aus Experimentalserie I vergleichbar, sollten auch in der *N-Back*-Aufgabe SIM-Buchstaben im Arbeitsgedächtnis weniger gut hinsichtlich ihrer Variante differenziert werden können als DIS-Buchstaben. Aus dieser Unsicherheit sollten höhere Fehlerraten beim Vergleich zweier SIM-Buchstaben erwachsen.

N selbst sollte einen Effekt auf die Gedächtnisleistung haben. Die Anzahl an Buchstaben, die zugleich präsent gehalten werden muss, stellt einen allgemeinen Belastungsfaktor dar, so dass mit steigendem N die Fehlerraten steigen und die Antwortgeschwindigkeiten sinken sollten. Aufgrund dieser Hypothese wird ein Haupteffekt für N vorhergesagt.

Bei $N = 1$ werden ähnlich wie in den *Letter Matching*-Experimenten kaum Behaltensanforderungen gestellt. Da für jede Arbeitsgedächtniskonzeption die Anforderung zentral ist, Repräsentationen aufrechtzuerhalten und zu manipulieren, sind die Ergebnisse aus der Bedingung mit $N = 1$ nicht unbedingt

informativ, was die Verfügbarkeit der genutzten Repräsentationen „im Arbeitsgedächtnis“ anbelangt. Erst bei größeren Abständen zwischen den zu vergleichenden Buchstaben sind Ähnlichkeitseffekte auf Repräsentationen zu attribuieren, die für Arbeitsgedächtnisprozesse verfügbar sind.

Da der Variantenähnlichkeitseffekt erst bei größerer Arbeitsgedächtnisbelastung entsteht, wird er nur für $N = 2$ bzw. $N = 3$ erwartet. Entsprechend wird eine Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und N vorhergesagt. Einflüsse von FONT werden nicht erwartet, da das Behalten der Schriftart nicht instruiert ist. Interessant ist jedoch, ob VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT interagieren. Dann läge die Vermutung nahe, dass beide Merkmalsarten Bestandteil derselben Repräsentationen sind. Nur wenn sie nicht interagieren, können oberflächliche visuelle Aspekte von Buchstaben, die über die Schriftart manipuliert werden, gegen die graphemischen Aspekte der Buchstaben abgegrenzt werden, die über die Varianten manipuliert werden. Da die an Schriftart und Variante gebundenen visuellen Merkmale für unterschiedliche Stadien der Buchstabenidentifikation relevant sind, wird keine Interaktion erwartet.

12.3.3 Ergebnisse

12.3.3.1 Datenaufbereitung

Die Antwortgenauigkeit wird als prozentualer Anteil der richtigen abzüglich der falschen positiven Antworten am maximal erreichbaren Wert dargestellt (*Hits-minus-False Alarms* in %). *Hits-minus-False Alarms* sind ein bezüglich der Antworttendenz korrigiertes Maß (Banks, 1970), in dem die korrekten „Ja“-Antworten (*Hits*: zwei gleiche Buchstaben erschienen in der gleichen Variante, z.B. Q – Q → „Ja“) mit den falschen „Ja“-Antworten (*False Alarms*: zwei gleiche Buchstaben erschienen in unterschiedlichen Varianten, z.B. Q – q →

„Ja“) verrechnet sind. Je höher die *Hits-minus-False Alarms*-Rate, desto besser die Diskriminationsleistung, desto genauer wurden Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Buchstaben eines Paares berücksichtigt bei der Entscheidung, ob sie gleich sind. Je höher diese Rate, desto klarer muss also das Unterscheidungsmerkmal repräsentiert gewesen sein.

Da die ersten Reaktionen jedes Durchgangs grundsätzlich falsch waren, wurden bei $N = 1$ die erste Antwort und bei $N = 2$ und $N = 3$ die ersten beiden Antworten jedes Durchgangs aus den Analysen ausgeschlossen. Vermutlich waren diese *Trials* nötig, um in die Aufgabe hineinzufinden. Mit dem Ausschluss wurde Varianz in den Daten reduziert, die nicht mit den variierten Faktoren in Zusammenhang steht.

Außer der Antwortgenauigkeit wurde für die korrekten Antworten auch die Antwortgeschwindigkeit (*Speed*, d.h. Antworten pro Sekunde bzw. invertierte Reaktionszeiten; vgl. Ratcliff, 1993) analysiert. Sie bietet einen Hinweis darauf, wie leicht auf die erforderlichen Informationen zugegriffen werden kann und bildet auch kleine Effekte ab. Die Hypothesen unterschieden sich nicht für die beiden Maße, außer dass im sensibleren Geschwindigkeitsmaß Effekte zutage treten könnten, für die das Maß der Antwortgenauigkeit zu grob ist.

In Anlehnung an Ratcliff (1993) wurden von den korrekten Antworten diejenigen ausgeschlossen, die binnen 200 Millisekunden nach Stimulus-*Onset* abgegeben wurden (0,6 % der Werte). So schnelle Reaktionen waren vermutlich noch auf das letzte *Item* bezogen. Sie gingen weder in das Geschwindigkeits- noch in das Genauigkeitsmaß ein. Aus den verbleibenden Messwerten (84,09 % aller kritischen Antworten) wurden je Teilnehmer und Bedingung Mittelwerte gebildet. Als Maß für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles

Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der F-Wert ist kleiner als eins. Mittelwerte und Standardabweichungen sowohl für die Antwortgenauigkeit als auch für die Antwortgeschwindigkeit sind Tabelle 12-1 zu entnehmen.

Tabelle 12-1. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms* in %) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Exp. III-1a und III-1b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 3), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c) und FONT (UNI, z.B. **C - C**/MIXED, z.B. C - **C**).

			<i>Hits-minus-False Alarms (%)</i>			<i>Speed</i>		
			N = 1	N = 2	N = 3	N = 1	N = 2	N = 3
III-1a	DIS	MIXED	94,95	78,21	50,61	1,23	1,03	1,03
			(1,11)	(3,14)	(5,30)	(0,03)	(0,02)	(0,03)
		UNI	94,14	82,18	47,10	1,25	1,10	0,97
			(1,50)	(1,93)	(4,21)	(0,03)	(0,03)	(0,03)
	SIM	MIXED	87,47	74,96	31,97	1,17	1,03	1,01
			(1,95)	(4,08)	(5,23)	(0,03)	(0,02)	(0,03)
	UNI	91,87	78,01	36,76	1,26	1,06	0,96	
		(01,42)	(2,58)	(4,12)	(0,03)	(0,02)	(0,03)	
III-1b	DIS	MIXED	90,05	71,72	41,44	1,15	1,04	0,99
			(1,88)	(3,99)	(5,56)	(0,03)	(0,03)	(0,05)
		UNI	95,83	75,65	42,93	1,22	1,01	0,93
			(1,42)	(3,97)	(4,32)	(0,04)	(0,03)	(0,03)
	SIM	MIXED	93,08	68,04	27,83	1,16	1,01	0,98
			(2,07)	(4,93)	(5,15)	(0,03)	(0,02)	(0,05)
	UNI	92,42	73,32	31,55	1,19	1,04	0,98	
		(1,81)	(3,62)	(6,60)	(0,04)	(0,03)	(0,04)	

12.3.3.2 Auswertung

Die abhängigen Variablen wurden separat in dreifaktoriellen ANOVAs mit Messwiederholung mit den Faktoren N, VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT analysiert. Die Ergebnisse werden im Folgenden berichtet. Darüber hinaus wurden die Maße der Antwortgenauigkeit und –Geschwindigkeit jeweils z-transformiert und gemeinsam analysiert, um zu prüfen, ob die Ergebnisse aufgrund von *Speed-Accuracy Tradeoffs* entstanden sein könnten. Würden beispielsweise schlechtere *Hits-minus-False Alarms*-Raten für variantenähnliche Buchstaben mit höheren *Speed*-Werten in dieser Bedingung zusammenfallen, könnte man nicht mehr sagen, ob variantenähnliche Buchstabengestalten schlechter als variantenverschiedene differenziert werden konnten. Möglich wäre dann ebenfalls, dass unterschiedliche Antwortkriterien angesetzt wurden. Diese Analyse wird in Anhang E (S. 385f) berichtet.

Hits-minus-False Alarms-Raten. Wie erwartet nahm der Anteil richtiger Antworten mit steigendem N ab (92,11 % vs. 78,34 % vs. 41,61 % für N = 1 bis N = 3). Ebenfalls erwartungsgemäß war die Antwortgenauigkeit für variantenverschiedene größer als für variantenähnliche Buchstaben (DIS 74,53 % vs. SIM 66,84 %). Anders als vorhergesagt war dies für N = 1 und N = 3 der Fall, jedoch nicht für N = 2 (DIS 94,55 % vs. SIM 89,67 %; DIS 80,20 % vs. SIM 76,49 %; DIS 48,86 % vs. SIM 34,37 % für N = 1 bis N = 3). Die Schriftartmanipulation allein beeinflusste die Leistungen nicht (FONT UNI 71,68 % vs. MIXED 69,70 %). Allerdings war der Anteil richtiger Antworten bei variantenähnlichen Paaren niedriger, wenn die Schriftart wechselte als wenn sie gleich blieb (SIM UNI 68,88 % vs. SIM MIXED 64,80 %), während die Antwortgenauigkeit bei variantenverschiedenen Paaren für beide FONT-Bedingungen vergleichbar war (DIS UNI 74,47 % vs. DIS MIXED 74,59 %). Der primär interessante Einfluss der

Variantenähnlichkeit (SIM < DIS) in Abhängigkeit von N ist bezüglich der Antwortgenauigkeit in Abbildung 12-3 dargestellt.

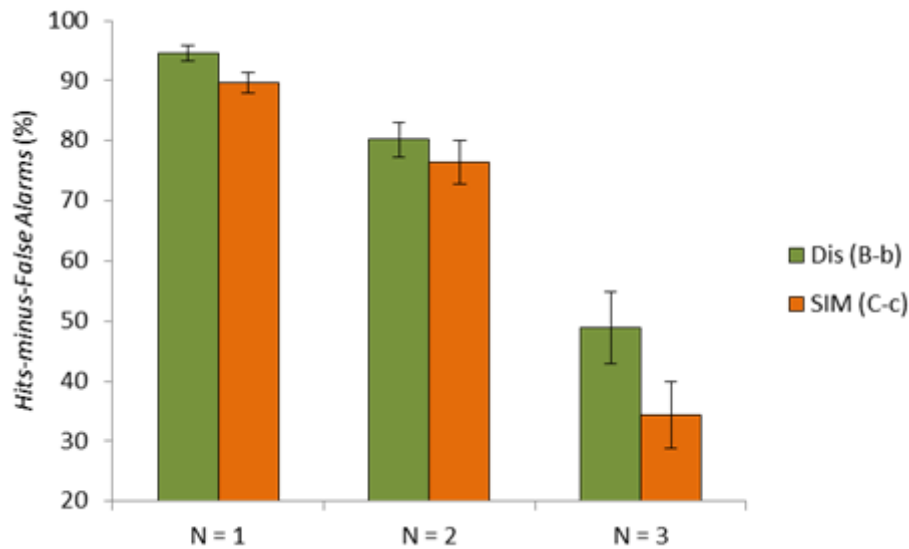


Abbildung 12-3. Hits-minus-False Alarms (%) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-1a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.

Der Haupteffekte für N war signifikant, $F(2, 58) = 174.69$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .858$. Dasselbe galt für VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F(1, 29) = 14.10$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .327$. Auch die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 58) = 4.131$, $p = .021$, $\eta_p^2 = .125$. In geplanten Vergleichen war der Einfluss der Variantenähnlichkeit für N = 1 signifikant, $F(1, 29) = 11.228$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .279$, ebenso für N = 3, $F(1, 29) = 11.178$, $p < .002$, $\eta_p^2 = .278$, nicht jedoch für N = 2, $F(1, 29) = 1.593$, $p = .217$, $\eta_p^2 = .052$. Der Haupteffekt für FONT war nicht signifikant, $F(1, 29) = 1.587$, $p = .218$, $\eta_p^2 = .052$. Dasselbe galt für die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT, $F(1, 29) = 2.711$, $p = .110$, $\eta_p^2 = .085$. Keine weitere Interaktion war signifikant, alle F s < 1.

Da die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT der Signifikanzgrenze sehr nahe kam, schien es sinnvoll, sie mittels geplanter Vergleiche eingehender zu analysieren. Es zeigte sich, dass der Variantenähnlichkeits-effekt bei einheitlicher Schriftart weniger stark ausgeprägt war als wenn die Schriftart wechselte, $F(1, 29) = 4.938$, $p = .034$, $\eta_p^2 = .146$ gegenüber $F(1, 29) = 18.084$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .384$.

Speed. Da sich die Unterschiedshypothesen für „Ja“- und „Nein“-Antworten nicht unterscheiden – der Vergleich sollte unabhängig von der Antwortvalenz für leicht verwechselbare Buchstaben schwerer fallen und entsprechend langsamer sein – wurden *Hits* und *Correct Rejections* zusammengefasst. Wie erwartet nahm die Antwortgeschwindigkeit mit steigendem N ab (1,23 vs. 1,06 vs. 0,99 für N = 1 bis N = 3). Die Antworten fielen bei variantenverschiedenen schneller als bei variantenähnlichen Buchstabenpaaren aus (DIS 1,10 vs. SIM 1,08). Entgegen der Erwartung war dieser Unterschied über alle N beobachtbar (DIS 1,24 vs. SIM 1,21; DIS 1,07 vs. SIM 1,05; DIS 1,00 vs. SIM 0,98 für N = 1 bis N = 3). Unerwartet war auch, dass für N = 1 und N = 2 Paare in einheitlicher Schriftart schneller klassifiziert werden konnten als Paare, innerhalb derer die Schriftart wechselt. Dieser Unterschied kehrte sich für N = 3 um (N = 1 UNI 1,25 vs. MIXED 1,20; N = 2 UNI 1,08 vs. MIXED 1,03; N = 3 UNI 0,96 vs. MIXED 1,02). Der Einfluss der Schriftartmanipulation in Abhängigkeit von N auf die Antwortgeschwindigkeit ist in Abbildung 12-4 dargestellt.

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(2, 58) = 65.897$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .694$. Gleiches galt für VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F(1, 29) = 5.148$, $p = .031$, $\eta_p^2 = .151$. Die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F < 1$. Es gab keinen Haupteffekt für FONT, $F(1, 29) = 1.667$, $p = .207$, $\eta_p^2 = .054$. Die Interaktion von N und FONT war signifikant, $F(2, 58) =$

5.723, $p = .005$, $\eta_p^2 = .165$. In geplanten Vergleichen erwies sich der Unterschied zwischen MIXED und UNI FONT bei $N = 1$ als signifikant, $F(1, 29) = 5.503$, $p = .026$, $\eta_p^2 = .159$, ebenso bei $N = 2$, $F(1, 29) = 6.853$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .191$, und (in umgekehrter Richtung) bei $N = 3$ als marginal, $F(1, 29) = 3.515$, $p = .071$, $\eta_p^2 = .108$. FONT und VARIANTENÄHNLICHKEIT interagierten nicht, $F < 1$. Die Dreifachinteraktion war nicht signifikant, $F(2, 58) = 2.357$, $p = .104$, $\eta_p^2 = .075$.

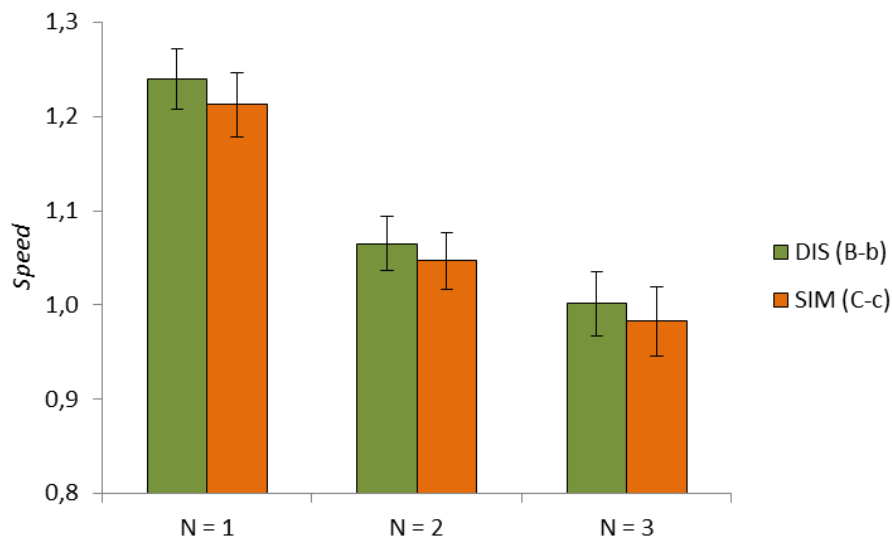


Abbildung 12-4. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-1a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N (1 – 3) zwischen den beiden Buchstaben.

Da die Dreifachinteraktion beinahe signifikant war, schien es angebracht, genau zu analysieren, worauf dies zurückgeht. Dafür wurde für jedes N eine zweifaktorielle ANOVA mit den unabhängigen Variablen VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT gerechnet. Es zeigte sich ein signifikanter Interaktionseffekt unter $N = 1$, $F(1, 29) = 15.050$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .342$. Nur wenn die Schriftart wechselte, wurden variantenähnliche Buchstaben langsamer differenziert als variantenverschiedene Buchstaben. Es gab keine Interaktionseffekte unter $N = 2$, $F(1, 29) = 1.893$, $p = .179$, $\eta_p^2 = .061$, oder unter $N = 3$, $F < 1$.

In der Zusammenschau beider Maße zeigte sich, dass der gravierendste Einbruch in den Leistungen hinsichtlich der Antwortgenauigkeit zwischen $N = 2$ und $N = 3$ zu verzeichnen war, während er hinsichtlich der Antwortgeschwindigkeit zwischen $N = 1$ und $N = 2$ auftrat. Dieser Eindruck ließ sich in der *Speed-Accuracy Tradeoff* Analyse bestätigen (s. Anhang E, S. 385f).

12.3.4 Diskussion

Wie erwartet zeigten sich in beiden Maßen Haupteffekte für den Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben. Der Vergleich war umso fehleranfälliger und umso langsamer, je größer die Distanz zwischen den beiden. Ebenfalls erwartungsgemäß ließen sich Effekte der Variantenähnlichkeit beobachten: Die Entscheidung, ob zwei gleichnamige Buchstaben sich in ihrer Variante unterscheiden oder nicht, war für variantenverschiedene Buchstaben weniger fehlerbehaftet und schneller möglich als für variantenähnliche Buchstaben. Anders als vorhergesagt war die Bedingung mit unmittelbarem Vergleich ($N = 1$) davon jedoch nicht ausgenommen. Eine mögliche Erklärung hierfür bietet die Zusatzanalyse bezüglich der Dreifachinteraktion in den *Speed*-Daten:

Bei $N = 1$ wurde der Einfluss der Variantenähnlichkeit durch die Schriftartmanipulation moderiert: Nur wenn die Schriftart zwischen den beiden Buchstaben wechselte (MIXED FONT), wurden variantenähnliche Paare weniger gut klassifiziert als variantenverschiedene Paare (DIS 1,23 vs. SIM 1,17). Bei einheitlicher Schriftart (UNI FONT) trat kein Variantenähnlichkeitseffekt auf (DIS 1,25 vs. SIM 1,26). Ein vergleichbares Muster fand sich in der Antwortgenauigkeit, allerdings verwies hier keine Dreifachinteraktion darauf, dass es auf $N = 1$ beschränkt sei. Aufgrund der numerischen Werte (vgl. Abb. 12-5) könnte man vermuten, dass die Dreifachinteraktion deswegen ausblieb, weil bei $N = 3$ der Variantenähnlichkeitseffekt mit wechselnder Schriftart deutlich stär-

ker war als bei einheitlicher Schriftart. Anders als bei $N = 1$ war er jedoch in beiden Fällen vorhanden. Möglicherweise trat im unmittelbaren Vergleich zweier Buchstaben kein Variantenähnlichkeitseffekt auf, sondern die Buchstaben wirkten vielmehr je nach Schriftart unterschiedlich groß. Damit wäre der deutlichste Hinweis auf die Groß-/Kleinschreibung variantenähnlicher Buchstaben weniger informativ. Es ist kontraintuitiv, dass sich dieser Effekt unter $N = 2$ nicht fortsetzte; Buchstaben, denen im Identifikationsprozess die falsche Variante zugewiesen wird, müssten diesbezüglich fehlerhaft bleiben.

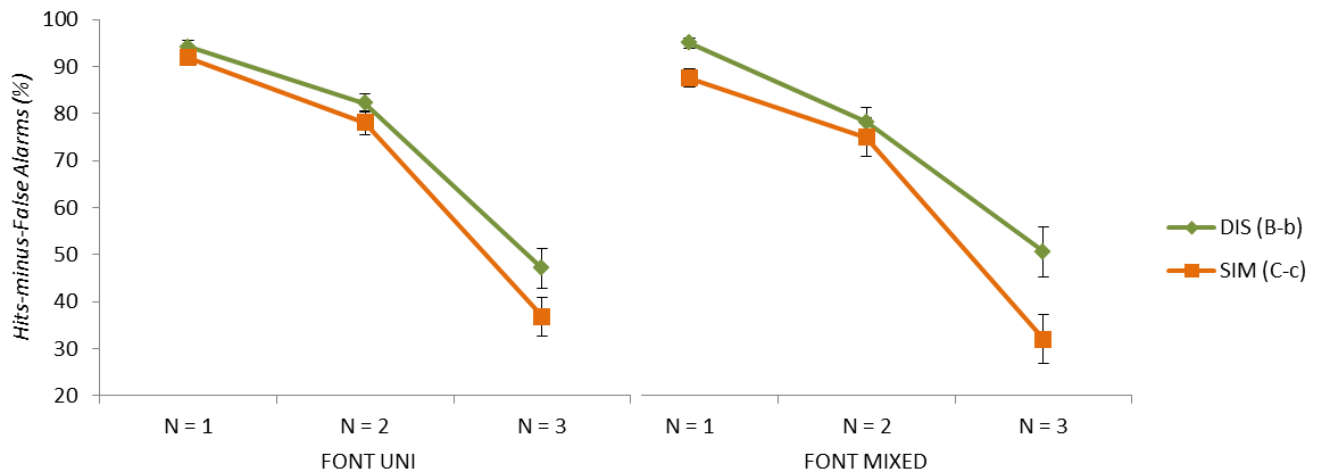


Abbildung 12-5. Darstellung des Einflusses der Variantenähnlichkeit (DIS vs. SIM) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) auf die Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms* %) über die Abstände ($N = 1-3$) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben in Exp. III-1a.

Dies könnte damit zusammenhängen, dass bei $N = 2$ die Antwortgeschwindigkeit stärker abnimmt als die Antwortgenauigkeit (vgl. Anhang, Abb. E-1, S. 386). Indem die Probanden auf Kosten der Geschwindigkeit versuchten, möglichst wenig Fehler zu machen, mögen sie die Ungenauigkeit ausgeglichen haben, die unter $N = 1$ bei hoher Geschwindigkeit zum Variantenähnlichkeitseffekt führte. Bei $N = 3$ kumulierten wohl die in Fehlidentifikationen und in Verwechslungen im Arbeitsgedächtnis begründeten Variantenähnlichkeitseffekte.

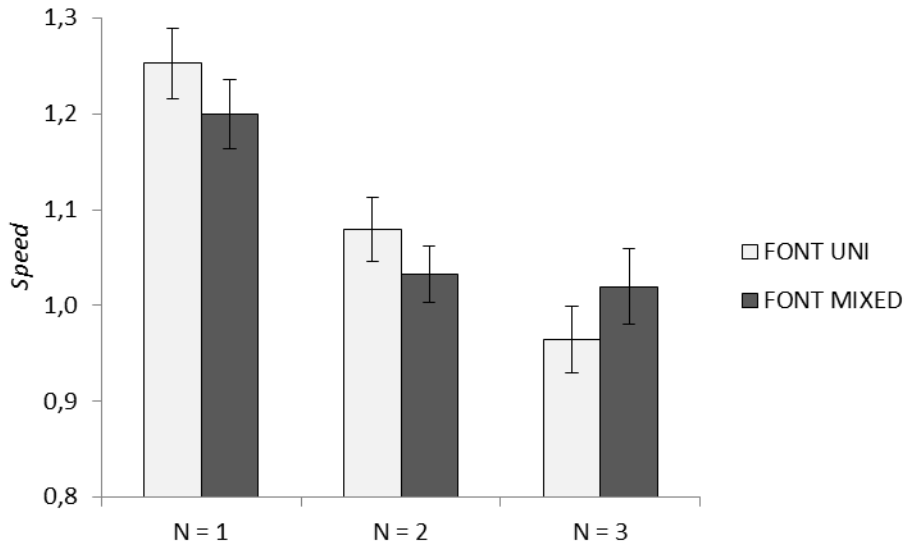


Abbildung 12-6. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) über die Abstände (N 1–3) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben in Exp. III-1a.

Die Auswirkungen der Schriftartvariation auf die Antwortgeschwindigkeit ließen sich auch unabhängig von der Variantenähnlichkeit nachweisen, nicht nur unter N = 1, sondern auch noch unter N = 2. Wenn die zu vergleichenden Buchstaben in der gleichen Schriftart erschienen, gelangen die Antworten schneller als bei wechselnder Schriftart (vgl. Abb. 12-6). Die oberflächlichen Abweichungen scheinen den Vergleich der aufgabenrelevanten Variantenmerkmale erschwert zu haben, selbst mit Bezug auf den Buchstaben, der als vorletzter enkodiert wurde. Dieses Ergebnis ist äußerst überraschend, da das Behalten der Schriftart nicht instruiert war und die Hypothese aufgestellt wurde, dass Merkmale der Schriftart nur mit Mühe aufrechtzuerhalten sein sollten. Was den unmittelbaren Vergleich zweier Buchstaben miteinander anbelangt, kann man mit Bezug auf die Befunde von Sanocki (z.B. 1988) spekulieren, dass ein Buchstabe, dessen Erscheinungsbild den aufgrund des Vorgängers geformten Erwartungen entsprach, schneller identifiziert werden konnte. Aber wenn ein anderer Buchstabe dazwischen lag, der zumindest in der Hälfte der Fälle in ei-

ner anderen Schriftart präsentiert wurde, konnte die vorgeformte Erwartung nichts nützen. Der unerwartet überdauernde Effekt könnte bedeuten, dass Buchstabengestalten unwillkürlich mitsamt ihren sprachlich irrelevanten Merkmalen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden.

Eine mögliche Erklärung für die unerwarteten Einflüsse der Schriftartmanipulation wäre, dass die Präsentationsweise die Nutzung von Nachbildern zuließ, da die nachfolgenden Buchstaben nicht an derselben Position präsentiert wurden wie der Vorgänger. Möglicherweise waren die konkreten Gestalten des letzten und des vorletzten Buchstabens in Form eines Nachbildes für den Vergleich mit dem aktuellen Buchstaben verfügbar. Die kleinen Platzhalter (*) konnten solche Nachbilder auf keinen Fall ausreichend maskieren. Auch parafoveal können immer ein paar Buchstaben wahrgenommen werden: Bei alphabetisch geprägten Lesern ist diese Spanne zur Linken zwar deutlich kürzer als zur Rechten, umfasst aber immerhin ungefähr drei Buchstaben (z.B. Rayner, Well & Pollatsek, 1980). Wenn dem Nachbild noch die Stärke des Umrisses (z.B. *c* vs. **c**) zu entnehmen wäre, könnte diese Information ausreichen um zu entscheiden, ob es sich um dieselbe Schriftart handelte oder nicht. So könnte der Unterschied zwischen Buchstabenpaaren in einheitlicher gegenüber veränderter Oberfläche auf aktuellen Sinneseindrücken basieren.

In diesem Fall wäre aufgrund dieses Experiments wenig zu sagen über die Repräsentationen, welche die Grundlage für Arbeitsgedächtnisprozesse sind. Nur der Variantenähnlichkeitseffekt unter $N = 3$ sollte zumindest zum Teil im Arbeitsgedächtnis entstanden sein. Um zu verhindern, dass die konkreten Gestalten der Buchstaben in Form von Nachbildern verfügbar bleiben, wurden in einem Folge-Experiment größere Platzhalter verwendet.

12.4 Experiment III-1b

12.4.1 Design

Es wurde dasselbe Design realisiert wie in Experiment III-1a.

12.4.2 Methode

12.4.2.1 Stichprobe

24 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Sie waren alle Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme bekamen sie entweder 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro. Die Daten zweier Teilnehmer wurden ausgeschlossen, weil es während der Erhebungen zu massiver Lärmbelästigung kam.

12.4.2.2 Material

Abgesehen von einer Änderung war das Material mit dem aus Experiment III-1a identisch: Statt der Sternchen (*) verdeckten nun fettgedruckte Doppelkreuze (#) alle außer den aktuellen Buchstaben (vgl. Abb. 12-2b, S. 215).

12.4.2.3 Ablauf

Das Experiment lief ab wie für Experiment III-1a beschrieben (S. 214ff).

12.4.2.4 Hypothesen

Die Einflüsse von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT sollten erneut nachweisbar sein, mit sinkenden Leistungen mit steigendem N und besseren Leistungen für DIS- als für SIM-Buchstaben. Wenn die Schriftartmanipulation

nur deswegen einen Einfluss hatte, weil ein Nachbild verfügbar war, dann sollten weder Haupteffekte für FONT noch Interaktionen mit einer Beteiligung des Faktors FONT zu beobachten sein.

12.4.3 Ergebnisse

12.4.3.1 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung erfolgte wie für Experiment III-1a beschrieben. In das *Speed*-Maß gingen 83,70 % aller kritischen Antworten ein. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 12-1 (S. 219) zu entnehmen.

12.4.3.2 Auswertung

Die Auswertung erfolgte wie in Experiment III-1a. Die *Speed-Accuracy Tradeoff*-Analyse wird in Anhang E (S. 387f) berichtet.

Hits-minus-False Alarms-Raten. Wie erwartet nahm der Anteil richtiger Antworten mit steigendem N ab (92,85 % vs. 72,18 % vs. 35,91 % für N = 1 bis N = 3). Ebenfalls erwartungsgemäß war die Antwortgenauigkeit für variantenverschiedene größer als für variantenähnliche Buchstaben (DIS 69,60 % vs. SIM 64,36 %). Vergleicht man variantenähnliche und -verschiedene Buchstaben für jedes N einzeln, so zeigt sich, dass es für N = 1 und N = 2 keinen Unterschied gibt, für N = 3 hingegen durchaus (DIS 92,94 % vs. SIM 92,75 %; DIS 73,68 % vs. SIM 70,68 %; DIS 42,19 % vs. SIM 29,64 % für N = 1 bis N = 3). Die Antwortgenauigkeit war vergleichbar für Buchstabenpaare in einheitlicher und wechselnder Schriftart (FONT UNI 68,62 % vs. MIXED 65,34 %). Der primär interessante Einfluss der Variantenähnlichkeit in Abhängigkeit von N ist bezüglich der Antwortgenauigkeit in Abbildung 12-7 dargestellt; der Einfluss der Schriftartmanipulation in Abbildung 12-8.

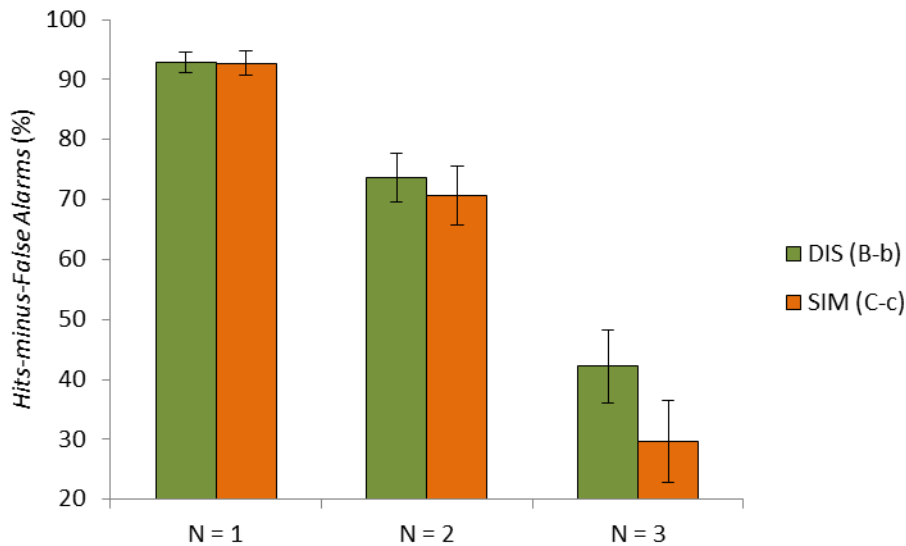


Abbildung 12-7. Hits-minus-False Alarms (%) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-1b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.

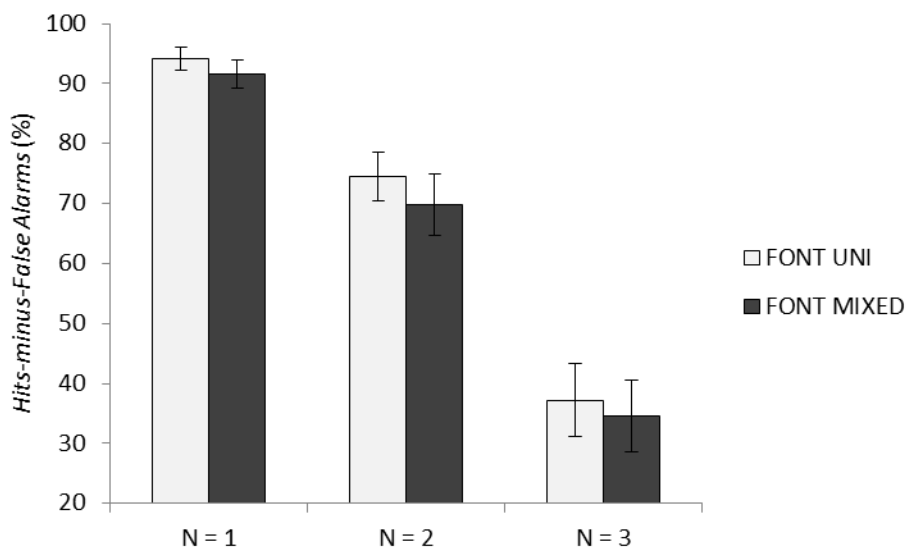


Abbildung 12-8. Hits-minus-False Alarms (%) in Abhängigkeit von der Schriftartmanipulation (einheitliche Schrift: FONT UNI vs. wechselnde Schriftart: FONT MIXED) über die Abstände (N 1–3) zwischen den zu vergleichenden Buchstaben in Exp. III-1b.

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(2, 42) = 179.81$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .895$. Auch der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 21) = 5.530$, $p = .029$, $\eta_p^2 = .208$. Die Interaktion von N und VARIANTEN-

ÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(2, 42) = 2.825$, $p = .071$, $\eta_p^2 = .119$. Geplante Vergleiche zeigten, dass weder für $N = 1$ noch für $N = 2$ ein Variantenähnlichkeitseffekt auftrat, beide F s < 1 , aber für $N = 3$, $F(1, 21) = 4.950$, $p = .037$, $\eta_p^2 = .191$. Es gab keinen Haupteffekt für FONT, $F(1, 21) = 2.239$, $p = .149$, $\eta_p^2 = .096$. Außer der genannten war keine bedeutsame Interaktion zu beobachten, alle F s < 1 .

Speed. Mit steigendem N sank die Anzahl der Antworten pro Sekunde, (1,18 vs. 1,02 vs. 0,97 für $N = 1$ bis $N = 3$). Die Antwortgeschwindigkeit variierte nicht mit der Variantenähnlichkeit (DIS 1,06 vs. SIM 1,06), und ebenfalls nicht mit der schriftartbezogenen Ähnlichkeit (FONT UNI 1,06 vs. MIXED 1,05). Dies änderte sich nicht mit der Distanz zwischen den zu vergleichenden Buchstaben. Der primär interessante Einfluss der Variantenähnlichkeit in Abhängigkeit von N ist bezüglich der Antwortgeschwindigkeit in Abbildung 12-9 dargestellt.

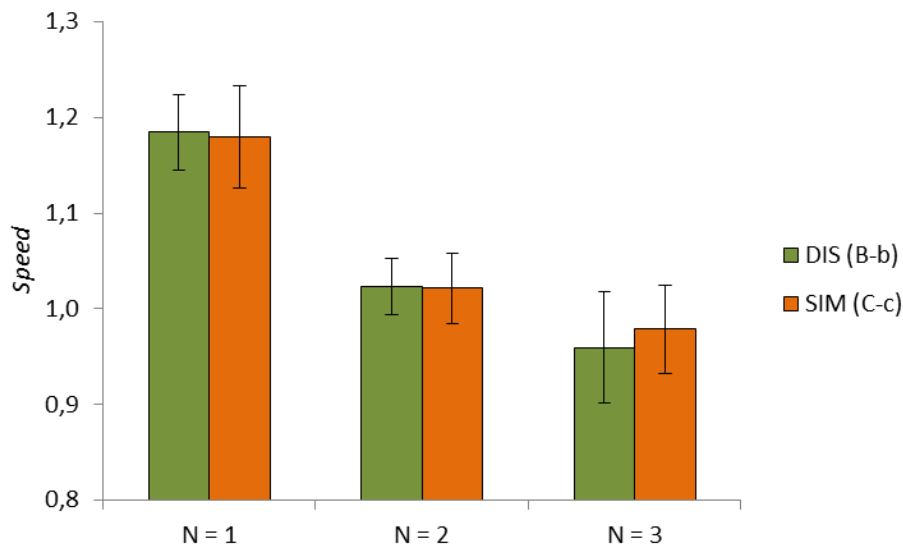


Abbildung 12-9. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Go/No Go*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-1b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben.

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(2, 42) = 23.149$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .524$. Darüber hinaus zeigten sich in diesem Maß kein statistisch bedeutsamer Einfluss der unabhängigen Variablen und auch keine bedeutsame Interaktion (N x FONT: $F(2, 42) = 2.003$, $p = .148$, $\eta_p^2 = .087$; N x FONT x VARIANTENÄHNLICHKEIT: $F(2, 42) = 1.822$, $p = .174$, $\eta_p^2 = .080$; alle anderen F s < 1).

12.4.4 Diskussion

In der Diskussion zu Experiment III-1a wurde die Vermutung angestellt, dass die Effekte der Schriftartmanipulation in Experiment III-1a aufgrund der Verfügbarkeit von Nachbildern entstanden waren. Diese waren in Experiment III-1b maskiert, und so war vorhergesagt, dass es keinen Einfluss auf die Leistungen haben sollte, ob die Schriftart über die zu vergleichenden Buchstaben einheitlich war oder wechselte. Die statistischen Analysen beider Maße bestätigten dies, wenngleich in der Antwortgenauigkeit ein leichter numerischer Vorteil für die Bedingung mit einheitlicher Schriftart bestand (vgl. Abb. 12-8). In geplanten Vergleichen erwies sich dieser Vorteil jedoch für keine Ausprägung von N als statistisch bedeutsam, alle p s $> .21$.

Bezüglich der Variation des Abstands N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben waren die Ergebnisse eindeutig und hypothesenkonform. Umso größer der Abstand, umso mehr Fehler wurden gemacht und umso langsamer fiel die Entscheidung aus, ob die beiden in derselben oder in unterschiedlichen Varianten präsentiert worden waren. Hinsichtlich der Variantenähnlichkeit war vorhergesagt, dass sich ein Variantenähnlichkeitseffekt zeigen sollte, wenn eine Behaltensanforderung Bestandteil der Arbeitsgedächtnisaufgabe ist. Das heißt, bei N = 2 und N = 3 wurden mehr korrekte und schnellere Antworten für den Vergleich variantenverschiedener gegenüber variantenähnlicher Buchstaben erwartet. Mit den *Hits-minus-False Alarms*-Raten ließ sich diese Erwartung

einigermaßen bestätigen: Während die Leistungen unter $N = 1$ nicht in Abhängigkeit von der Variantenähnlichkeit variierten, gab es einen sehr kleinen numerischen Vorteil für variantenverschiedene Buchstaben bei $N = 2$, der bei $N = 3$ deutlich ausgeprägt war. Einen solchen Verlauf bildeten die *Speed*-Daten allerdings nicht ab; hier zeigte sich kein Einfluss der Variantenähnlichkeit.

Anders als in Experiment III-1a moderiert die Schriftartähnlichkeit nicht die Effekte der Variantenähnlichkeit. Der Einsatz von Nachbildmaskierungen konnte also einige der unerwarteten Ergebnisse aus Experiment III-1a auflösen. Es scheint, als habe vor allem die Verfügbarkeit von Nachbildern einerseits die Einflüsse der Schriftartvariation selbst und andererseits deren Auswirkung auf den Variantenähnlichkeitseffekt unter $N = 1$ verursacht. Besonders wichtig ist, dass bei $N = 1$ nun auch kein Variantenähnlichkeitseffekt mehr auftrat. Offenkundig spielten hierfür auch Nachbilder eine entscheidende Rolle. Folglich muss der Einfluss der Variantenähnlichkeit bei $N > 1$ nicht auf Probleme bei der Wahrnehmung attribuiert werden. Vielmehr ist davon auszugehen, dass dem die Eigenschaften von Repräsentationen zugrunde liegen, die der willkürlichen Nutzung für aufmerksamkeitsbasierte Prozesse zugänglich sind.

Doch nicht alle Ergebnisse entsprachen den Vorhersagen. Wichtig ist zum einen, dass es bei $N = 2$ keinen Variantenähnlichkeitseffekt gab. Damit wiederholte sich, was bereits in Experiment III-1a zu beobachten war. Möglicherweise war die Anforderung an das Arbeitsgedächtnis nicht groß genug, um die Einflüsse der Variantenähnlichkeit hervortreten zu lassen. Wie in der Bedingung ohne artikulatorische Unterdrückung der Experimente des ersten empirischen Teils könnte man die gesamte benötigte Information innerlich aussprechen (z.B. „...großes B, kleines r, kleines b...“). Wenn die dabei aktivierten phonologischen Repräsentationen ausreichen, um der Aufgabe gerecht zu werden,

dann käme der Vorteil für variantenverschiedene Buchstaben nicht zum Tragen. Betrachtet man allerdings den Rückgang korrekter Antworten und die noch drastischere Verminderung der Antwortgeschwindigkeit für $N = 2$ gegenüber $N = 1$, dann hat es nicht den Anschein, als sei die Aufgabe leicht gewesen. Vielleicht war sie allerdings noch nicht so überfordernd, als dass die gewohnten Strategien eingestellt würden. Dieser Gedanke wurde bereits in der Diskussion von Experiment I-4 formuliert, da sich dort trotz hoher Fehlerzahlen ohne artikulatorische Unterdrückung kein Variantenähnlichkeitseffekt zeigte. Vielleicht muss die Aufgabe so schwierig sein, dass die Probanden sich bei der Entscheidung, welche Variante sie gesehen hatten, auf ihr „Gefühl“ verlassen müssen, damit die Ähnlichkeit der Variantengestalten zum relevanten Faktor wird.

Zum anderen ist bemerkenswert, dass sich die durch Variantenähnlichkeit bedingten Unterschiede anders als in Experiment III-1a nicht auf die Antwortgeschwindigkeit auswirkten. Eine Möglichkeit wäre, dass in den hier analysierten Mittelwerten tatsächlich bestehende Unterschiede in der Antwortgeschwindigkeit aufgehoben wurden. Whelan (2008) empfiehlt, Reaktionszeitdaten nicht zu aggregieren. Daher wurden zusätzlich die nicht aggregierten Daten analysiert. Das heißt, es wurden keine Mittelwerte je Proband und Bedingung gebildet, sondern jede einzelne Reaktionszeit war in der Matrix enthalten. Zusätzlich zu der Bedingung war jeder Datenpunkt dahingehend spezifiziert, ob es sich um eine positive (*Hit*) oder um eine negative Antwort (*Correct Rejection*) handelte. In der Regel erfolgen positive Antworten schneller, zumal in diesen Experimenten die rechte Hand die positiven Antworten abgab, die bei der Mehrzahl der Menschen die dominante (und „schnellere“) Hand ist. Es wäre möglich, dass in den Datenaggregaten Varianz verloren ging, wenn beispielsweise nur positive Antworten mit den feinen Geschwindigkeitsunterschieden variierten.

Die aufgeschlüsselten Daten wurden in einer ANOVA mit Messwiederholung mit N, VARIANTENÄHNLICHKEIT und FONT sowie dem zusätzlichen Faktor Antwortvalenz analysiert. Fehlende Werte wurden durch den Mittelwert je Proband und Bedingung ersetzt. Diese Analyse erbrachte jedoch keinen Hinweis auf einen verdeckten Variantenähnlichkeitseffekt. Es gab weder einen Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT, noch einen Interaktionseffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT und Antwortvalenz, beide F s < 1 . Auch die Dreifachinteraktion dieser beiden Faktoren mit dem Abstand N war nicht signifikant, $F(2, 526) = 1.413$, $p = .244$, $\eta_p^2 = .005$. Die Diskrepanz zwischen den Maßen ist also nicht durch ein feineres Auswertungsverfahren aufzulösen.

Ein alternativer Erklärungsansatz bezieht sich auf die hohe Aufgabenkomplexität. Die Probanden mussten vor jeder Antwort erst die Entscheidung treffen, ob sie überhaupt antworten sollten. Möglich wäre, dass die Entscheidung, ob es sich um denselben Buchstaben handelt, bei ähnlichen Varianten schneller erfolgte. Wenn die Entscheidung über die Übereinstimmung der Variante für diese Buchstaben dann wiederum langsamer war, könnten sich die Effekte der Variantenähnlichkeit über beide Teilentscheidungen hinweg gegenseitig aufheben. Möglich wäre außerdem, dass sich allgemeine Wirkfaktoren wie die momentane Konzentration auf beide Teilentscheidungen auswirkten, so dass sich die Fehlervarianz potenzierte. Die Einflüsse der manipulierten Größen könnten sich sicher eher herauskristallisieren, wenn die Frage nach der Unterschiedlichkeit zweier Buchstaben aufgrund einer einzigen Entscheidung zu beantworten wäre. Daher wurde für die folgenden Experimente das Paradigma entsprechend verändert.

12.5 Modifikation des Paradigmas

Die ersten Experimente mit dem *N-Back Letter Matching*-Paradigma kann man mit dem Fazit abschließen, dass das Paradigma hinreichend geeignet zu sein scheint, um etwas über die verschiedenen Merkmale von im Arbeitsgedächtnis repräsentierten Buchstaben herauszufinden. Die Daten entsprachen in wichtigen Punkten den Vorhersagen; unerwartete Befunde ließen sich plausibel erklären. Vor allem blieb der Variantenähnlichkeitseffekt trotz der Schriftartmanipulation erhalten. Es sollte daher möglich sein, das eigentliche Vorhaben umzusetzen, mit diesem Paradigma zu untersuchen, ob Schriftartinformation auf ähnliche Weise verfügbar und nutzbar ist wie Varianteninformation. In den folgenden Experimenten wurden zunächst sowohl das Behalten der Schriftart als auch der Varianteninformation instruiert (Exp. III-2a und III-2b), dann weder das eine noch das andere (Exp. III-2c und III-2d). Die Chance auf klare Ergebnisse wurde dabei durch eine Reihe von Modifikationen gegenüber den Experimenten III-1a und III-1b erhöht, die der Komplexitätsreduktion und damit der Reduktion von Fehlervarianz dienen.

Der wichtigste Punkt betrifft die *Go/No Go*-Entscheidung, welche die auf die Manipulationen zurückgehende Varianz in den Leistungen überdeckt haben könnte, vor allem bezüglich der Antwortgeschwindigkeit. In der neuen Aufgabenversion mussten die Versuchspersonen nicht mehr entscheiden, ob sie überhaupt antworten sollten; nun sollte auf jeden Buchstaben eine von zwei Antworten erfolgen. Die Antworten waren weiterhin „Ja“, wenn zwei gleiche Buchstaben aufgenommen worden waren und „Nein“, wenn die zwei Buchstaben sich unterschieden. Innerhalb eines Experiments wurde auf jedes zu vergleichende Buchstabenpaar ein und dasselbe Antwortkriterium angewendet. Durch dieses Kriterium war zugleich festgelegt, auf welche Buchstabenmerkmale die Proban-

den achten mussten. Im Sinne der *Name Match*-Aufgabe ist „gleich“ als Namensgleichheit definiert. Die Probanden müssen also gegebenenfalls von Unterschieden in der Erscheinung der Buchstaben abstrahieren; der Schwerpunkt ihrer Aufmerksamkeit sollte auf der Buchstabenidentität liegen. Die Antwort lautet in allen kritischen Bedingungen (d.h. wenn zwei Buchstaben dieselbe Identität haben) „Ja“ (vgl. Abb. 11-4c, S. 201). In dem Maße, in dem oberflächliche Unterschiede repräsentiert sind, sollten sie mit der Klassifikation als „gleich“ konfliktieren und die Antwort „Ja“ erschweren. Anders herum geben schlechtere Leistungen bei dieser Aufgabenstellung Aufschluss darüber, dass bestimmte Unterscheidungsmerkmale repräsentiert sind. Im Sinne der *Physical Match*-Aufgabe ist „gleich“ als vollkommene Übereinstimmung definiert. Die Probanden sind gefordert, sich die visuelle Erscheinung jedes Buchstabens zu merken. Unterschiede bezüglich der Schriftart oder der Varianten haben den gleichen Stellenwert wie Unterschiede in der Buchstabenidentität. Die Antwort lautet in der *Physical Match*-Aufgabe in den meisten kritischen Bedingungen „Nein“ (vgl. Abb. 11-4b, S. 201). Wenn oberflächliche Unterschiede repräsentiert sind, sollte sich dies in besseren Leistungen bei der Differenzierung der beiden Buchstaben äußern.

Der nächste wichtige Punkt besteht in einer Einschränkung des Designs. Da in den vorigen Experimenten die Raten korrekt erinnelter Buchstabenvarianten bei $N = 3$ im Mittel um 40 % lagen, wurden nur noch $N = 1$ und $N = 2$ realisiert. Der Vergleich des aktuellen mit dem unmittelbar vorangegangenen Buchstaben entspricht ungefähr den Anforderungen der *Letter Matching*-Studien, die in Kapitel 7.1.2 vorgestellt wurden. Diese Bedingung gibt daher noch nicht unbedingt Aufschluss darüber, ob die repräsentierten Merkmale tatsächlich dem Arbeitsgedächtnis zur Verfügung stehen. Sie ist als Grundlage für

die Interpretation der Arbeitsgedächtnisleistungen unter $N = 2$ unabdingbar. Im Vergleich des aktuellen mit dem vorletzten Buchstaben ($N = 2$) zeigt sich, welche Information in einer Aufgabe mit größeren Arbeitsgedächtnisanforderungen genutzt werden kann. Um herauszufinden, ob Merkmale der Schriftart im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sind, sollte die Umsetzung zweier Ausprägungen von N hinreichen. Um jedoch eine Grundlage für die Behauptung zu haben, dass es sich um Repräsentationen visueller (und nicht phonologischer) Aspekte der zu behaltenden Information handelt, wäre der Nachweis eines Variantenähnlichkeitseffekts wichtig. In solcher hatte sich bislang unter $N = 2$ nicht beobachten lassen. Es wird erwartet, dass sich dies bei verringerter Komplexität ändert, da die Leistungen systematischer variieren sollten.

Einige weitere Merkmale der *N-Back*-Aufgabe, die bislang realisiert wurde, schaffen Komplexität und erhöhen somit möglicherweise die Fehlervarianz. So war das Stimulus-Set relativ groß. In den in Kapitel 7.1.2 zitierten Arbeiten zum Posner-Effekt hatte man sich auf zwei bis sechs Buchstaben beschränkt. Es ist denkbar, dass Unterschiede zwischen den einzelnen Buchstaben die Varianzen zwischen den Bedingungen verschleiern. Eine zentrale Veränderung besteht daher in einer neuen Auswahl der Buchstaben-Stimuli. Das Set wurde in Richtung der *Letter Matching*-Studien auf sechs Buchstaben reduziert, um in jeder Bedingung möglichst homogene Reaktionszeiten zu erzielen. Eine weitere Veränderung betraf die Manipulation der schriftartbezogenen Buchstabenähnlichkeit. Die Unterschiede zwischen den bislang verwendeten Schriftarten waren eher geringfügig. In den folgenden Experimenten wurden Schriftarten mit augenfälligeren Unterschieden eingesetzt, und zwar **Britannic Bold** und *Freestyle Script* (vgl. Abb. 12-10).

		UNI Font	MIXED Font
SIM	Variante =	P P p p P P p p	P P p p P P p p
	Variante ≠	P p p P P p p P	P p p P P p p P
DIS	Variante =	B B b b B B b b	B B b b B B b b
	Variante ≠	B b b B B b b B	B b b B B b b B

Abbildung 12-10. Buchstabenpaare in allen möglichen Kombinationen von Schriftart und Variante, am Beispiel des variantenähnlichen (SIM) Buchstabens P/p und des variantenverschiedenen (DIS) Buchstabens B/b, wie sie in Exp. III-2a - 3b verwendet wurden.

Des Weiteren war die Darbietung der Buchstaben entlang ganzer Zeilen nicht inhaltlich motiviert, sondern sollte dem natürlichen Lesen möglichst nahe kommen. Dabei war nicht bedacht worden, dass es gerade nicht dem natürlichen Lesen entspricht, jeden Buchstaben zu erfassen. Die Buchstaben, die der Reihe nach fixiert werden sollten, wurden eng nebeneinander präsentiert (vgl. Abb. 12-2, S. 215). Beim normalen stillen Lesen beobachtet man in den Blickbewegungen zwischen den Fixationen sakkadische Sprünge, so dass nur etwa jeder achte Buchstabe fixiert wird (z.B. Rayner, 1998). Diesem gewohnten Blickverhalten widerspricht es, jeden Buchstaben fixieren zu müssen. Davon abgesehen kann in diesen Experimenten ohnehin keine dem natürlichen Lesen entsprechende Darbietungsdauer realisiert werden. Wenn die Bedingungen nun einmal nicht natürlich sind, dann sollte wenigstens ein möglichst einfach erfassbares Präsentationsformat genutzt werden. Die Buchstaben wurden deswegen nun nicht mehr von links nach rechts über drei Zeilen hinweg eingeblendet, sondern an derselben Stelle in der Bildschirmmitte präsentiert (vgl. Abb. 12-11). Damit ein klarer Übergang vom einen zum nächsten Buchstaben auch bei identischen Paaren erkennbar war, musste ein Interstimulusintervall eingeführt werden.

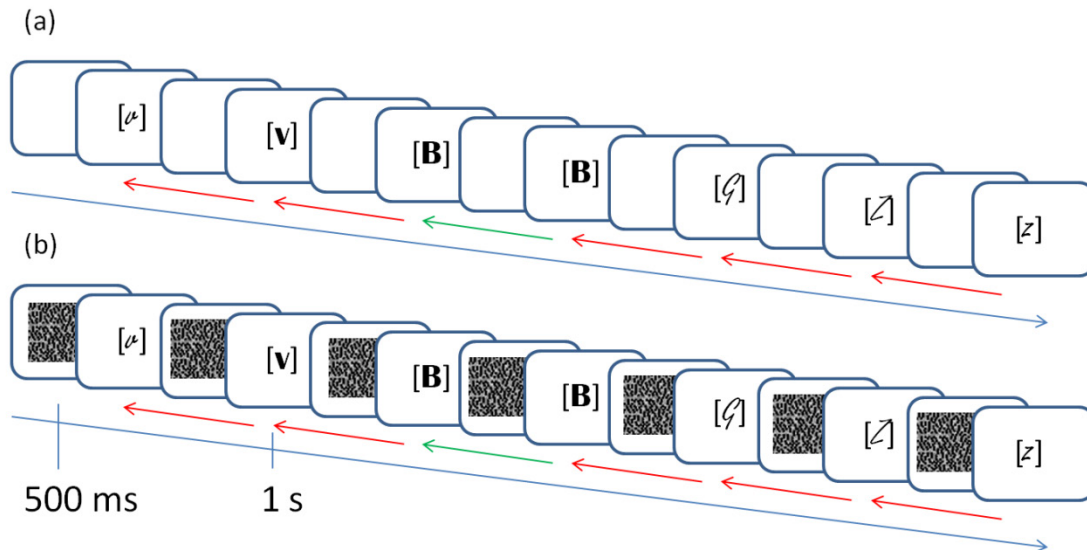


Abbildung 12-11. Beispielhafter Ausschnitt aus einem Durchgang mit $N = 1$ aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung; oben) und III-2b (mit Nachbildmaskierung; unten). Dargestellt sind eine Folge von Bildschirmhalten entlang dem Zeitstrahl sowie die richtigen Antworten in Form von grünen („Ja“) und roten („Nein“) Pfeilen.

Da viele Probanden angaben, die langsame Präsentationsrate habe sie ermüdet, wurden außerdem die Darbietungszeiten gekürzt: Eine Darbietungszeit von einer Sekunde reicht aus, um einen Buchstaben ohne Eile aufzunehmen.⁶ Die Antwort wurde bis zum Ende des folgenden Interstimulusintervalls registriert, so dass die Antwort binnen eineinhalb Sekunden erfolgen musste. Länger hatten die Teilnehmer in den vorherigen Experimenten für 6,62 % der richtigen Antworten benötigt, so dass die Verkürzung der Darbietungsrate nur einen geringen Verlust relevanter Daten bedeuten sollte. Zudem wurden kürzere Buchstabenketten erstellt, ebenfalls um der Ermüdung der Probanden während des Durchgangs vorzubeugen. Statt ungefähr 200 Sekunden wie bislang dauerte ein Experimentaldurchgang jetzt nur noch 90 Sekunden.

⁶ Petit et al. (2006) vermuten aufgrund von EEG-Studien, dass es etwa 300 Millisekunden dauert, eine variantenunabhängige Buchstabenrepräsentation zu aktivieren, und bei Posner und Mitchell (1967) benötigten die Probanden im Mittel weder bei *Physical Match*- noch bei *Name Match*-Instruktion länger als eine gute halbe Sekunde für ihre Antwort, ob zwei Buchstaben gleich sind oder verschieden.

12.5.1 Vorbemerkungen

Wie ausgeführt bestand der bedeutendste Unterschied gegenüber den vorigen Experimenten darin, dass jeder Antwort nur noch eine Entscheidung über die Unterschiedlichkeit der Buchstaben zugrunde lag. Das Kriterium für Entscheidung zielte entweder auf Unterschiede in der konkreten Ausgestaltung ab (*Physical Match*) oder auf den Buchstabennamen (*Name Match*), der trotz unterschiedlicher Gestalten derselbe sein kann. Diese beiden Versionen der Aufgabe wurden realisiert, um herauszufinden, ob eine Gedächtnisinstruktion notwendig ist, um Einflüsse der interessierenden Merkmale festzustellen. Normalerweise gehört es nicht dazu, visuelle Merkmale der Schrift zu beachten oder gar zu behalten, wenn man einen Text bearbeitet. Sollten die Einflüsse solcher Merkmale nachweisbar sein, obwohl die Aufgabe ihre Aufrechterhaltung nicht explizit verlangt, kann man davon ausgehen, dass sie dennoch unwillkürlich behalten werden. Ein solches Ergebnis würde die Annahme der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens, Schrift und Bilder interferierten im Arbeitsgedächtnis, besonders nachdrücklich belegen. Sofern visuelle Merkmale nur dann nachweisbar sind, wenn explizit danach gefragt wird, lässt sich immer noch einwenden, dass diese spezielle Voraussetzung Repräsentationen hervorhebt, die gewöhnlich irrelevant wären.

Da die Variantengestalten Aufschluss über die Buchstabenidentität liefern, konnte man vermuten, dass sie durchaus auch unwillkürlich aufrechterhalten werden. Im Gegensatz dazu sollten Merkmale der spezifischen Schriftart unbeachtet bleiben oder sogar aussortiert werden. Es wurde angenommen, dass solche Merkmale nur auf besondere Aufforderung hin ins Arbeitsgedächtnis gelangen würden. Entsprechend wurden in Abhängigkeit von der Instruktion unterschiedliche Befundmuster erwartet. Während bei *Name Match*

Instruktion zwar Abweichungen in der Buchstabengestalt die Leistungen beeinflussen sollten, wurden keine Einflüsse von Änderungen in der Schriftart vorhergesagt. Mit anderen Worten sollten variantenverschiedene (DIS) Buchstaben, die sich in der Variante unterschieden (z.B. G – g), weniger gut als gleich klassifiziert werden als variantenähnliche (z.B. V – v) oder identische Buchstaben (z.B. g – g bzw. V – V). Wechsel in der Schriftart zwischen den beiden Buchstaben (z.B. ζ – **G**) dagegen sollten die Klassifikation als „gleich“ nicht behindern. Bei einer *Physical Match*-Instruktion sollte es sich mit diesem letzten Punkt anders verhalten. Wenn dies verlangt wird, sollte auch Schriftartinformation aufrechterhalten werden können. Anders als in der *Name Match*-Version des Experiments sollten Einflüsse der Schriftart in der *Physical match*-Version festzustellen sein.

Bereits an dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass diese Annahmen über den Einfluss der Instruktion nicht geprüft werden konnten. Die *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe erbrachte keine interpretierbaren Daten. Die Experimente III-3a und III-3b werden unten zwar vorgestellt, doch müssen die Ergebnisse der *Physical Match*-Version in sich geschlossen interpretiert werden.

12.6 Experiment III-2a

Mit diesem Experiment wurde untersucht, inwieweit die Schriftart willkürlich genutzt werden kann: Ist es möglich, die daran gekoppelten Merkmale aufrecht zu erhalten, wenn die Aufgabe dies erfordert? Entsprechend der *Physical Match*-Instruktion des Posner-Paradigmas sind zwei Buchstaben nur dann als gleich zu klassifizieren, wenn sie in jeder Hinsicht übereinstimmen, also oberflächlich identisch sind. Es mussten also sowohl die Schriftart als auch die

Variante im Gedächtnis behalten werden (die Instruktion ist Anhang C5, S. 380f zu entnehmen).

12.6.1 Design

Es wurde ein vierfaktorielles Design realisiert mit den Faktoren VARIANTENÄHNLICHKEIT (variantenverschieden: DIS; variantenähnlich: SIM), Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben, N (1, 2), schriftartbezogene Ähnlichkeit zwischen den zu vergleichenden Buchstaben, FONT (gleiche Schriftart: UNI vs. verschiedene Schriftarten: MIXED), und dem Verhältnis der beiden zu vergleichenden Varianten zueinander, CASE (gleiche Variante: = vs. verschiedene Varianten: \neq). Alle Faktoren wurden innerhalb von Probanden, VARIANTENÄHNLICHKEIT auch innerhalb der *Items* variiert. N wurde zwischen, alle anderen Variablen innerhalb von Experimentaldurchgängen variiert. Die Stufen von N folgten mit steigender Schwierigkeit aufeinander. Als abhängige Variable dienten die Antwortgenauigkeit und die Antwortgeschwindigkeit.

12.6.2 Abweichungen im varianzanalytischen Design

In diesem und dem folgenden Experiment entspricht das Experimentaldesign nicht dem Design, das der statistischen Auswertung zugrunde liegt. Diese Besonderheit wird in den folgenden Absätzen begründet und erläutert.

Durch die Kombination von Schriftart und Variante in einem Experiment entstanden unterschiedliche Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Buchstaben eines gleichnamigen Paares: (1) Es wurde zwei Mal derselbe Buchstaben gezeigt („Ja“), (2) die beiden Buchstaben waren bis auf die Schriftart identisch („Nein“), (3) die Buchstaben waren abgesehen von der Variante gleich („Nein“), oder (4) die zwei Buchstaben waren sowohl in Merkmalen der Variante als auch in denen der Schriftart verschieden („Nein“). Unterschiedliche Varianten gingen in

der Hälfte der Fälle mit unterschiedlichen Buchstabengestalten einher (DIS), in der anderen Hälfte blieben die Gestalten gleich, nur die Größe ändert sich (SIM). Dieses Vorgehen sollte Aussagen über die Auswirkungen der Buchstabenähnlichkeit im Arbeitsgedächtnis in Hinblick auf Merkmale der Schriftart einerseits und Merkmale der Variantengestalt andererseits ermöglichen.

Die den Merkmalen entsprechenden Faktoren waren vollständig gekreuzt. Daraus ergab sich für die Auswertung folgendes Problem: Nur identische Buchstabenpaare galten als gleich, und nur auf sie war mit „Ja“ zu antworten. Das heißt, eine der vier kritischen Bedingungen war an eine andere Antwortvalenz gekoppelt als die anderen drei. Es war nicht möglich, identische Buchstabenpaare sinnvoll in die Analysen einzubeziehen. Die „Ja“-Antworten waren viel seltener als die „Nein“-Antworten; nur etwa 15 % aller Buchstaben waren mit ihrem fraglichen Vorgänger identisch. Nicht zuletzt weil sie so aus der Routine fielen, konnten diese *Trials* nicht mit den anderen verrechnet werden. Dieses Problem wurde umgangen, indem das Design unvollständig in die Analysen übernommen wurde.

Nur die drei Faktorkombinationen, für die „Nein“ die richtige Antwort ist, konnten miteinander verglichen werden. Dies sind die Bedingungen mit gleicher Variante und wechselnder Schrift, mit unterschiedlichen Varianten und einheitlicher Schrift und mit unterschiedlichen Varianten und wechselnder Schrift. Abbildung 12-12 bietet einen exemplarischen Überblick über die realisierten und die analysierten Bedingungen. Die Bezeichnungen verweisen jeweils darauf, in welchem Merkmal beziehungsweise in welchen Merkmalen sich die zu vergleichenden Buchstaben unterscheiden. Für die ANOVA wurde ein dreifach gestufter Faktor VISUELLE ÄHNLICHKEIT gebildet, mit den Ausprägungen VARIANTE (die beiden Buchstaben sind bzgl. der Variante verschieden,

aber bzgl. der Schriftart gleich, z.B. $\zeta - \rho$ oder $\mathbf{s} - \mathbf{S}$), SCHRIFT (die beiden Buchstaben sind bzgl. der Schriftart verschieden, aber bzgl. der Variante gleich, z.B. $\mathbf{G} - \zeta$ oder $\mathfrak{s} - \mathbf{s}$) und SCHRIFT+VARIANTE (die beiden Buchstaben sind bzgl. Schriftart und Variante verschieden, z.B. $\mathbf{G} - \rho$ oder $\mathbf{s} - \mathfrak{s}$).

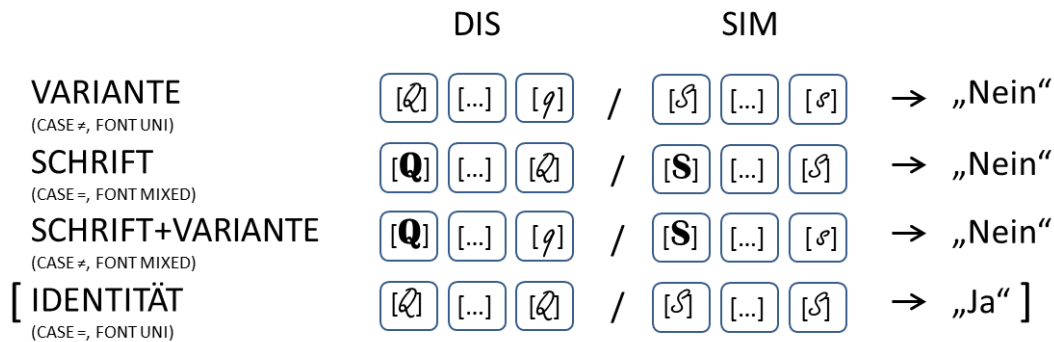


Abbildung 12-12. Veranschaulichung der Ähnlichkeitsbeziehungen von zu vergleichenden Buchstaben in Exp. III-2a und III-2b. Abgesehen von der Variantenähnlichkeit (variantenverschieden vs. –ähnlich: DIS vs. SIM) wurde variiert, ob die Variante wechselte (CASE, gleiche vs. andere Variante: = vs. ≠) und ob die Schriftart wechselte (FONT, einheitlich vs. wechselnd: UNI vs. MIXED). In die ANOVA gingen nur die mit VARIANTE, SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE bezeichneten Bedingungskombinationen ein.

Für die Analyse des Variantenähnlichkeitseffekts stellte dies kein Problem dar, denn variantenähnliche und –verschiedene Buchstaben können innerhalb jeder einzelnen Bedingung verglichen werden (sofern die Buchstaben in der Variante voneinander abweichen). Um den Einfluss der Schriftart nachzuweisen, gab es keine analoge Lösung. Hinsichtlich der Schriftart verschiedene Paare mussten direkt mit hinsichtlich der Schriftart gleichen Paaren kontrastiert werden. Da die identischen Paare für einen solchen Vergleich nicht dienen konnten, blieben nur Paare, die sich in der Variante unterschieden. Das heißt, die Verfügbarkeit der Schriftartinformation musste durch einen Vergleich der Bedingungen geprüft werden, in denen einerseits ausschließlich die Schriftart

und andererseits die Variante wechselte. Folglich konnte eine Aussage über die Nutzbarkeit von Schriftartinformation nur relativ zur Nutzbarkeit von Varianteninformation getroffen werden.

Da das Design unvollständig war, konnte die Bedingung SCHRIFT+VARIANTE nicht dazu dienen, die Einflüsse von schriftartbezogener und variantenbezogener Buchstabenähnlichkeit miteinander zu vergleichen. Es war davon auszugehen, dass die Leistungen in dieser Bedingung nicht schlechter seien als in der Bedingung, in der sich die beiden Buchstaben allein in der Variante unterscheiden. Es schien sogar möglich, dass beide Unterscheidungsmerkmale zur Differenzierbarkeit beitragen und die Leistungen in dieser Bedingung daher besonders gut wären. Der Gedanke, die Einflüsse beider Merkmale könnten sich additiv verhalten, war jedoch rein spekulativ. Deswegen und wegen der unüberschaubaren Wechselwirkungen mit Hypothesen über die Dauer der Verfügbarkeit von Varianten- und Schriftartinformation eigneten sich Vergleiche mit der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE nicht, um die Einflüsse beider Merkmalsarten zu separieren.

12.6.3 Methode

12.6.3.1 Stichprobe

28 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Alle waren Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme

bekamen sie 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro. Aufgrund eines Fehlers in der Experimentalsteuerdatei wurden vier Probanden ausgeschlossen.

12.6.3.2 Material

Je drei Buchstaben mit hoher und geringer Variantenähnlichkeit wurden für diese Experimentalserie so ausgewählt, dass beide Sets sich hinsichtlich geteilter phonologischer Merkmale und Frequenz möglichst wenig unterschieden, wobei dem phonologischen Aspekt ein höherer Stellenwert beigemessen wurde. Das Set variantenverschiedener Buchstaben bestand aus B/b, G/g und M/m und das Set variantenähnlicher Buchstaben aus C/c, P/p und S/s. Jedes Set beinhaltete zwei Buchstaben mit dem Reim-Vokal /e:/ im Namen und einen mit dem *Onset*-Vokal /ɛ/. Während im DIS-Set zwei Plosive (/g/ und /b/) vorkamen, waren im SIM-Set zwei Frikative (/ts/ und /s/) enthalten; in allen Fällen unterschieden sich die Artikulationsorte. Die mittlere Frequenz betrug für das DIS-Set 2,48 % und für das SIM-Set 3,71 %. Zusätzlich wurden vier *Filler-Items* eingesetzt, und zwar die Buchstaben Q/q, J/j, V/v und Z/z, um langen Folgen gleichlautender Buchstabennamen und dem damit einhergehenden Risiko phonologischer Verwechslungen entgegenzuwirken. Die in Experiment III-2a bis III-2d präsentierten Buchstabenketten sind in Anhang B8 (S. 371f) aufgeführt.

Jeder Buchstabe war in beiden Schriftarten vertreten. Die Schriftarten **Britannic Bold** und *Freestyle Script* in 48 pt. wurden verwendet. Für jede Realisierung jedes Buchstabens wurden Grafiken erstellt. Da die Kleinbuchstaben in letzterer Schriftart sehr zierlich sind, wurde die Größe der Grafiken angeglichen, so dass die Höhe jedes Kleinbuchstabens zu den Klammern (Schriftart Calibri, 36 pt.) passte. Diese Klammern dienten wieder der Disambiguierung der Varianten von SIM-Buchstaben. Die Buchstaben und Klammern wurden in schwarz auf hellgrauem Hintergrund an einem Notebook präsentiert.

Es wurden acht pseudo-randomisierte Ketten mit je 60 Buchstaben gebildet; vier für jede Stufe von N. Jede der Ketten entsprach einem Experimentaldurchgang. Über die vier Ketten jedes N hinweg kam jeder der kritischen Buchstaben 16 Mal als Paar vor, je vier Mal in jeder der Kombinationen, die sich aus Schriftart und Variante ergeben (vgl. Abb. 12-10). Das machte 96 kritische Durchgänge je N, die jeweils zur Hälfte aus variantenverschiedenen und variantenähnlichen Buchstaben bestanden. Ein Durchgang enthielt vier Paare jedes Buchstabens. Abbildung 12-11 (S. 240) veranschaulicht einen Durchgang.

Bei der Festlegung der genauen Abfolge wurden folgende Kriterien beachtet: Erstens mussten mindestens sieben andere Buchstaben zwischen zwei Wiederholungen eines Paares liegen. Zweitens folgten die verschiedenen Buchstabenidentitäten gleich häufig aufeinander (gleiche Übergangswahrscheinlichkeiten von „b“ nach „g“, von „c“ nach „g“... etc.). Drittens trat jede Schriftart in jedem Durchgang gleich häufig auf. Viertens waren die positiven Durchgänge (also vollkommene Identität beider Buchstaben) pro Buchstabe gleich über die Durchgänge verteilt. Zusätzlich zu den Experimentaldurchgängen wurden für jede Stufe von N zwei Ketten aus je 42 Buchstaben als Übungsdurchgänge gebildet, wobei dieselben Kriterien wie bei der Konstruktion der Experimentaldurchgänge angewendet wurden.

12.6.3.3 Ablauf

Zu Beginn jeder Sitzung wurde der Teilnehmer mit den Buchstaben und Schriftarten vertraut gemacht (vgl. Kap. 9.3.2.3, S. 136f). Danach wurde die Instruktion nach und nach auf dem Bildschirm präsentiert und besprochen: Die Buchstaben sollten so schnell und so genau wie möglich dahingehend geprüft werden, ob sie mit ihrem N zurückliegenden Vorgänger identisch waren oder nicht. Die Antwort wurde über die Tastatur eingegeben, wobei die linke *Shift*-

Taste mit „Nein“, die rechte *Shift*-Taste mit „Ja“ gekennzeichnet war. Nach der Instruktion startete der Teilnehmer den ersten Übungsdurchgang, zu dem es wie in den vorigen Experimenten akustisches *Feedback* gab. Um sich an den Ablauf zu gewöhnen, durchlief er anschließend den zweiten Übungsdurchgang ohne akustisches *Feedback*. Es folgten die Experimentaldurchgänge, jeder von 90 Sekunden (60 x 1,5 Sekunden) Dauer, ohne *Feedback*. Zwischen den Durchgängen konnte der Teilnehmer nach Bedarf pausieren.

Nach den vier Durchgängen mit $N = 1$ erschien auf dem Bildschirm erneut die Instruktion für $N = 2$; statt des unmittelbaren Vorgängers sollte nun der vorletzte Buchstabe mit dem aktuellen verglichen werden. Auch für diese Bedingung gab es zunächst zwei Übungsdurchgänge, den ersten mit, den zweiten ohne akustisches *Feedback*. Dem folgten wieder selbst initiiert vier Experimentaldurchgänge (ohne *Feedback*). Die Abfolge der Experimentaldurchgänge war je N pseudo-randomisiert. Abschließend wurde der Teilnehmer nach dem Einsatz von Strategien befragt und über den Sinn der Untersuchung aufgeklärt.

Die Buchstaben wurden der Reihe nach an der immer gleichen Stelle in der Bildschirmmitte gezeigt, welche ununterbrochen durch eine Klammer eingerahmt war („[]“). Diese Klammer diente dazu, die Buchstaben hinsichtlich ihrer Größe einzuordnen (vgl. Abb. 12-11, S. 240). Jeder Durchgang (also jede Buchstabenkette) begann damit, dass für 500 Millisekunden die leere Klammer in der Mitte des Bildschirms zu sehen war. Anschließend erschien für eine Sekunde der erste Buchstabe in dieser Klammer. Danach blieb die Klammer für 500 Millisekunden leer auf dem Bildschirm stehen. Dann erschien der zweite Buchstabe darin, und so weiter. Die Entscheidung, ob der aktuelle Buchstabe derselbe war wie sein Vorgänger oder nicht musste abgegeben werden, ehe der folgen-

de Buchstabe erschien. Am Ende eines Durchgangs innerhalb einer Stufe von N war auf dem Bildschirm zu lesen, der wievielte Durchgang folgen würde.

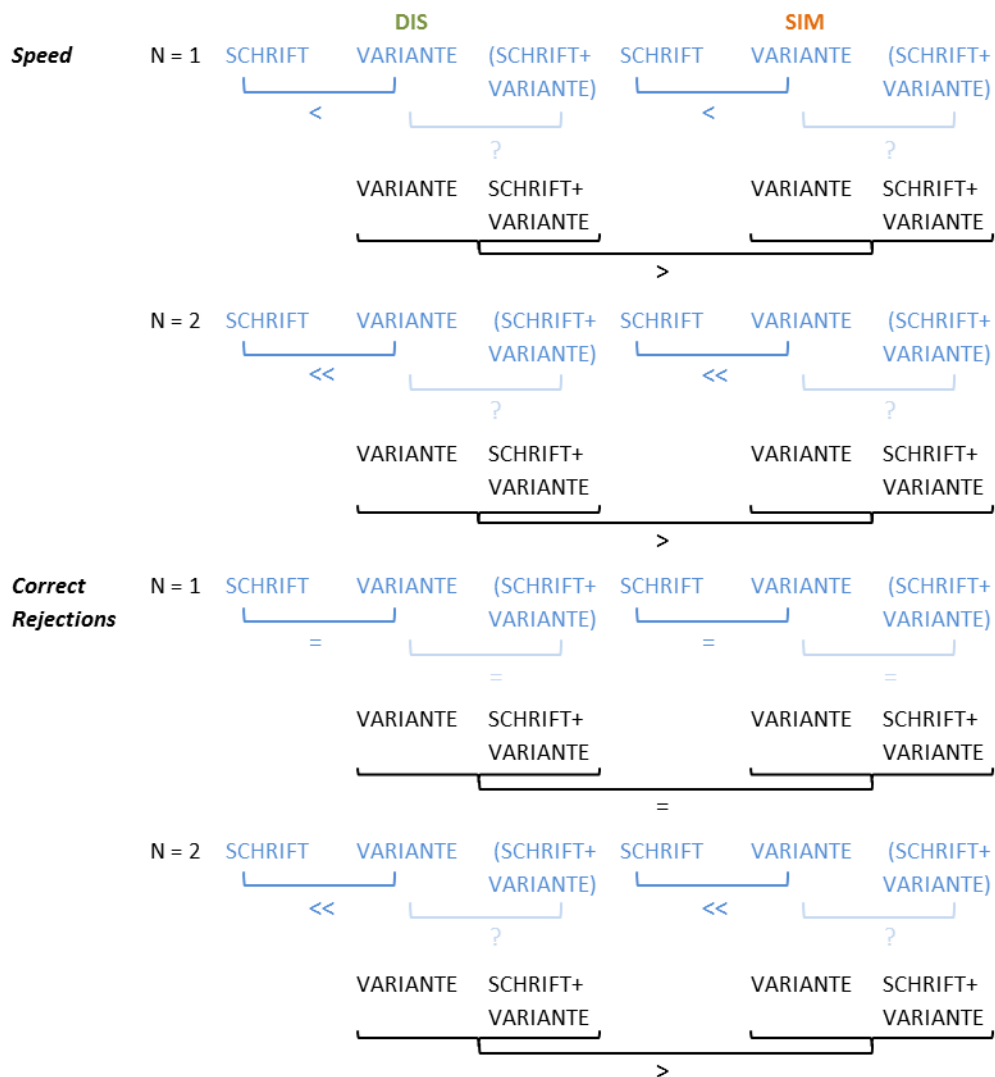
12.6.3.4 Hypothesen

Im Folgenden sind die Hypothesen aufgeführt, die für die Bedingungen aufgestellt wurden, welche aufgrund der einheitlichen Antwortvalenz miteinander vergleichbar waren. Sie sind in Tabelle 12-2 schematisch zusammengefasst. Grundsätzlich gelten in *Physical Match*-Aufgaben schlechtere Leistungen als Hinweis auf größere Ähnlichkeit der *Items*, beziehungsweise verweisen anderherum bessere Leistung auf die Verfügbarkeit von Unterschiedsmerkmalen (z.B. Kirsner & Sang, 1979, Exp. 1; Posner & Mitchell, 1967, Exp. 1; vgl. Kap. 7.1.2). Leistungsunterschiede sind also als Unterschiede in der Verfügbarkeit differenzierender Merkmale in den Repräsentationen zu verstehen. Die Hypothesen über die unterschiedliche Verfügbarkeit von Merkmalen der Variantengestalt und der Schriftart werden in dieser Abfolge formuliert. Zwei allgemeine Anmerkungen sind dem vorangestellt.

(1) In dieser Arbeit geht es um Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis, definiert als Repräsentationen, die der willkürlichen Aufrechterhaltung und Manipulation zugänglich sind. Die Anforderung der willkürlichen Aufrechterhaltung ist bei $N = 1$ gering (500 Millisekunden Aufrechterhaltung nach Darbietungsende). Ob in dieser Bedingung Arbeitsgedächtnisrepräsentationen oder primär in die Wahrnehmung involvierte Repräsentationen beobachtbar sind, ist streitbar. Die Bedingung mit $N = 2$ erfordert die Aufrechterhaltung jedes *Items* über drei bis vier Sekunden, und dazu muss noch ein weiteres Item gespeichert werden. Bezüglich der Frage nach der Verfügbarkeit der verschiedenen Buchstabenmerkmale im Arbeitsgedächtnis sind die Ergebnisse dieser Bedingung eher aufschlussreich. Etwaige Unterschiede in der Effizienz der Aufrechterhal-

tung mehr oder minder abstrakter Information sollten sich besonders unter $N = 2$ auf die Leistungen auswirken.

Tabelle 12-2. Schematischer Überblick über die Unterschiedshypothesen zu Experiment III-2a. Hypothesen zur Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation sind in Blau gehalten, die Hypothesen zum Einfluss der Variantenähnlichkeit in Schwarz. Für $N = 1$ unterscheiden sich die Hypothesen je nach abhängiger Variable (*Speed* und *Correct Rejections*).



(2) Wie erwähnt entspricht die Bedingung mit $N = 1$ abgesehen von der Kontinuität der Vergleiche den häufig im Posner-Paradigma realisierten Bedingungen. Daher lassen sich die Befunderwartungen für den unmittelbaren Ver-

gleich zweier Buchstaben zum Teil unter Rückgriff aus den Befunden dieser Experimente ableiten. Die Berichte darüber fokussieren im Allgemeinen auf die Analysen der Antwortlatenzen (z.B. Posner et al., 1969; Posner & Keele, 1967; Posner & Mitchell, 1967). Meist wird erwähnt, dass der Trend in den Fehlerraten in die den Antwortlatenzen entsprechende Richtung weise. Es werden keine Analysen und kaum Zahlen berichtet, da die Fehlerraten generell sehr niedrig seien. Vermutlich reichten die Unterschiede nicht aus, um reliable Unterschiede zwischen den Bedingungen zu finden.⁷ Folglich ist anzunehmen, dass die visuellen Merkmale unter $N = 1$ hinreichend verfügbar sind, um zwei Buchstaben nahezu fehlerfrei zu differenzieren. Für $N = 1$ werden daher keine Einflüsse der experimentellen Manipulationen auf die Antwortgenauigkeit erwartet.

VARIANTENÄHNLICHKEIT. Ähnliche Variantengestalten (wie C – c) sind schwieriger zu differenzieren als an der Form unterscheidbare Varianten (wie G – g). Daher war mit schlechteren Leistungen für variantenähnliche gegenüber –verschiedenen Buchstaben zu rechnen (DIS > SIM). Ein solcher Unterschied sollte unter $N = 1$ vor allem in der Antwortgeschwindigkeit, unter $N = 2$ aber auch im Antwortgenauigkeitsmaß feststellbar sein. Da sich die Buchstaben nur in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE hinsichtlich der Groß-/Kleinschreibung unterschieden, sollte der Variantenähnlichkeits-effekt auf diese Bedingungen beschränkt sein. In der Analyse sollte sich dies in einer Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHN-

⁷ Eine Ausnahme gibt es jedoch: Kirsner und Sang (1979) berichten, dass unabhängig von der Länge des Interstimulusintervalls auch die Fehlerraten in der Bedingung mit der höchsten Schriftartähnlichkeit besonders hoch gewesen seien. Dieser Befund ist insofern problematisch, als dass darin Schwierigkeiten bei der Diskrimination der beiden Buchstaben auf Wahrnehmungsebene zum Ausdruck kommen könnten. Derartige Schwierigkeiten wären für die vorliegende Arbeit selbst nicht interessant. Sie würden die Interpretierbarkeit der Daten hinsichtlich der aktuellen Fragestellung gefährden und waren daher zu vermeiden. Die Schriftarten in den Experimenten III-2a bis III-2d sollten hinreichend gut voneinander zu unterscheiden sein, als dass es unter $N = 1$ zu (potentiell wahrnehmungsbedingten) Unterschieden in den Fehlerraten zwischen den Bedingungen kommen dürfte.

LICHKEIT äußern. Der Variantenähnlichkeitseffekt deutet auf die Verfügbarkeit der Variantengestalten im Arbeitsgedächtnis hin.

VISUELLE ÄHNLICHKEIT. Eine Aussage über die Verfügbarkeit schriftartbezogener Merkmale lässt sich nur relativ zur Verfügbarkeit von Varianteninformation treffen. In den Vorbemerkungen wurde konstatiert, dass Schriftartmerkmale bei entsprechender Instruktion für eine Arbeitsgedächtnisaufgabe durchaus nutzbar sein sollten. Dennoch sind Unterschiede zwischen Schriftart- und Varianteninformation bezüglich deren Eigenschaften im Arbeitsgedächtnis anzunehmen. Wong und Gauthier (2007; vgl. Kap. 11.1.2, S. 193f) formulierten den Gedanken, dass der Fokus bei der Enkodierung routinemäßig auf der Variantengestalt liegt, während von den schriftartspezifischen Merkmalen abstrahiert wird. Dies vorausgesetzt sollten Unterschiede zwischen zwei Buchstaben, die ausschließlich die Schriftart betreffen, schwerer zu erfassen sein als Unterschiede in der Variantengestalt. Das heißt, unter $N = 1$ sollte sich im *Speed*-Maß ein Effekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT beobachten lassen. Wenn Schriftartmerkmale gewöhnlich eben nicht Bestandteil der Repräsentationen sind, die für die weitere Verarbeitung aufrechterhalten werden, dürfte es auch weniger effizient gelingen, diese Merkmale aufrechtzuerhalten. Muss ein anderer Buchstabe im Retentionsintervall verarbeitet werden, sollte dies die hinsichtlich der Schriftart spezifizierten Repräsentationen merklich stören: Die Repräsentationen, in denen Schriftartmerkmale kodiert sind, sind wahrscheinlich nicht einem bestimmten Buchstaben vorbehalten, sondern auch für die Verarbeitung anderer Gestalten zuständig. Daher sollten die Leistungen im Behalten der Schriftartmerkmale unter $N = 2$ besonders massiv einbrechen, stärker als die abstrakteren Repräsentationen der Variantengestalten.

Dies sollte sich statistisch in einer Interaktion von N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT niederschlagen: Zwei ausschließlich in der Schriftart verschiedene Buchstaben sollten verglichen mit zwei bezüglich der Variante verschiedene Buchstaben weniger gut differenziert werden können (SCHRIFT < VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE). Dieser Unterschied sollte unter N = 1 (auch im *Speed*-Maß) schwächer ausgeprägt sein als unter N = 2.

12.6.4 Ergebnisse

12.6.4.1 Datenaufbereitung

Die Antwortgenauigkeit bezog sich dieses Mal nur auf *Correct Rejections* (d.h. auf die korrekt ablehnenden Antworten) und wird daher als *Correct Rejections-Rate* bezeichnet. Die wenigen *Hits* wurden nicht berücksichtigt; sie sind jedoch in Tabelle 12-3 aufgeführt, der die Mittelwerte und Standardabweichungen dieses Experiments zu entnehmen sind. Es wird der prozentuale Anteil der *Correct Rejections* an den maximal möglichen berichtet. Die erste Antwort bei N = 1 und die ersten beiden Antworten jedes Durchgangs bei N = 2 waren grundsätzlich falsch und wurden daher von der Grundgesamtheit abgezogen.

Wie auf Seite 218f eingeführt, wurden auch hier die *Speed*-Daten zunächst von falschen Antworten und von Latenzen unter 200 Millisekunden bereinigt. Letztere *Trials* (0,14 %) gingen nicht in die *Correct Rejections*-Raten ein. Da die Reaktionszeiten nicht durch eine *Go/No Go*-Entscheidung beeinflusst waren, bestand eine bessere Aussicht auf interpretierbare Befunde in den *Speed*-Daten. Diese wurden sorgfältig bereinigt: Je Teilnehmer und Bedingung wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und alle Werte ausgeschlossen, die über zwei Standardabweichungen vom dazugehörigen Mittelwert abwichen. In das *Speed*-Maß gingen noch 84,94 % aller *Correct Rejections*

ein. Die folgenden Analysen beruhen auf je Proband und Bedingung aggregierten Daten. Als Maß für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der F-Wert ist kleiner als eins.

Tabelle 12-3. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (% *Correct Rejections*) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Exp. III-2a und III-2b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 2), CS (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c) und V-SIM (SCHRIFT, z.B. ℓ - **C**/VARIANTE, z.B. **C** - **c**/SCHRIFT+VARIANTE [S+V], z.B. ℓ - **c**). Zusätzlich wird der Anteil an *Hits* sowie die Antwortgeschwindigkeit bei identischen Paaren (IDENT.) aufgeführt.

Exp.			% <i>Correct Rejections</i>		<i>Speed</i>	
			N = 1	N = 2	N = 1	N = 2
III-2a	DIS	SCHRIFT	93,75 (1,68)	70,45 (3,80)	2,09 (0,08)	1,71 (0,06)
		VARIANTE	96,53 (1,11)	90,53 (2,01)	2,20 (0,07)	1,81 (0,06)
		S+V	98,33 (0,78)	93,75 (1,35)	2,22 (0,08)	1,93 (0,06)
		IDENT.	87,50 (2,02)	61,69 (3,56)	1,95 (0,04)	1,69 (0,05)
	SIM	SCHRIFT	93,94 (1,61)	70,42 (4,01)	2,11 (0,08)	1,87 (0,07)
		VARIANTE	94,10 (1,17)	86,46 (2,18)	2,09 (0,08)	1,82 (0,07)
		S+V	97,92 (0,90)	86,67 (2,23)	2,24 (0,08)	1,88 (0,07)
		IDENT.	82,47 (2,42)	65,91 (4,03)	1,95 (0,04)	1,73 (0,05)
III-2b	DIS	SCHRIFT	89,13 (2,37)	69,96 (2,94)	1,98 (0,06)	1,85 (0,07)
		VARIANTE	94,57 (1,35)	90,51 (2,10)	2,06 (0,07)	1,90 (0,05)
		S+V	95,22 (1,39)	86,23 (2,55)	2,11 (0,06)	1,96 (0,08)
		IDENT.	86,23 (2,22)	55,73 (4,45)	1,94 (0,04)	1,76 (0,04)
	SIM	SCHRIFT	85,77 (2,61)	71,30 (4,09)	1,97 (0,06)	1,86 (0,08)
		VARIANTE	92,39 (1,95)	83,70 (3,03)	1,95 (0,06)	1,89 (0,07)
		S+V	94,57 (1,35)	82,61 (2,45)	2,06 (0,06)	1,91 (0,08)
		IDENT.	84,98 (2,67)	62,06 (3,92)	1,92 (0,04)	1,78 (0,05)

12.6.4.2 Auswertung

Die abhängigen Variablen wurden separat in ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) analysiert. Wie schon in den Experimenten III-1a und III-1b wurden die z-transformierten Daten beider Maße gemeinsam analysiert. Es zeigte sich, dass die Interpretierbarkeit der im Folgenden berichteten Befunde nicht aufgrund von *Speed-Accuracy Tradeoffs* aufgehoben ist. Die Ergebnisse werden in Anhang E (S. 388ff) berichtet.

Correct Rejections-Rate. Der Anteil richtiger Antworten nahm mit steigendem N ab (95,76 % vs. 83,05 % für N = 1 bzw. N = 2). Variantenverschiedene Buchstaben wurden insgesamt geringfügig besser als variantenähnliche Buchstaben gegeneinander abgegrenzt (DIS 90,56 % vs. SIM 88,25 %). Dieser Unterschied war deutlicher, wenn man nur die Bedingungen mit wechselnder Variante betrachtete (DIS 92,29 % vs. SIM 90,28 % für VARIANTE bzw. DIS 96,04 % vs. SIM 93,53 % für SCHRIFT+VARIANTE; dagegen DIS 82,10 % vs. SIM 82,18 % für SCHRIFT). Zudem trat der Variantenähnlichkeitseffekt vor allem dann zutage, wenn der aktuelle mit dem vorletzten Buchstaben verglichen werden musste, also für N = 2 (DIS 90,53 % vs. SIM 86,46 % für VARIANTE und DIS 93,75 % vs. SIM 86,67 % für SCHRIFT+VARIANTE). Für N = 1 gab es nicht zuverlässig einen entsprechenden Unterschied (DIS 96,53 % vs. SIM 94,10 % für VARIANTE und DIS 98,33 % vs. SIM 97,92 % für SCHRIFT+VARIANTE).

Weitaus deutlicher als die Einflüsse der Variantenähnlichkeit waren die der visuellen Ähnlichkeit. Im unmittelbaren Vergleich zweier Buchstaben waren die Unterschiede zwischen den Bedingungen visueller Ähnlichkeit mäßig ausgeprägt (SCHRIFT 93,84 % vs. VARIANTE 95,31 % vs. SCHRIFT+VARIANTE

98,13 % unter $N = 1$). Musste jedoch zwischen den zu vergleichenden ein weiterer Buchstabe verarbeitet werden, fiel der Anteil der korrekt als verschieden erkannten Paare deutlich geringer aus, wenn sie sich nur in der Schriftart unterschieden als wenn zwei verschiedene Varianten präsentiert worden waren (SCHRIFT 70,44 % vs. VARIANTE 88,49 % vs. SCHRIFT+VARIANTE 90,21 % unter $N = 2$). Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-13 graphisch dargestellt.

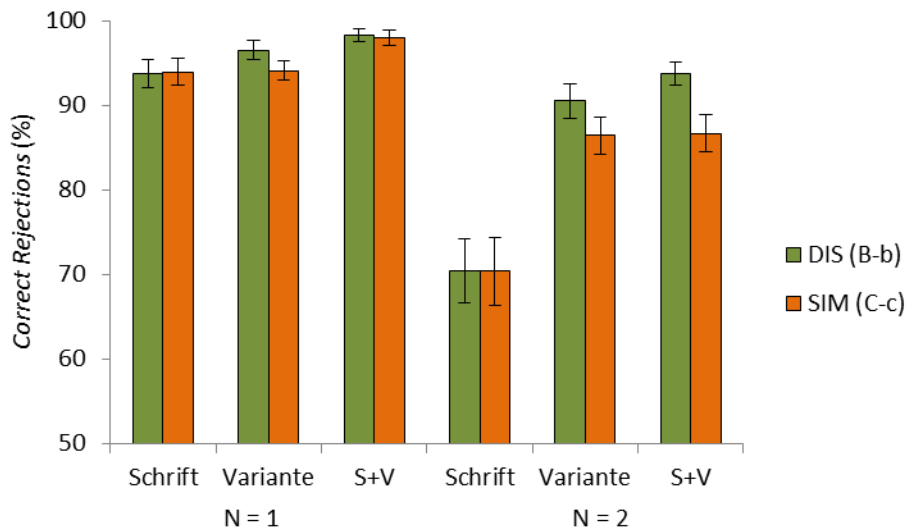


Abbildung 12-13. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 23) = 72.247$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .759$. Es trat ein marginal signifikanter Effekt der VARIANTENÄHNLICHKEIT auf, $F(1, 23) = 3.791$, $p = .064$, $\eta_p^2 = .141$. Die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 23) = 1.494$, $p = .234$, $\eta_p^2 = .061$. Das Gleiche galt für die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT, $F(2, 46) = 1.440$, $p = .247$, $\eta_p^2 = .059$.

Der Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 46) = 32.677$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .587$. Gleiches galt für die Interaktion von N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT, $F(2, 46) = 19.221$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .455$. Geplante Vergleiche zeigten, dass unter N = 1 sich zwar die Bedingungen SCHRIFT und VARIANTE nicht voneinander unterschieden, $F < 1$, die Bedingung SCHRIFT+VARIANTE jedoch deutlich besser war als die ersten beiden, $F(1, 23) = 17.838$, $p < .001$. Unter N = 2 waren die Leistungen in der Bedingung SCHRIFT deutlich schlechter als die in der Bedingung VARIANTE, $F(1, 23) = 27.451$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .544$. Hingegen unterschieden sich die Leistungen nicht in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 23) = 1.347$, $p = .258$, $\eta_p^2 = .055$. Die Dreifach-Interaktion war nicht signifikant, $F < 1$.

Möglicherweise hatte die Bedingung SCHRIFT, in der die Varianten nicht wechselten und für die folglich auch kein Variantenähnlichkeitseffekt vorhergesagt war, bestehende Unterschiede relativiert, so dass sich die Befunde in der Gesamtanalyse nicht statistisch belegen ließen. Um also den Einfluss der VARIANTENÄHNLICHKEIT klarer herauszuarbeiten, wurde eine ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) durchgeführt. Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 23) = 36.618$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .614$. Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war ebenfalls signifikant, $F(1, 23) = 9.947$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .302$. Auch VISUELLE ÄHNLICHKEIT verursachte einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 23) = 4.706$, $p = .041$, $\eta_p^2 = .170$. Wichtig ist, dass die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT marginal signifikant war, $F(1, 23) = 3.166$, $p = .088$, $\eta_p^2 = .121$. Dies rechtfertigte geplante Vergleiche welche zeigten, dass VARIANTENÄHNLICHKEIT nur unter N = 2 von bedeutsamem Einfluss war, $F(1, 23) = 7.135$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .237$;

nicht jedoch unter $N = 1$, $F(1, 23) = 2.445$, $p = .132$, $\eta_p^2 = .096$. Keine weitere Interaktion war signifikant ($N \times$ VARIANTENÄHNLICHKEIT \times VISUELLE ÄHNLICHKEIT, $F(1, 23) = 1.441$, $p = .242$, $\eta_p^2 = .059$; alle anderen F s < 1).

Speed. Auch die mittlere Anzahl an Antworten pro Sekunde sank mit steigendem N (2,16 vs. 1,84 für $N = 1$ bzw. $N = 2$). Es zeigte sich nicht der erwartete Einfluss der Variantenähnlichkeit (DIS 2,00 vs. SIM 2,01). Dies änderte sich nicht mit dem Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (DIS 2,17 vs. SIM 2,15 für $N = 1$ und DIS 1,82 vs. SIM 1,86 für $N = 2$). Die Antworten auf hinsichtlich Schriftart und Variante unterschiedliche Buchstaben erfolgten schneller als auf nur hinsichtlich der Schrift oder nur hinsichtlich der Variante unterschiedliche Paare (SCHRIFT 1,95 vs. VARIANTE 1,98 vs. SCHRIFT+VARIANTE 2,07). Unter $N = 1$ sah es so aus, als wäre nur für variantenähnliche Buchstaben die Unterschiedlichkeit hinsichtlich zweier Merkmale gegenüber nur einem gewinnbringend, nicht aber für variantenverschiedene Buchstaben (DIS 2,20 und 2,22 gegenüber SIM 2,09 und 2,24 in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE). Gänzlich unvorhergesehen war unter $N = 2$ die Antwortgeschwindigkeit für variantenähnliche Buchstaben ausgerechnet in der Bedingung SCHRIFT erhöht, in der sich die zu vergleichenden Buchstaben gar nicht in der Variante unterschieden (DIS 1,90 vs. SIM 1,99 für SCHRIFT gegenüber DIS 2,00 vs. SIM 1,96 und DIS 2,08 vs. SIM 2,06 für VARIANTE bzw. SCHRIFT+VARIANTE). Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-14 graphisch dargestellt.

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 23) = 13.299$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .366$. Ein Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht zu beobachten, $F < 1$. Die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 23) = 3.464$, $p = .076$, $\eta_p^2 = .131$. In geplanten Vergleichen

erwiesen sich die in der Variantenähnlichkeit begründeten Leistungsunterschiede weder unter $N = 1$ als signifikant, $F(1, 23) = 1.116$, $p = .302$, $\eta_p^2 = .046$, noch unter $N = 2$, $F(1, 23) = 1.905$, $p = .181$, $\eta_p^2 = .077$.

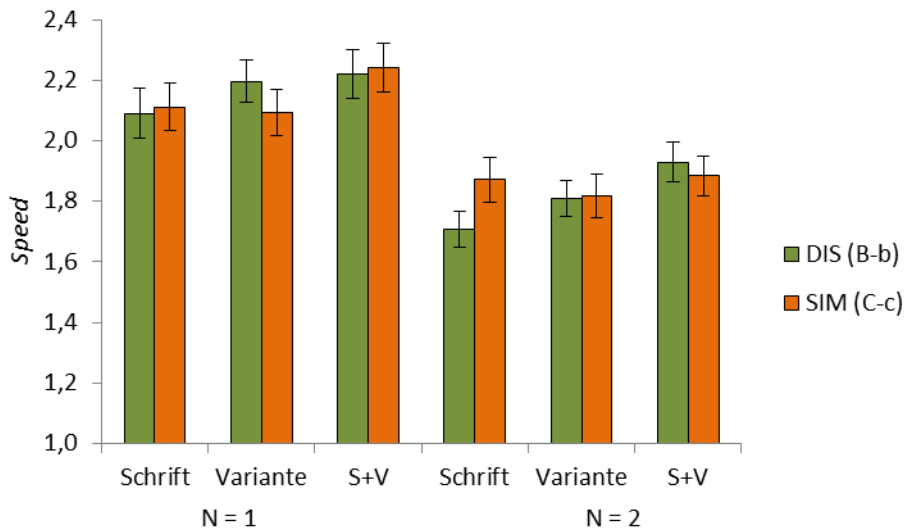


Abbildung 12-14. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).

Der Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 46) = 23.164$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .502$. In geplanten Vergleichen erwies sich der Unterschied zwischen SCHRIFT und VARIANTE als nicht signifikant, $F(1, 23) = 2.570$, $p = .123$, $\eta_p^2 = .101$. Der Unterschied zwischen SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE war signifikant, $F(1, 23) = 41.089$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .641$; ebenso der zwischen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 23) = 32.300$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .584$. Die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 46) = 10.257$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .308$. Geplante Vergleiche offenbarten einen umgekehrten Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung SCHRIFT, $F(1, 23) = 11.854$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .340$, hingegen keinen

Variantenähnlichkeitseffekt in den Bedingungen VARIANTE, $F(1, 23) = 2.527$, $p = .126$, $\eta_p^2 = .099$, und SCHRIFT+VARIANTE, $F < 1$. N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT interagierten nicht, $F < 1$. Auch die Dreifachinteraktion war nicht signifikant, $F(1, 23) = 2.213$, $p = .121$, $\eta_p^2 = .088$.

12.6.5 Diskussion

Die zentralen Hypothesen betrafen den Einfluss von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT. Zum einen sollten variantenähnliche schlechter als variantenverschiedene Buchstaben differenziert werden. Dieser Unterschied sollte auf die Ausprägungen von VISUELLE ÄHNLICHKEIT beschränkt sein, in denen die Variante wechselte. Bezüglich der Antwortgenauigkeit wurden nur für die Bedingung mit $N = 2$ signifikante Ergebnisse erwartet. Zum anderen sollten Buchstaben, die sich nur in der Schriftart unterscheiden, schlechter differenziert werden als solche, die sich in der Variante unterscheiden. Auch hier wurden im Antwortgenauigkeitsmaß nur für $N = 2$ signifikante Unterschiede erwartet.

Die Ergebnisse der Gesamtanalysen widersprachen der Hypothese zur VARIANTENÄHNLICHKEIT: Zum einen fand sich im Genauigkeitsmaß ein Einfluss der Variantenähnlichkeit, der weder durch N noch durch VISUELLE ÄHNLICHKEIT moderiert wurde. Zum anderen war im Geschwindigkeitsmaß kein Einfluss der Variantenähnlichkeit feststellbar. Was die Antwortgenauigkeit betraf, erbrachte eine differenzierte Analyse der Bedingungen, für die ein Variantenähnlichkeitseffekt vorhergesagt war, das erwartete Befundmuster: Im unmittelbaren Vergleich war jeder Buchstabe vollständig verfügbar, so dass auch sehr ähnliche Varianten zuverlässig unterschieden werden konnten. Bei $N = 2$ aber, unter größerer Arbeitsgedächtnisbelastung, wurden variantenverschiedene Buchstaben deutlich besser differenziert als variantenähnliche. Folg-

lich waren im Arbeitsgedächtnis die variantenspezifischen Buchstabengestalten repräsentiert. Wenn ein weiterer Buchstabe interferierte, blieb diese Gestalt zuverlässiger repräsentiert als Information über die Größe des Buchstabens. Dies ist in Einklang mit der Idee, dass invariante Buchstabenmerkmale dem Arbeitsgedächtnis besser zur Verfügung stehen als solche Merkmale, über die man bei der Verarbeitung gewissermaßen hinwegsehen muss.

Im Antwortgeschwindigkeitsmaß waren die erwarteten schnelleren Antworten für variantenverschiedene gegenüber –ähnlichen Buchstaben weder für $N = 1$ noch für $N = 2$ festzustellen. Eine Zusatzanalyse unter Ausschluss der Bedingung SCHRIFT, wie sie für die Antwortgenauigkeit durchgeführt wurde, bestätigte die Befunde der Omnibusanalyse: Die VARIANTENÄHNLICHKEIT übte keinen systematischen Einfluss auf die Antwortgeschwindigkeit aus. Damit scheinen die vorliegenden Daten den Ergebnissen von Posner und Mitchell (1967, Exp. 1; s. S. 91ff) zu widersprechen. Allerdings ist zu bedenken, dass die einzige Bedingung, die mit deren Experiment vergleichbar ist, die Bedingung VARIANTE unter $N = 1$ ist. In einem geplanten Vergleich variantenähnlicher und variantenverschiedener Buchstaben für genau diese Bedingung zeigte sich, dass die Antworten auf variantenverschiedene Buchstaben signifikant schneller erfolgten, $F(1, 23) = 6.567$, $p = 017$, $\eta_p^2 = .222$ (DIS 2,20 vs. SIM 2,09). Demnach waren für den unmittelbaren Vergleich Unterschiede in den Buchstabengestalten als differenzierendes Merkmal besser zu gebrauchen als Unterschiede nur in der Größe. Dies spricht dafür, dass auch ohne anspruchsvolle Behaltensanforderungen invariante Merkmale leichter fokussiert werden können als Merkmale, von denen im Zuge der alltäglichen Buchstabenidentifikation abstrahiert wird.

Warum aber trat ein solcher Variantenähnlichkeitseffekt nicht auch in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE auf? Möglich wäre, dass die Schwierig-

keiten bei der Differenzierung ähnlicher Buchstabenvarianten durch zusätzliche Unterschiede in der Schriftart kompensiert wurden. Möglich wäre auch, dass sich die verfügbaren Unterschiedsmerkmale in ihrer Wirkung auf die Antwortgeschwindigkeit addierten und der Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE nur deshalb nicht erhalten blieb, weil die maximale Antwortgeschwindigkeit bereits ausgereizt war. Hierauf wird in der Diskussion zu Experiment III-2b zurückzukommen sein.

Des Weiteren stellt sich die Frage, warum dieser Effekt auf die Antwortgeschwindigkeit auf die Bedingung mit $N = 1$ beschränkt war. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die *Speed*-Daten in der Bedingung mit $N = 2$ generell nicht vertrauenswürdig erschienen. Hier zeigte sich ein Einfluss der Variantenähnlichkeit ausgerechnet dann, wenn die Buchstaben sich in der Variante überhaupt nicht unterschieden ($DIS < SIM$ in der Bedingung SCHRIFT). Nicht nur, dass es sich um den Einfluss eines nicht präsentierten Unterschiedsmerkmals handelte; seine Wirkrichtung widersprach zudem der Grundannahme, dass größere Ähnlichkeit die Differenzierung erschwert. Möglicherweise waren unter $N = 2$ in der Antwortgeschwindigkeit Störeinflüsse ins Spiel gekommen. Aufmerksamkeitsprozesse, vor allem die konstante Aufwendung höchster Konzentration (z.B. Jaeggi, 2005; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Perrig, 2008), sind für die Bewältigung der *N-Back*-Aufgabe zentral. Ihre Einflüsse könnten die intendierten Varianzen in der Antwortgeschwindigkeit verdeckt haben, als die Aufgabe anspruchsvoller wurde. Wahrscheinlich müsste man wie Jaeggi et al. (2008) die Konzentrationsspanne mit weit mehr als zwei Übungsdurchgängen trainieren, um mit steigender Aufgabenschwierigkeit noch zuverlässige Reaktionszeitdaten zu erhalten. Es wird also darauf verzichtet, über die Ursachen für das Ausbleiben des Variantenähnlichkeitseffekts unter $N = 2$ zu spekulieren.

Die zweite zentrale Hypothese betraf den Unterschied in der Verfügbarkeit von Varianten- verglichen mit Schriftartinformation. Es wurde argumentiert, dass Varianteninformation kritisch ist, um Buchstaben zu identifizieren, während die Schriftart als Oberflächenmerkmal normalerweise wenig Beachtung erfährt. Daher sollte es gemäß des ersten Teils der Hypothese schwieriger sein, Schriftartunterschiede zu erkennen als Unterschiede in der Variante auszumachen. Entsprechend sollte die Differenzierung zweier ausschließlich an der Schriftart unterscheidbarer Buchstaben mehr Zeit benötigen als die Differenzierung zweier in der Variante voneinander abweichender Buchstaben. Da die Bedingungen mit $N = 2$ als nicht interpretierbar gelten müssen, kann diese Hypothese nur noch auf die mit $N = 1$ bezogen werden.

Anders als anzunehmen zeigte sich dort kein bedeutsamer Unterschied in der Antwortgeschwindigkeit zwischen den Bedingungen SCHRIFT und VARIANTE. Aus Abbildung 12-14 (S. 260) ist allerdings ersichtlich, dass dies mit dem Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung VARIANTE zusammenhängt. Um diesen Trend statistisch zu untermauern, wurden weitere geplante Vergleiche gerechnet. Darin zeigte sich zum einen, dass variantenverschiedene Buchstaben in der Bedingung VARIANTE so schnell differenziert wurden wie in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE, $F < 1$ (2,20 vs. 2,22), aber deutlich schneller als in der Bedingung SCHRIFT, $F(1, 23) = 7.471$, $p = .012$, $\eta_p^2 = .245$ (2,20 vs. 2,09). Zum anderen zeigte sich, dass variantenähnliche Buchstaben in der Bedingung VARIANTE so langsam differenziert wurden wie in der Bedingung SCHRIFT, $F < 1$ (2,09 vs. 2,11), aber deutlich langsamer als in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 23) = 17.356$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .430$ (2,09 vs. 2,24). Das heißt, nur wenn die Variantengestalten sich in ihrer Form unterschieden, ging ein Wechsel der Variante mit schnelleren Reaktionen einher als

ein Wechsel der Schriftart. Ein ähnliches Bild - allerdings nur optisch - zeigte sich in den *Correct Rejections* (Abb. 12-13, S. 257). Dies ist ein Hinweis darauf, dass es größere Mühe bereitet, Größenunterschiede zwischen variantenähnlichen Buchstaben zu fokussieren als Unterschiede in den Gestalten. Das ist plausibel, da diese für die Identifikation eines Buchstabens ebenso wenig zentral sind wie die Schriftart.

Der zweite Teil der Hypothese zur Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation lautete, dass erstere weniger effizient aufrechterhalten werden kann, um einen aktuell sichtbaren Buchstaben mit einer Gedächtnisrepräsentation zu vergleichen. Die Verfügbarkeit schriftartbezogener Merkmale sollte durch die Verarbeitung eines weiteren Buchstaben im Retentionsintervall deutlicher beeinträchtigt werden als die Verfügbarkeit variantenbezogener Merkmale. Die dementsprechend erwartete Interaktion von N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT trat im Antwortgenauigkeitsmaß deutlich zutage und wird wegen der zweifelhaften Interpretierbarkeit der *Speed*-Daten unter N = 2 auch nur hinsichtlich der Antwortgenauigkeit diskutiert.

Unter N = 1 waren die Merkmale, welche die Varianten und die Schriftarten gegeneinander abgrenzen, ähnlich zuverlässig verfügbar (SCHRIFT = VARIANTE). Dies ist wichtig, da es zeigt, dass die schriftartbezogenen Unterscheidungsmerkmale im unmittelbaren Vergleich ausreichend verfügbar waren, um zwei Buchstaben zuverlässig zu differenzieren. Das änderte sich unter N = 2 deutlich. Für alle drei Stufen von VISUELLE ÄHNLICHKEIT waren unter N = 2 gegenüber N = 1 Leistungseinbußen zu verzeichnen. Nirgendwo jedoch war der Einbruch so stark ausgeprägt wie in der Bedingung, in der nur die Schriftart zwischen den Buchstaben variierte. Die *Correct Rejections*-Rate sank hier um 23 % gegenüber weniger als 10 % in den Bedingungen, in denen zwei ver-

schiedene Varianten verglichen wurden. Zieht man in Betracht, dass „Nein“ die Standard-Antwort und mit etwa 85-prozentiger Wahrscheinlichkeit korrekt war, müssen sich die Teilnehmer in knapp 30 % aller Fälle mit wechselnder Schrift sicher gewesen sein, dass es sich um identische Buchstaben handelte. Es sei betont, dass dies trotz der ausdrücklichen Instruktion der Fall war, auch die Schriftart im Vergleich der beiden Buchstaben zu berücksichtigen.

Die Repräsentationen der in der Schriftart enthaltenen differenzierenden Merkmale waren also nicht mehr zuverlässig verfügbar, sobald die Verarbeitung eines weiteren Buchstabens jene trennte, die miteinander verglichen werden sollten. Unter derselben Voraussetzung waren die Repräsentationen der Buchstabenvarianten noch relativ gut nutzbar. Es ist interessant, dass die hohe Verfügbarkeit für Varianteninformation auch für solche gilt, die sich nicht in unterschiedlichen Gestalten niederschlägt. Selbst wenn der Hauptunterschied zwischen zwei Buchstaben in ihrer Größe liegt, konnten sie besser gegeneinander abgegrenzt werden, als wenn der Hauptunterschied in der Dicke und Schräglage der Buchstaben liegt. Was bedeutet dies mit Blick auf die dargestellten Befunde zum Einfluss der Varianten- und der visuellen Ähnlichkeit?

Denkbar ist einerseits, dass die abstrakten Buchstabenrepräsentationen, die hinter der besseren Verfügbarkeit von Varianteninformation vermutet werden, nicht einzig die Variantengestalten kodieren. Es wäre möglich, dass weitere Aspekte, die für Buchstabenvarianten spezifisch sind, darin enthalten sind und dazu beitragen, dass auch variantenähnliche Buchstaben recht gut in der spezifischen Variante aufrechterhalten werden können. Solche Aspekte könnten visuell sein, wie etwa die variantenspezifischen Serifen (z.B. hat im Unterschied zum C das c oben eher einen Kringel als eine Serife), oder die Aufteilung des Buchstabens ober- und unterhalb einer Grundlinie (worin sich P und p unter-

scheiden). Solche Aspekte könnten auch in abstraktem Wissen liegen, wie etwa in Assoziationen zu Nomen beziehungsweise zu regelhaft kleingeschriebenen Wörtern. Diese Erklärung wäre mit der Interpretation in Einklang, dass die abstrakten variantenspezifischen Repräsentationen weniger gefährdet sind, durch die Verarbeitung weiterer visueller Stimuli (inklusive Buchstaben) gestört zu werden als die konkreteren schriftspezifischen Repräsentationen.

Denkbar ist andererseits, dass die Teilnehmer den Schwerpunkt ihrer Bemühungen auf die Aufrechterhaltung der Varianteninformation legten und sich diese innerlich vorsagten. Dann wäre in diesem Experiment keine Nutzung visueller Information nachgewiesen. Gegen dieses Argument sprechen die Ergebnisse der Befragung zum strategischen Vorgehen der Teilnehmer, die häufig berichteten, bei $N = 2$ habe das innerliche Vorsprechen nicht mehr funktioniert, so dass sie sich dann ganz auf ihre Intuition verlassen mussten. Weiterhin spricht der wenn auch kleine Variantenähnlichkeitseffekt unter $N = 2$ dagegen, dass das Gedächtnis für Buchstaben in dieser Aufgabe von visuellen Repräsentationen ganz unabhängig war. Es bleibt jedoch ein kritischer Punkt, dass die Einflüsse phonologisch rekodierter Information die beiden Aspekte der Buchstabenerscheinung in unterschiedlicher Weise betreffen könnten.

Zusammenfassend fanden sich in Experiment III-2a Hinweise darauf, dass die visuellen Gestalten genutzt werden, um zu entscheiden, ob zwei Buchstaben oberflächlich identisch sind, und darauf, dass Varianteninformation dabei weniger störanfällig ist als Schriftartinformation. In den Experimenten III-1a und III-1b hatte sich gezeigt, dass Schriftartinformation, wenn ihr Behalten nicht instruiert ist, keinen Einfluss auf die Leistungen hat, sofern keine Nachbilder verfügbar sind. Dieser Hinweis auf die Störbarkeit der Schriftartinformation durch irrelevante visuelle Stimuli ist theoretisch interessant: Es wird an-

genommen, dass Reize, deren Repräsentationen sich stärker ähneln (z.B. mehr Merkmale oder einen größeren Teil des Verarbeitungswegs teilen), einander wechselseitig stärker stören.

Ausgehend von dieser Annahme liefert die Art der Information, welche die Verfügbarkeit bestimmter Buchstabenmerkmale mehr oder minder stört, Aufschluss darüber, wie die Buchstabenrepräsentationen enkodiert und verarbeitet werden. Eine bestimmte Informationsart sollte ein bestimmtes Buchstabenmerkmal umso mehr stören, umso ähnlicher die Repräsentationen dieses Merkmals den Repräsentationen der störenden Information sind. Das heißt, wenn andere Buchstaben mit der Verfügbarkeit eines Buchstabenmerkmals interferieren, wie es im aktuellen Experiment bezüglich der Schriftart der Fall war, dann könnte dieses Merkmal zum Teil auf einer Ebene repräsentiert sein, auf der Buchstaben allgemein, nicht aber spezifische Buchstabenidentitäten repräsentiert sind. Bei dieser Ebene könnte es sich um Repräsentationen handeln, die aktiviert werden, wenn bei der Verarbeitung ein visueller Reiz als Buchstabe identifiziert wird (vgl. Kap. 6.2.2, S. 82f). Wenn ein Stimulus, der kein Buchstabe ist, die Verfügbarkeit eines Merkmals stört, dann dürfte dieses Merkmal zum Teil aufgrund von Repräsentationen aufrechterhalten werden, in denen visuelle Information ganz allgemein kodiert ist.

In Experiment III-1b handelte es sich bei dem störenden Stimulus um ein Doppelkreuz (#), das zwar kein Buchstabe ist, aber doch als Schriftzeichen gelten muss. Ob Schriftartinformation auf für Buchstaben spezifische Weise repräsentiert ist, oder ob allgemeiner visuelle Repräsentationen dazu beitragen, ließe sich anhand solcher Stimuli nicht herausfinden. Vor dem Hintergrund der Fragestellung dieser Dissertation ist zentral, ob es sich bei den hinsichtlich der Schriftart spezifizierten Buchstabenrepräsentationen um schriftspezifische oder

um allgemein visuelle Repräsentationen handelt. Schließlich sollte bildhaftes Material mit schriftspezifischen Repräsentationen weniger gemeinsam haben als mit allgemein (nicht schriftspezifisch) visuellen Repräsentationen. Von Text-Bild-Interferenzen wäre also eher auszugehen, wenn allgemein visuelle Repräsentationen an der Aufrechterhaltung von Buchstabengestalten beteiligt wären. Im folgenden Experiment wird daher als Nachbildmaskierung im Interstimulusintervall ein bedeutungsfreies visuelles Rauschen, ein Pixelbild präsentiert (s. Abb. 12-11b, S. 240).

Wenn dieses Pixelbild die Verfügbarkeit der Schriftartinformation ebenso beeinträchtigt wie ein nachfolgender Buchstabe, dann läge der Schluss nahe, dass Buchstaben nur auf einer sehr frühen Repräsentationsebene hinsichtlich der Schriftart spezifiziert sind. Es handelte sich dann um eine allgemein visuelle Ebene, auf der sicher auch bildhafte Stimuli verarbeitet werden. Wenn hingegen keine oder eine sehr geringe – womöglich mit der Varianteninformation vergleichbare – Störung durch das Pixelbild zu beobachten wäre, dann dürfte der Anteil allgemein visueller Repräsentationen am Behalten der Schriftartinformation eher gering sein. Das würde auch bedeuten, dass sogar die konkreten Buchstabenmerkmale, die rasch verloren gehen und schwer im Arbeitsgedächtnis zu halten sind, nicht „visuell“ im Sinne von „bildhaft“ sind. Anders ausgedrückt wäre auch Information über die konkrete Ausgestaltung einer Buchstabenvariante wahrscheinlich schriftspezifisch. Damit wäre der Anteil an Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis, in denen sowohl Schrift als auch Bilder kodiert sind, vermutlich zu vernachlässigen.

12.7 Experiment III-2b

Das im Folgenden berichtete Experiment dient zum einen der Replikation des vorigen Experiments. Zum anderen aber wird dieses Mal das Interstimu-

lusintervall mit visuellem Rauschen gefüllt. Diese Manipulation dient dazu, retinale Nachbilder beziehungsweise allgemein sensorische Repräsentationen der fraglichen Buchstabenmerkmale auszuschalten. Posner et al. (1969, Exp. 2; vgl. S. 94) haben gezeigt, dass der Vorteil für den Vergleich identischer gegenüber variantenverschiedenen Buchstaben erhalten bleibt, wenn das Nachbild durch einen bedeutungslosen visuellen Reiz maskiert wird. Dies spricht gegen eine visuell-sensorische Grundlage für die Aufrechterhaltung variantenspezifischer Buchstabengestalten. Was die Schriftartinformation anbelangt, gibt es jedoch keine empirische Erfahrung, auf die man zurückgreifen könnte.

12.7.1 Design

Das Design war, abgesehen von der Darbietung des Pixelbildes im Interstimulusintervall, dasselbe wie in Experiment III-2a (vgl. S. 243).

12.7.2 Methode

12.7.2.1 Stichprobe

23 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Alle waren Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme bekamen sie 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro.

12.7.2.2 Material

Es wurde dasselbe Material wie in Experiment III-2a verwendet. Zusätzlich wurde ein Pixelbild erstellt, mit schwarzen Punkten auf hellgrauem Grund – ein bedeutungsloses visuelles Muster (vgl. Abb. 12-11b, S. 240).

12.7.2.3 Ablauf

Das Vorgehen war dasselbe wie für Experiment III-2a beschrieben.

12.7.2.4 Hypothesen

Zentral war erstens die Replikation der Befunde aus Experiment III-2a. Zum einen wurde für den Vergleich zweier in der Variante unterschiedlicher Buchstaben ein Variantenähnlichkeitseffekt in der Antwortgeschwindigkeit für $N = 1$ und in der Antwortgenauigkeit für $N = 2$ erwartet. Zum anderen sollten die an die Schriftart gekoppelten Merkmale verglichen mit den an die Varianten gebundenen Merkmalen unter $N = 1$ langsamer erkannt werden und unter $N = 2$ deutlich schlechter verfügbar sein.

Zentral war zweitens die Frage, ob sensorische Repräsentationen der Verfügbarkeit von Schriftartinformation unter $N = 1$ zugrunde liegen. Dann sollten wegen des Pixelbildes im Retentionsintervall nun auch unter $N = 1$ die Buchstabenpaare, die sich nur hinsichtlich der Schriftart unterscheiden, deutlich weniger gut differenziert werden als die, die sich in der Variante unterscheiden. Möglicherweise sind sensorische Repräsentationen auch für die ganz kurzfristige Aufrechterhaltung der Schriftartinformation nicht von entscheidender Bedeutung. Dann sollte die Nachbildmaskierung keinen gravierenden Einfluss darauf haben, wie mühelos (*Speed*) und zuverlässig (*Correct Rejections*) nur an der Schriftart unterscheidbare Buchstaben differenziert werden können. Für die Bedingungen mit $N = 2$ wird kein Einfluss der Nachbildmaskierung erwartet, der über den störenden Einfluss des im Retentionsintervall präsentierten Buchstabens hinausgeht. Schließlich werden Repräsentationen, die für Interferenzen durch ein Pixelbild anfällig sind, durch einen anderen Buchstaben mindestens ebenso gestört.

12.7.3 Ergebnisse

12.7.3.1 Datenaufbereitung

Die Aufbereitung der Daten erfolgte wie für Experiment III-2a beschrieben. 0,81 % der Durchgänge wurden mit Reaktionszeiten unter 200 ms aus den *Correct Rejections*-Raten ausgeschlossen. 81,81 % der *Correct Rejections* gingen nach Ausschluss der Ausreißer in die *Speed*-Daten ein. Die folgenden Analysen beruhen auf je Proband und Bedingung aggregierten Daten. Als Maß für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der F-Wert ist kleiner als eins. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 12-3 (S. 255) zu entnehmen.

12.7.3.2 Auswertung

Die abhängigen Variablen wurden separat in ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) analysiert. Wieder wurden die z-transformierten Daten beider Maße gemeinsam analysiert. Es zeigte sich, dass die Interpretierbarkeit der im Folgenden berichteten Befunde nicht aufgrund von *Speed-Accuracy Tradeoffs* aufgehoben ist. Die Ergebnisse werden in Anhang E (S. 391ff) berichtet.

Correct Rejections-Rate. Im Anteil korrekt als nicht identisch zurückgewiesener Buchstaben zeigten sich die erwarteten Leistungseinbußen unter N = 2 verglichen mit N = 1 (91,94 % vs. 80,72 % für N = 1 und N = 2). Es war ein Einfluss der Variantenähnlichkeit zu beobachten, mit höheren *Correct Rejections*-Raten für variantenverschiedene gegenüber variantenähnlichen Buchstaben insbesondere unter N = 2 (DIS 87,60 % vs. SIM 85,06 % für N = 1 und DIS 88,37 % vs. SIM 83,16 % für N = 2). Unvorhergesehen war der Vorteil für vari-

antenverschiedene Buchstaben unter $N = 1$ in der Bedingung, in der nur die Schriftart (nicht die Variante) wechselte (DIS 89,13 % vs. SIM 85,77 %). Wie erwartet waren die *Correct Rejections*-Raten in der Bedingung mit ausschließlich wechselnder Schriftart niedriger als in den beiden Bedingungen, in denen die Variante wechselte (SCHRIFT 79,04 % gegenüber VARIANTE 90,29 % und SCHRIFT+VARIANTE 89,66 %). Dieser Unterschied war bereits unter $N = 1$ feststellbar (SCHRIFT 87,45 % vs. VARIANTE 93,48 % und SCHRIFT+VARIANTE 94,89 %). Unter $N = 2$ jedoch war er viel deutlicher ausgeprägt (SCHRIFT 70,63 % vs. VARIANTE 87,10 % und SCHRIFT+VARIANTE 84,42 %). Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-15 graphisch dargestellt.

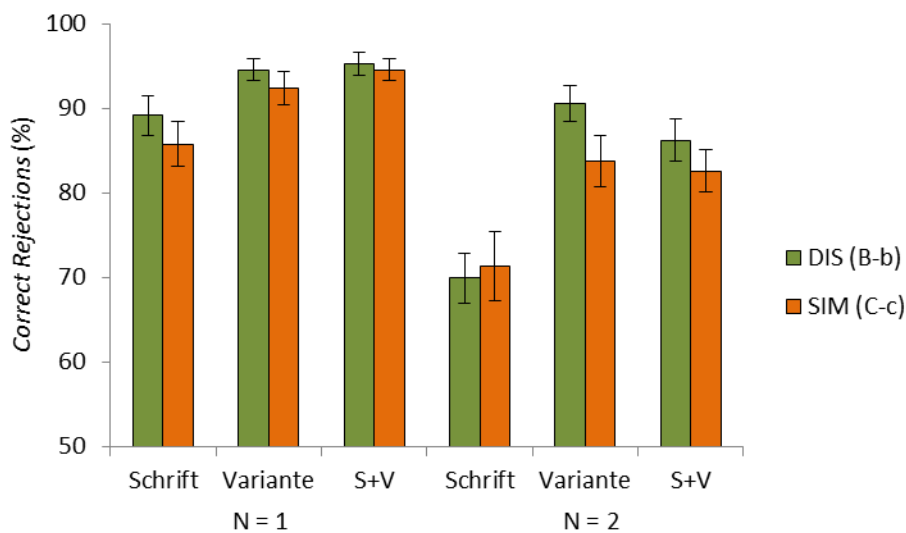


Abbildung 12-15. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).

Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 22) = 42.331$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .658$. Auch der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 22) = 5.176$, $p = .033$, $\eta_p^2 = .190$. Weder war die Interaktion von VARIAN-

TENÄHNLICHKEIT und N signifikant, noch interagierten VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT, beide F s < 1 . Auch die Dreifach-Interaktion war nicht signifikant, $F(2, 44) = 1.433$, $p = .250$, $\eta_p^2 = .061$. Signifikant war jedoch der Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT, $F(2, 44) = 17.775$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .447$. Zudem trat für VISUELLE ÄHNLICHKEIT und N ein signifikanter Interaktionseffekt auf, $F(2, 44) = 5.053$, $p = .011$, $\eta_p^2 = .187$.

Da sowohl das Muster an Unterschieden zwischen den Ausprägungen von VISUELLE ÄHNLICHKEIT über beide Stufen von N als auch das Muster an Unterschieden zwischen den Stufen von N über die Ausprägungen von VISUELLE ÄHNLICHKEIT erhalten blieb, war die Interaktion wohl auf die Variabilität in der Größe der Unterschiede zurückzuführen. Der Abstand zwischen der Bedingung SCHRIFT und den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE war unter $N = 2$ deutlich größer als unter $N = 1$. Für $N = 1$ fand sich in geplanten Vergleichen ein signifikanter Unterschied zwischen SCHRIFT und VARIANTE, $F(1, 22) = 6.579$, $p = .016$, $\eta_p^2 = .235$. Gleiches galt für den Vergleich von SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 22) = 7.258$, $p = .013$, $\eta_p^2 = .248$. Der Unterschied zwischen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE war hingegen nicht signifikant, $F < 1$. Für $N = 2$ war der Unterschied zwischen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE marginal signifikant, mit etwas schlechteren Leistungen für letztere Bedingung, $F(1, 22) = 3.053$, $p = .095$, $\eta_p^2 = .122$. Die Leistungen in der Bedingung SCHRIFT lagen wiederum signifikant unter denen für SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 22) = 15.566$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .414$. Der Unterschied zwischen $N = 1$ und $N = 2$ war für die Bedingung VARIANTE geringer als für die Bedingungen SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE. In geplanten Vergleichen erwies sich der Leistungsabfall zwischen $N = 1$ und $N = 2$ für jede der drei Stufen von VISUELLE ÄHNLICHKEIT als signifikant: Der

Unterschied zwischen $N = 1$ und $N = 2$ war in der Bedingung SCHRIFT signifikant, $F(1, 22) = 30.021$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .577$. Auch in die Bedingung VARIANTE war dieser Unterschied signifikant, $F(1, 22) = 5.953$, $p = .023$, $\eta_p^2 = .213$. In der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE war derselbe Unterschied ebenfalls signifikant, $F(1, 22) = 30.128$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .578$.

Zur genaueren Überprüfung des Einflusses von VARIANTENÄHNLICHKEIT wurde erneut eine zusätzliche ANOVA durchgeführt mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE). Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 22) = 18.132$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .452$. Der Einfluss von VARIANTENÄHNLICHKEIT erwies als signifikant, $F(1, 22) = 7.329$, $p = .013$, $\eta_p^2 = .250$. Die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.692$, $p = .207$, $\eta_p^2 = .071$. Da die numerischen Werte es dennoch nahelegten, wurden geplante Vergleiche für jede Stufe von N durchgeführt. Für $N = 1$ gab es keinen Variantenähnlichkeitseffekt, $F(1, 22) = 1.220$, $p = .281$, $\eta_p^2 = .053$. Für $N = 2$ jedoch trat ein Variantenähnlichkeitseffekt zutage, $F(1, 22) = 4.819$, $p = .039$, $\eta_p^2 = .180$. Es gab keinen signifikanten Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT, $F < 1$. Die Interaktion von N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 22) = 3.181$, $p = .088$, $\eta_p^2 = .126$. Dies ging darauf zurück, dass unter $N = 1$ in der Bedingung VARIANTE unbedeutend schlechtere Leistungen auftraten als in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE ($F < 1$), während sich das Verhältnis unter $N = 2$ umdrehte in einen marginal signifikanten Unterschied zugunsten der Bedingung VARIANTE, $F(1, 22) = 3.035$, $p = .095$, $\eta_p^2 = .122$. Weder die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT noch die Dreifachinteraktion waren signifikant, beide F s < 1 .

Speed. Im Geschwindigkeitsmaß zeigten sich für $N = 1$ etwas schnellere Antworten als für $N = 2$ (2,02 bzw. 1,90). Buchstaben mit geringer Variantenähnlichkeit wurden ein wenig schneller als verschieden identifiziert als variantenähnliche Buchstaben (DIS 1,98 vs. SIM 1,94). Unterschiede hinsichtlich Schriftart und Variante führten zu schnelleren Zurückweisungen als Unterschiede hinsichtlich nur eines Merkmals (SCHRIFT 1,92 vs. VARIANTE 1,95 vs. SCHRIFT+VARIANTE 2,01). Unter $N = 1$ sah es so aus, als wäre für variantenähnliche Buchstaben die Unterschiedlichkeit hinsichtlich zweier Merkmale gegenüber nur einem eher gewinnbringend als für variantenverschiedene Buchstaben (DIS 2,06 und 2,11 gegenüber SIM 1,95 und 2,06 in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE). Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-16 graphisch dargestellt.

Der Haupteffekt für N war marginal signifikant, $F(1, 22) = 3.585$, $p = .072$, $\eta_p^2 = .140$. Auch VARIANTENÄHNLICHKEIT bedingte einen marginal signifikanten Haupteffekt, $F(1, 22) = 3.500$, $p = .075$, $\eta_p^2 = .137$. Die Interaktion von N und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.498$, $p = .234$, $\eta_p^2 = .064$. Auch VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT interagierten nicht, $F(2, 44) = 1.322$, $p = .277$, $\eta_p^2 = .057$. Der Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 44) = 6.947$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .240$. Geplante Vergleiche ergaben, dass die Antworten in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE schneller gelangen als in der Bedingung VARIANTE, $F(1, 22) = 7.172$, $p = .014$, $\eta_p^2 = .246$. Zwischen letzterer und der Bedingung SCHRIFT wiederum waren keine Unterschiede in der Antwortgeschwindigkeit zu verzeichnen, $F(1, 22) = 1.365$, $p = .255$, $\eta_p^2 = .058$. Weder war die Interaktion von N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT signifikant noch die Dreifach-Interaktion, beide F s < 1 .

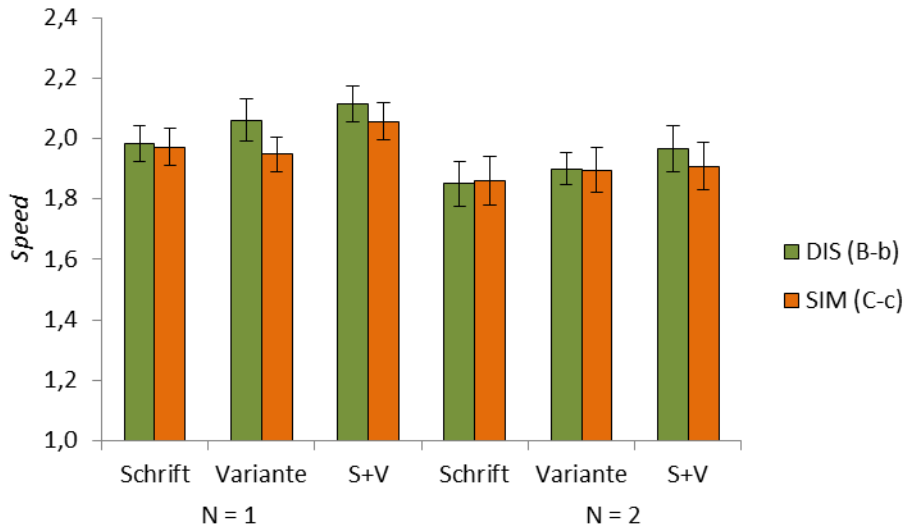


Abbildung 12-16. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Physical Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-2b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand *N* zwischen den beiden Buchstaben sowie nach dem Merkmal, in dem sie sich unterscheiden (Schrift, Variante oder Schrift+Variante [S+V]).

Es stand der Verdacht im Raum, dass die Antwortgeschwindigkeit bei höheren Aufgabenanforderungen kein geeignetes Maß sei, um Einflüsse bestimmter Merkmalsarten zu finden. Unter $N = 2$ schienen hier kaum Unterschiede zwischen den Bedingungen zu bestehen. Dieser Eindruck wurde in einer ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) für die Bedingung $N = 2$ untermauert. VISUELLE ÄHNLICHKEIT verursachte keinen Haupteffekt, $F(2, 44) = 2.349$, $p = .107$, $\eta_p^2 = .096$. Da dieses Ergebnis nur knapp jenseits der Marginalitätsgrenze liegt, wurden Einzelvergleiche gerechnet die zeigten, dass der einzig signifikante Unterschied der zwischen den Bedingungen SCHRIFT und SCHRIFT+VARIANTE ist, $F(1, 22) = 4.410$, $p = .047$, $\eta_p^2 = .167$; alle anderen F s < 1 . Der Einfluss der VARIANTENÄHNLICHKEIT und die Interaktion waren nicht signifikant, beide F s < 1 .

Der Einfluss der VARIANTENÄHNLICHKEIT wurde in einer zusätzlichen ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) nur für $N = 1$ eingehender analysiert. Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 22) = 9.750$, $p = .005$, $\eta_p^2 = .307$. Auch VISUELLE ÄHNLICHKEIT bedingte einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 22) = 7.713$, $p = .011$, $\eta_p^2 = .260$. Die Interaktion beider Faktoren war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.544$, $p = .227$, $\eta_p^2 = .066$.

12.7.4 Diskussion

Im Folgenden werden zunächst die Hypothesen rekapituliert und diskutiert, die bereits in Experiment III-2a geprüft worden waren. Dabei geht es zunächst um den Variantenähnlichkeitseffekt und dann um Unterschiede in der Verfügbarkeit von Schriftart gegenüber Varianteninformation. Anschließend wird der Einfluss der Nachbildmaskierung auf die Verfügbarkeit der Buchstabenmerkmale unter $N = 1$ diskutiert. Da es keine systematische Bindung der experimentell induzierten Varianz in den Daten zur Antwortgeschwindigkeit unter $N = 2$ gab, wurden diese wie bereits in Experiment III-2a von der Interpretation ausgenommen.

Gemäß der Hypothese zum Variantenähnlichkeitseffekt sollten variantenverschiedene Buchstaben unter $N = 1$ schneller und unter $N = 2$ genauer differenziert werden als variantenähnliche Buchstaben, jeweils in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE, da nur dort die Variante wechselte. In der Gesamtanalyse hatten sich die vorhergesagten Interaktionen nicht eingestellt. Anhand zusätzlicher Analysen von Teilmengen der *Correct Rejections* ließen sich die Befunde aus Experiment III-2a schlussendlich replizieren: Die Variantengestalten blieben trotz eines interferierenden Buchstabens im

Arbeitsgedächtnis repräsentiert und konnten genutzt werden, um unterschiedlich geformte Varianten zu differenzieren. Im unmittelbaren Vergleich waren die Buchstaben so vollständig repräsentiert, dass ein Unterschied, der hauptsächlich die Größe der Buchstabengestalten betraf, für eine ähnlich zuverlässige Differenzierung ausreichte.

In den *Speed*-Daten zeigte sich in der Analyse der kritischen Bedingungen wie vorhergesagt ein Variantenähnlichkeitseffekt unter $N = 1$. Variantenverschiedene Buchstaben wurden grundsätzlich schneller differenziert als variantenähnliche Buchstaben. Unabhängig davon wurden Buchstaben, die sich nicht nur in der Variante, sondern auch in der Schriftart unterschieden, schneller korrekt zurückgewiesen als nur in der Variante abweichende Buchstaben. Das bestätigt die Annahme, dass die Unterschiedsmerkmale sich in ihrem förderlichen Einfluss auf die Differenzierungsgeschwindigkeit addierten. Anders als in Experiment III-1a blieb der Variantenähnlichkeitseffekt in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE erhalten. Wahrscheinlich bot nur die in Experiment III-2b insgesamt niedrigere Antwortgeschwindigkeit unter $N = 1$ (2,16 in Exp. III-2a vs. 2,02 in Exp. III-2b) die Möglichkeit, sich noch bedeutsam zu steigern.

Die zweite zentrale Hypothese bezog sich zunächst darauf, dass es unterschiedlich viel Anstrengung kostet, repräsentierte Information zu nutzen, je nachdem, wie bedeutsam sie für gewöhnlich ist. Es sollte länger dauern, auf Unterschiede in der Schriftart, die gewöhnlich ignoriert wird, mit einer korrekten Zurückweisung zu reagieren. Zwei Buchstaben anhand eines üblicherweise kritischen Merkmals wie der Variantengestalt zu differenzieren sollte vergleichsweise weniger Mühe kosten. Nur an der Schriftart unterscheidbare Buchstaben sollten also langsamer differenziert werden als an der Variante unterscheidbare Buchstaben. Da die Antwortgeschwindigkeitsdaten für $N = 2$

nicht interpretiert werden können, wurde im Rahmen der Omnibusanalyse ein geplanter Vergleich der Bedingungen SCHRIFT und VARIANTE nur für $N = 1$ durchgeführt. Dort zeigte sich kein bedeutsamer Unterschied, $F < 1$. Aus Abbildung 12-16 ist allerdings ersichtlich, dass dies mit dem Variantenähnlichkeits-effekt in der Bedingung VARIANTE zusammenhängen könnte. Um diesen Eindruck zu überprüfen, wurden weitere geplante Vergleiche gerechnet. Darin zeigte sich zum einen, dass variantenverschiedene Buchstaben in der Bedingung VARIANTE ähnlich schnell differenziert wurden wie in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 22) = 2.018$, $p = .169$, $\eta_p^2 = .084$ (2,06 vs. 2,11), und auch ähnlich schnell wie in der Bedingung SCHRIFT, $F(1, 22) = 2.657$, $p = .117$, $\eta_p^2 = .108$ (2,06 vs. 1,98). Zum anderen zeigte sich, dass variantenähnliche Buchstaben in der Bedingung VARIANTE so langsam differenziert wurden wie in der Bedingung SCHRIFT, $F < 1$ (1,95 vs. 1,97), aber deutlich langsamer als in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE, $F(1, 22) = 8.154$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .270$ (1,95 vs. 2,06). Auch wenn also das Muster nahelegt, dass unterschiedlich geformte (anders als hochgradig ähnliche) Variantengestalten schneller differenziert wurden als nur in der Schriftart abweichende Buchstaben, zeigte sich ein solcher Unterschied statistisch nicht.

Weiterhin besagte die zweite zentrale Hypothese, dass die Aufrechterhaltung je nachdem, wie routiniert eine Informationsart genutzt wird, unterschiedlich gut gelingen sollte, wenn ein weiterer Buchstabe im Retentionsintervall aufgenommen werden muss. Für die Bedingung, in der sich die beiden Buchstaben nur in der Schriftart unterschieden, sollten im Maß der Antwortgenauigkeit unter $N = 2$ deutliche Leistungseinbußen zu verzeichnen sein. In Übereinstimmung damit war eine Interaktion der Faktoren N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT festzustellen. Diese lag darin begründet, dass der Rückgang an *Correct*

Rejections für die Bedingung, in der nur die Schriftart zwischen den Buchstaben variierte, viel drastischer war als in den Bedingungen mit Variantenwechsel. Die *Correct Rejections*-Rate sank in der Bedingung SCHRIFT um knapp 17 % gegenüber etwa 8 % in den Bedingungen, in denen zwei verschiedene Varianten verglichen wurden. Damit bestätigte sich erneut die Hypothese, dass hinsichtlich der Schriftart spezifizierte Buchstabenrepräsentationen durch die Verarbeitung eines anderen Buchstabens schwerwiegender gestört werden als Repräsentationen der Variantengestalten.

Zusammenfassend ließen sich die Befunde zu den Einflüssen von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLER ÄHNLICHKEIT aus Experiment III-2a weitgehend bestätigen. Im unmittelbaren Vergleich zweier Buchstaben ließ sich – wenn auch nicht immer auch statistisch – beobachten, dass oberflächliche Ähnlichkeit hinsichtlich Schriftart und Variantengestalt die Differenzierung verzögert. Unterschiede in der Größe oder in der Schriftart sind nicht so einfach zu erkennen wie Unterschiede in beiden Merkmalen oder in der Buchstabenform. Die besseren Differenzierungsleistungen für variantenverschiedene Buchstaben, der primär bei $N = 2$ auftrat, verweisen auf die Verfügbarkeit der variantenspezifischen Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis. Der Einbruch in den Differenzierungsleistungen von ausschließlich in der Schriftart abweichenden Buchstaben unter $N = 2$ zeigte, dass die schriftartspezifischen Repräsentationen der Buchstaben deutlich anfälliger für Interferenzen sind als die variantenspezifischen Repräsentationen. So verhielt es sich selbst dann, wenn die Variantengestalten sich nicht in der Form unterschieden.

Nun folgt die Diskussion der neuen Hypothese zur Auswirkung des Pixelbildes auf die Verfügbarkeit von Buchstabenmerkmalen unter $N = 1$. Es war von besonderem Interesse, ob die Bedingung mit ausschließlich wechselnder

Schriftart dadurch stärker betroffen wäre als die Bedingungen mit wechselnder Variante. Genau dies belegten die Analysen des Antwortgenauigkeitsmaßes: Bereits im unmittelbaren Vergleich waren die Leistungen in der Bedingung SCHRIFT schwächer als in den anderen beiden Bedingungen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Repräsentationen der Schriftart durch völlig bedeutungslose visuelle Stimuli an Klarheit verlieren. Das hieße, dass die Repräsentationen, welche die Schriftartinformation beinhalten, mehr mit den Repräsentationen unspezifischer (präkategorialer) visueller Information gemeinsam haben als die Repräsentationen, welche die Varianteninformation beinhalten. Nur eine gemeinsame Analyse der Experimente mit und ohne Nachbildmaskierung konnte jedoch Aufschluss über die durch das Pixelbild verursachten Störungen der Buchstabenrepräsentationen bringen. Für jede abhängige Variable wurde daher eine ANOVA mit den Messwiederholungsfaktoren VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) und dem Zwischensubjekt-Faktor MASKIERUNG (LEER, MASKE) für die Bedingung mit $N = 1$ der Experimente III-2a und III-2b durchgeführt. Diese werden im Folgenden berichtet.

In den Antwortgenauigkeitsdaten verursachte MASKIERUNG einen signifikanten Haupteffekt, mit besseren Leistungen in dem Experiment mit leerem Interstimulusintervall, $F(1, 45) = 11.762$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .207$ (LEER 95,76 % vs. MASKE 91,94 %). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(1, 45) = 4.993$, $p = .030$, $\eta_p^2 = .100$ (DIS 94,59 % vs. SIM 93,11 %). Dieser wurde weder durch MASKIERUNG noch durch VISUELLE ÄHNLICHKEIT moderiert, beide F s < 1 . Der Haupteffekt für VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 90) = 10.677$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .192$ (SCHRIFT 90,65 % vs. VARIANTE 94,40 % vs. SCHRIFT+VARIANTE 96,51 %). Die Interaktion von VISU-

ELLE ÄHNLICHKEIT und MASKIERUNG war nicht signifikant, $F(2, 90) = 1.653$, $p = .197$, $\eta_p^2 = .035$. Die Dreifachinteraktion war nicht signifikant, $F < 1$.

Angesichts der Tatsache, dass im Experiment ohne Nachbildmaskierung der Unterschied in den *Correct Rejections*-Raten zwischen den Bedingungen SCHRIFT und VARIANTE nicht bedeutsam war, im Experiment mit Nachbildmaskierung hingegen durchaus war es erstaunlich, dass MASKIERUNG und VISUELLE ÄHNLICHKEIT in der gemeinsamen Analyse nicht interagierten. Numerisch ist der Trend erkennbar, dass die Bedingung SCHRIFT durch die Nachbildmaskierung stärker betroffen ist als die anderen beiden Bedingungen. Allerdings ist hier auch die Streuung besonders groß, so dass die Varianzen ähnlich starke Überschneidungen haben wie in den anderen beiden Bedingungen. Geplante Vergleiche zeigten, dass der Effekt der Nachbildmaskierung für die Bedingung SCHRIFT+VARIANTE ebenso stark war wie in der Bedingung SCHRIFT. Im Einzelnen ergab sich für den Vergleich der Experimente mit und ohne Nachbildmaskierung in der Bedingung SCHRIFT ein signifikanter Effekt, $F(1, 45) = 6.117$, $p = .017$, $\eta_p^2 = .120$ (LEER 93,84 % vs. MASKE 87,45 %). In der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE verhielt es sich ebenso, $F(1, 45) = 6.061$, $p = .018$, $\eta_p^2 = .119$ (LEER 98,13 % vs. MASKE 94,89 %). In der Bedingung VARIANTE hingegen war der Vergleich nicht signifikant, $F(1, 45) = 1.757$, $p = .192$, $\eta_p^2 = .038$ (LEER 95,31 % vs. MASKE 93,48 %).

Dieses Muster ist in Abbildung 12-17 dargestellt. Es kann plausibel erklärt werden, wenn man voraussetzt, dass in der Bedingung SCHRIFT+VARIANTE beide Unterschiedsmerkmale zur Differenzierbarkeit der Buchstaben beitragen. Darauf hatten in Experiment III-2a die Ergebnisse in Antwortgenauigkeit und –Geschwindigkeit hingedeutet, und auch in Experiment III-2b wurden von allen Buchstaben, die korrekt als unterschiedlich klassifiziert worden

waren, diejenigen besonders schnell zurückgewiesen, die in Schrift und Variante voneinander abwichen. Es wäre also denkbar, dass die Minderung der Verfügbarkeit von schriftartbezogenen Merkmalen durch das Pixelbild nicht nur die Bedingung betraf, in welcher der einzige Unterschied in der Schriftart lag, sondern auch diejenige, in welcher Unterschiede in der Schriftart zu Unterschieden in der Variante hinzukamen. Die repräsentierten Variantenmerkmale blieben relativ gut erhalten, doch die Schriftartmerkmale, welche als ergänzende Unterschiede besonders hohe Differenzierungsraten ermöglichten, wurden durch die Nachbildmaskierung in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt.

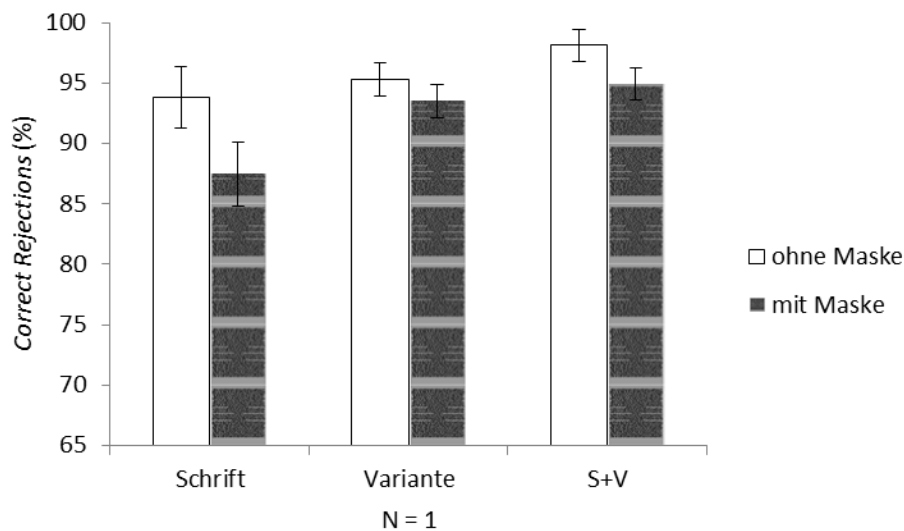


Abbildung 12-17. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*) in Abhängigkeit von dem Aspekt, in dem sich die beiden unterschieden (Schrift, Variante oder Schrift + Variante [S+V]), für die Bedingungen unter $N = 1$. Die Daten des Experiments ohne Nachbildmaskierung (Exp. III-2a; ohne Maske) sind in weiß dargestellt, die des Experiments mit Nachbildmaskierung (Exp. III-2b; mit Maske) farblich an die Maske angelehnt.

Aufgrund dessen lässt sich spekulieren, dass sich die Aufrechterhaltung der Schriftartmerkmale zu einem größeren Anteil auf solche Repräsentationen verlässt, die auch neuartige bildhafte Reize kodieren, als die Aufrechterhaltung der Varianteninformation. Anders ausgedrückt wären Repräsentationen der

Schriftartmerkmale mehr als die der Buchstabenvarianten von Strukturen abhängig, die bei der visuellen Verarbeitung grundsätzlich beteiligt sind, also unabhängig von der Art beziehungsweise Kategorie visueller Information. Dabei müsste es sich um Strukturen handeln, die bei der Verarbeitung schon vor dem inferotemporalen Areal aktiviert werden, das auf Buchstaben spezialisiert ist. Entsprechende Hinweise könnten sich auch in den *Speed*-Daten zeigen, da auch so frühe Repräsentationen fokussiert und im Arbeitsgedächtnis genutzt werden können – schließlich fanden sich nur graduelle Unterschiede; selbst unter den schwierigsten Voraussetzungen waren die Antworten überzufällig häufig korrekt. Möglicherweise ließen sich innerhalb der korrekten Antworten Unterschiede im Zeitaufwand nachweisen, der jeweils nötig ist, um auf die Repräsentationen der verschiedenen Merkmale zurückzugreifen. Dem war jedoch nicht so. In den *Speed*-Daten fand sich kein bedeutsamer Einfluss von MASKIERUNG, $F(1, 45) = 2.11$, $p = .153$, $\eta_p^2 = .045$ (LEER 2,16 vs. MASKE 2,02). VARIANTENÄHNLICHKEIT interagiert nicht mit MASKIERUNG, $F(1, 45) = 1.904$, $p = .174$, $\eta_p^2 = .041$. Weder die Interaktion von MASKIERUNG und VISUELLE ÄHNLICHKEIT noch die Dreifachinteraktion war signifikant, beide F s < 1 .

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Schriftartinformation stärker durch nicht-verbale visuelle Information gestört wird als Varianteninformation. Diese Repräsentationen könnten an Schrift-Bild-Interferenzen beteiligt sein. Da sie jedoch rasch zerfallen, dürfte ihr Einfluss auch diesbezüglich nicht schwer wiegen. Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über die Daten beider Experimente zum Variantenähnlichkeitseffekt (Abb. 12-18) und zur Verfügbarkeit von Schriftart- und Varianteninformation (Abb. 12-19). Daraus ist ersichtlich, dass die Befunde recht konsistent sind. Das Muster der inferenzstatistischen Ergebnisse wirkt demgegenüber chaotisch, woran die Wechselwir-

kungen von VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT einen großen Anteil haben. Als praktisches Fazit muss zum Abschluss dieser Studie festgehalten werden, dass wahrscheinlich klarere und besser greifbare Ergebnisse hätten erzielt werden können, wenn Teilfragestellungen in separaten Experimenten geprüft worden wären.

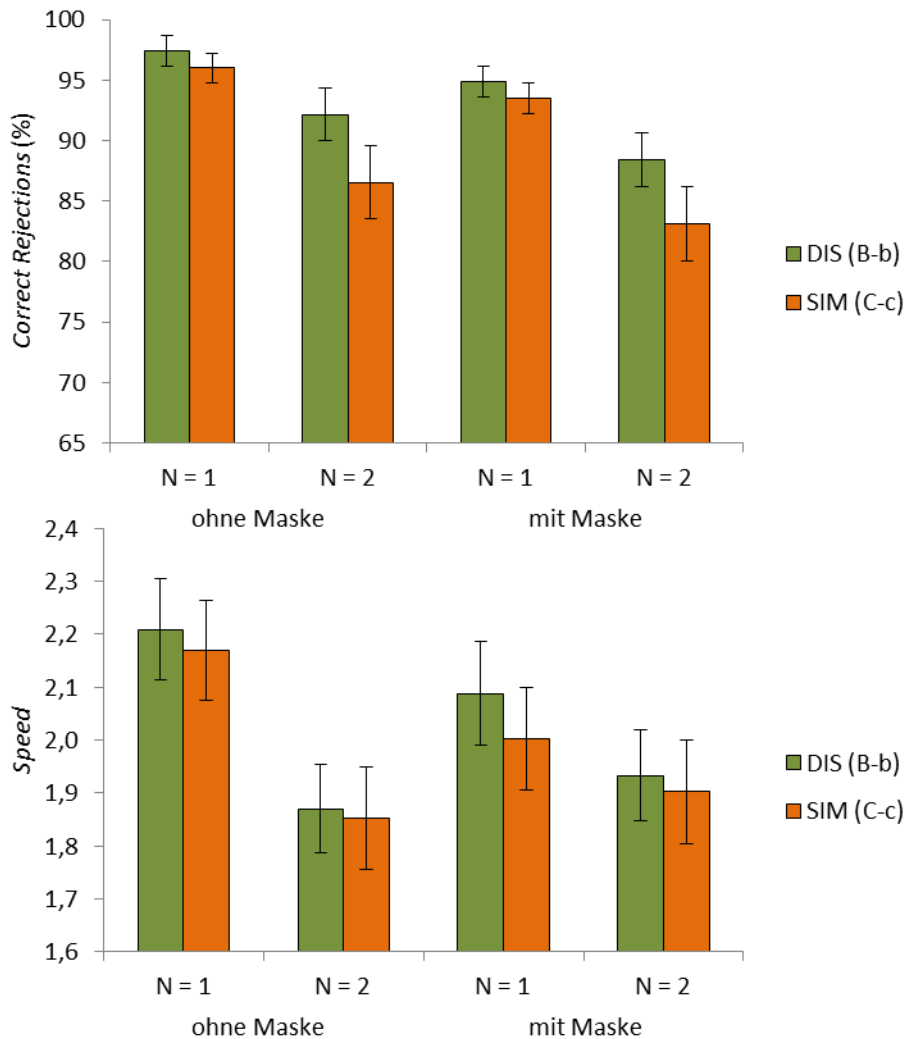


Abbildung 12-18. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*; oben) sowie Antwortgeschwindigkeit (*Speed*; unten) im Vergleich zweier variantenunähnlicher (DIS) bzw. variantenähnlicher (SIM) Buchstaben für die Bedingungen mit Variantenwechsel (VARIANTE & SCHRIFT+VARIANTE) zusammengefasst, aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie nach Experiment (Exp. III-2a: ohne Maske und Exp. III-2b: mit Maske).

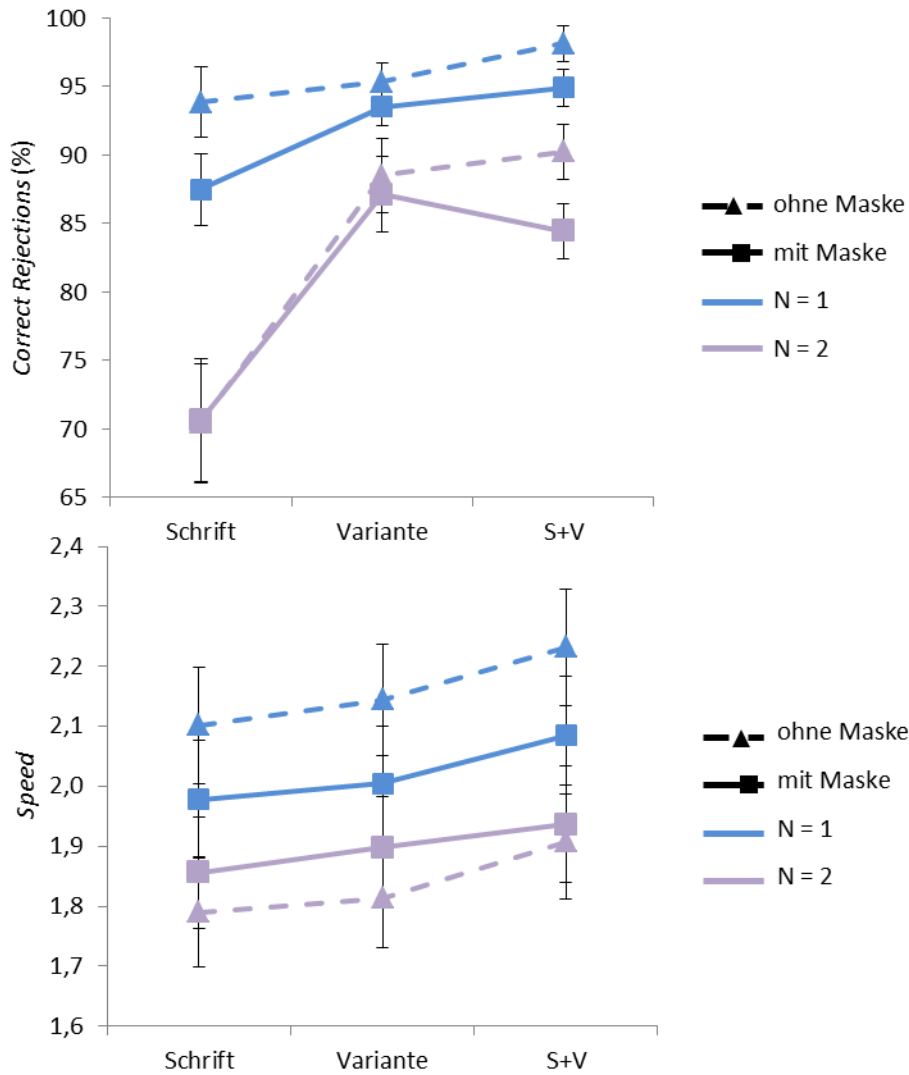


Abbildung 12-19. Anteil korrekter Antworten (*Correct Rejections*; oben) sowie Antwortgeschwindigkeit (*Speed*; unten) in Abhängigkeit von dem Aspekt, in dem sich die beiden unterschieden (Schrift, Variante oder Schrift + Variante [S+V]). Die Daten des Experiments ohne Nachbildmaskierung (Exp. III-2a) sind in gestrichelten Linien abgetragen, die des Experiments mit Nachbildmaskierung (Exp. III-2b) in durchgezogenen Linien. Die Bedingungen mit N = 1 sind in Blau gehalten, in Lila die Bedingungen mit N = 2.

12.8 Experiment III-3a

Ein kritischer Punkt aller Experimente dieser Arbeit liegt darin, dass Interferenzen von Texten und Bildern im visuellen Arbeitsgedächtnis das Lernen allgemein erschweren sollen, nicht nur unter künstlichen Bedingungen. Bislang wurde ein Beitrag des visuellen Arbeitsgedächtnisses, sprich Repräsentationen visueller Merkmale sprachlichen Materials, nur unter Voraussetzungen belegt, die das Lernen im Allgemeinen nicht betreffen: Der Variantenähnlichkeitseffekt war in methodisch verbesserten Experimenten mit dem Listenwiedergabe-Paradigma nur bei artikulatorischer Unterdrückung zu beobachten. Mit dem *N-Back*-Paradigma wurde gezeigt, dass unterschiedliche visuelle Merkmale aufrechterhalten werden können, wenn die Aufgabe genau darin besteht. Damit man beim alltäglichen Lernen mit Texten und Bildern Interferenzen zu erwarten hat, müssten die fraglichen Merkmale grundsätzlich repräsentiert werden.

Da Schriftartinformation eher Variantengestalten visuell im Sinne von bildhaft sind, wäre die generelle Verfügbarkeit dieser Merkmale ein besonders starker Hinweis auf solche Interferenzen. Bislang stand im Vordergrund, dass die Repräsentationen der Schriftart nur kurz nutzbar und störanfällig sind. Doch immerhin erwies sich die Schriftart als kurzfristig repräsentiert. Auch wenn diese Repräsentationen nur für eine halbe Sekunde verfügbar sind, wäre es möglich, dass sie mit der Verarbeitung von Bildern interferieren. Die folgenden Experimente sollten prüfen, ob visuelle Buchstabenmerkmale auch unwillkürlich, ohne dahingehende Instruktion repräsentiert sind. Da die Daten nicht interpretierbar waren, bietet der folgende Bericht jedoch keine Antwort.

12.8.1 Design

Es wurde ein vierfaktorielles Design realisiert mit den Faktoren VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM), Abstand zwischen den zu vergleichenden

Buchstaben, N (1, 2), schriftartbezogene Ähnlichkeit zwischen den zu vergleichenden Buchstaben, FONT (gleiche Schriftart UNI, verschiedene Schriftarten MIXED), und dem Verhältnis der beiden zu vergleichenden Varianten zueinander, CASE (gleiche Variante =, verschiedene Varianten \neq). Alle Faktoren wurden innerhalb von Probanden, VARIANTENÄHNLICHKEIT auch innerhalb der *Items* variiert. N wurde zwischen, alle anderen Variablen innerhalb von Experimentalblöcken variiert. Die Stufen von N folgten mit steigender Schwierigkeit aufeinander. Als abhängige Variablen dienten Antwortgenauigkeit und Antwortgeschwindigkeit. Alle Faktoren gingen auch in die Varianzanalyse ein.

12.8.2 Methode

12.8.2.1 Stichprobe

24 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Alle waren Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem anderen Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme bekamen sie 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro.

12.8.2.2 Material

Das Material war dasselbe wie in Experiment III-2a. Die beiden Experimente unterscheiden sich ausschließlich in der Aufgabenstellung. Dieses Mal wurde die *Name Match*-Version des Posner-Paradigmas in eine *N-Back*-Aufgabe überführt. Die Instruktion (in Anhang C6, S. 382f nachzulesen) bestand darin zu entscheiden, ob zwei Buchstaben denselben Namen hätten oder nicht. Positive und negative Antworten waren gleich häufig, letztere allerdings waren auf

Buchstaben mit unterschiedlichen Namen bezogen. Diese Durchgänge waren nicht von Interesse, da die visuellen Unterschiede darin nicht zur Geltung kommen dürften. Die korrekte Antwort auf kritische *Items* war immer „Ja“. So konnten alle kritischen *Items* in die Analyse einbezogen werden.

12.8.2.3 Ablauf

Das Vorgehen war abgesehen von der Instruktion dasselbe wie für Experiment III-2a beschrieben. Abbildung 12-20 stellt den Ablauf exemplarisch dar.

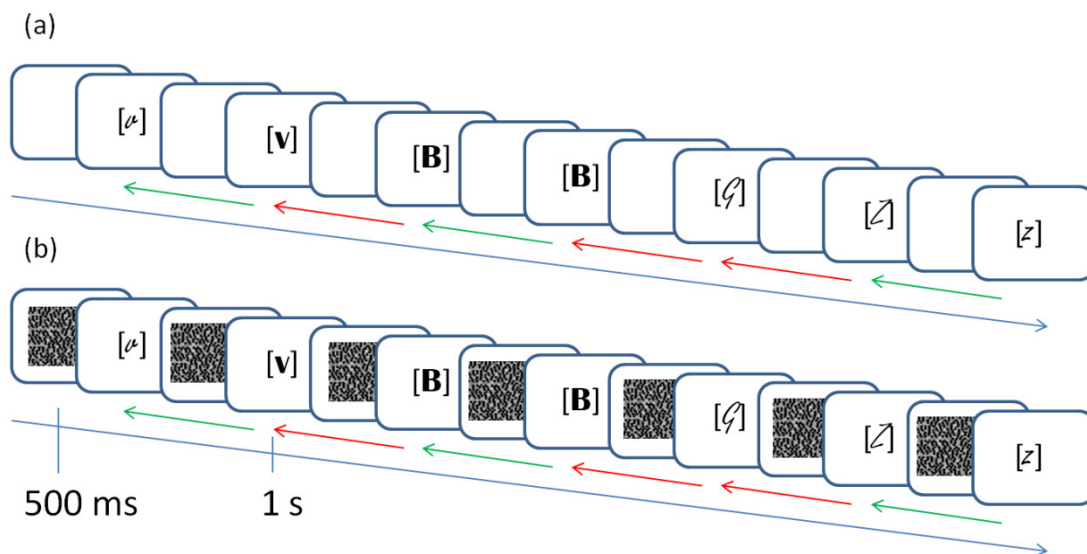


Abbildung 12-20. Beispielhafter Ausschnitt aus einem Durchgang mit $N = 1$ in Experiment III-3a (ohne Nachbildmaskierung; oben) und Experiment III-3b (mit Nachbildmaskierung; unten). Dargestellt sind eine Folge von Bildschirmhalten entlang dem Zeitstrahl sowie die richtigen Antworten in Form von grünen („Ja“) und roten („Nein“) Pfeilen.

12.8.2.4 Hypothesen

Die Aufgabenstellung lenkt den Fokus auf die Merkmale, die zwei Buchstaben, gegebenenfalls trotz oberflächlicher Unterschiede, gemeinsam haben. Oberflächliche Unterschiede lenken von den Gemeinsamkeiten ab, sofern sie repräsentiert sind. Grundsätzlich sollten zwei Buchstaben daher genauer und schneller als „gleich“ erkannt werden, wenn sie sich auch oberflächlich ähneln.

Die Hypothesen bezogen sich auf die Einflüsse der VARIANTENÄHNLICHKEIT in Wechselwirkung mit CASE sowie auf die Einflüsse der Schriftartmanipulation FONT im Vergleich mit den erstgenannten.

Der Variantenähnlichkeitseffekt sollte sich in einer Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE zeigen. Nur bei variantenverschiedenen Buchstaben gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Varianten, daher sollte der Effekt eines Variantenwechsels hier deutlich ausgeprägter sein als bei variantenähnlichen Buchstaben ($CASE \neq > CASE =$ für DIS, aber nicht für SIM). Da die Antwortgeschwindigkeit derartige Varianz auch schon bei geringer Arbeitsgedächtnisbelastung (also auch unter $N = 1$) abbilden sollte, wurde diese Interaktion über beide Stufen von N hinweg erwartet. In der Antwortgenauigkeit sollten sich die Unterschiede zwischen den Bedingungen erst unter $N = 2$ zeigen, da im unmittelbaren Vergleich Fehler insgesamt zu selten sein dürften.

Auch hinsichtlich der Schriftartmerkmale sollte größere Ähnlichkeit es erleichtern, zwei Buchstaben als „gleich“ zu klassifizieren. Sofern die Schriftartmerkmale repräsentiert sind, sollten richtige Antworten in der Bedingung FONT UNI daher häufiger und schneller gelingen als in der Bedingung FONT MIXED. Überträgt man die bisherigen Befunde zum Einfluss der Schriftartübereinstimmung auf diese Variante der *Letter Matching*-Aufgabe, dann sind Einflüsse von FONT hauptsächlich für $N = 1$ zu erwarten. Da die schriftartbezogenen Merkmale bei der Aufnahme eher ignoriert werden als Unterschiede in den Variantengestalten war vorhergesagt, dass die Einflüsse selbst dann vergleichsweise schwächer ausgeprägt sein sollten als der Effekt der VARIANTENÄHNLICHKEIT in der Bedingung $CASE \neq$. Insofern die Schriftartmerkmale unter $N = 2$ verfügbar sind, sollte auch dort ein Einfluss von FONT auftreten. Da die Repräsentationen der Schriftart durch einen nachfolgenden Buchstaben

deutlicher gestört werden als Repräsentationen der Varianteninformation, sollte er wiederum merklich geringer sein als der beschriebene Variantenähnlichkeitseffekt. Statistisch soll eine Interaktion von N und FONT nachweisbar sein.

Außerdem sind Wechselwirkungen von VARIANTENÄHNLICHKEIT, CASE und FONT unter $N = 1$ denkbar: Einerseits könnten Unterschiede zwischen verschiedenen Varianten unabhängig von der Variantenähnlichkeit durch eine Änderung der Schriftart vergrößert werden (d.h. unterschiedliche Schriftarten könnten die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE aufheben). Andererseits könnten Unterschiede aufgrund von Variantenmerkmalen die vergleichsweise schwächeren Einflüsse der Schriftartvariation überdecken, so dass verfügbare Schriftartinformation nur bei Paaren gleicher Variante oder bei variantenähnlichen Buchstaben nachweisbar sein könnte (d.h. in der Bedingung $DIS\ CASE \neq$ würde auch unter $N = 1$ kein FONT-Effekt auftreten).

12.8.3 Ergebnisse

12.8.3.1 Datenaufbereitung

Die Antwortgenauigkeit bezog sich dieses Mal nur auf *Hits* (d.h. auf die korrekt akzeptierenden Antworten) und wird daher als *Hit-Rate* bezeichnet. Es wird der prozentuale Anteil der *Hits* an den maximal möglichen berichtet. Die erste Antwort bei $N = 1$ und die ersten beiden Antworten jedes Durchgangs bei $N = 2$ waren grundsätzlich falsch und wurden daher von der Grundgesamtheit abgezogen. Wie auf Seite 218f eingeführt, wurden auch hier die *Speed*-Daten zunächst von falschen Antworten und von Latenzen unter 200 Millisekunden bereinigt. Letztere *Trials* (0,12 %) gingen nicht in die *Hit*-Raten ein. In das *Speed*-Maß gingen noch 83,96 % aller richtigen Antworten ein. Die folgenden Analysen beruhen auf je Proband und Bedingung aggregierten Daten. Als Maß

für die Stärke der beobachteten Effekte wird η_p^2 (partielles Eta Quadrat) angegeben, es sei denn, der F-Wert ist kleiner als eins. Mittelwerte und Standardabweichungen sind Tabelle 12-4 zu entnehmen.

Tabelle 12-4. Mittelwerte (und Standardabweichungen) von Antwortgenauigkeit (% Hits) und Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) aus den Exp. III-3a und III-3b, aufgeschlüsselt nach N (1 – 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B - b/SIM, z.B. C - c), CASE (=, z.B. B - B/≠, z.B. b - B) und FONT (UNI, z.B. **C** - **c**/MIXED, z.B. *ℓ* - **C**).

Exp.				% Hits		Speed	
	CS	CASE	FONT	N = 1	N = 2	N = 1	N = 2
III-3a	DIS	=	UNI	84,72 (1,99)	83,81 (2,72)	1,95 (0,06)	1,75 (0,07)
		=	MIXED	91,67 (1,74)	80,43 (3,00)	2,03 (0,06)	1,78 (0,06)
		≠	UNI	96,53 (0,99)	85,29 (2,31)	2,11 (0,05)	1,89 (0,07)
		≠	MIXED	92,64 (1,58)	82,64 (2,35)	2,11 (0,07)	1,77 (0,06)
	SIM	=	UNI	90,59 (1,76)	84,94 (2,34)	1,99 (0,06)	1,76 (0,05)
		=	MIXED	93,66 (1,64)	85,83 (2,48)	2,02 (0,05)	1,97 (0,08)
		≠	UNI	96,53 (0,99)	85,76 (2,86)	2,07 (0,06)	1,87 (0,08)
		≠	MIXED	90,28 (2,39)	80,42 (2,92)	2,04 (0,06)	1,73 (0,07)
III-3b	DIS	=	UNI	90,58 (2,42)	86,17 (2,20)	1,76 (0,07)	1,72 (0,06)
		=	MIXED	93,48 (1,38)	81,03 (3,02)	1,85 (0,08)	1,77 (0,07)
		≠	UNI	93,48 (1,73)	79,84 (3,61)	1,90 (0,08)	1,79 (0,07)
		≠	MIXED	90,87 (1,98)	79,71 (2,27)	1,90 (0,07)	1,73 (0,06)
	SIM	=	UNI	87,75 (2,53)	81,42 (2,83)	1,81 (0,08)	1,74 (0,06)
		=	MIXED	88,14 (2,25)	83,91 (3,00)	1,80 (0,08)	1,70 (0,07)
		≠	UNI	94,20 (1,69)	80,07 (3,69)	1,89 (0,08)	1,75 (0,07)
		≠	MIXED	90,94 (1,65)	80,87 (3,01)	1,86 (0,08)	1,73 (0,06)

12.8.3.2 Auswertung

Die abhängigen Variablen wurden separat in ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM), CASE (=, ≠) und FONT (UNI, MIXED) analysiert. Da die Daten ohnehin nicht interpretierbar waren, wurde keine *Speed-Accuracy Tradeoff*-Analyse durchgeführt.

Hit-Rate. Abbildung 12-21 zeigt das gesamte Befundmuster. Es traten einige bedeutsame Unterschiede zwischen den Bedingungen auf, die hinsichtlich der Hypothesen zum Variantenähnlichkeitseffekt oder zur Verfügbarkeit von Varianten gegenüber Schriftartinformation relevant erschienen. Weitere systematische Varianzbindungen waren festzustellen, die nicht unmittelbar den Hypothesen zugeordnet werden können. Von einer genauen Beschreibung der Effekte wird abgesehen, da ein grundlegendes Problem mit der Richtung der Unterschiede vorlag: Oberflächlich identische Buchstaben (also die Bedingung CASE =/FONT UNI) gingen unter N = 1 mit geringeren *Hit*-Raten einher als die Bedingungen mit oberflächlichen Unterschieden. Ein solcher Unterschied bestand unter N = 2 zwar nicht, aber der eigentlich vorausgesetzte Vorteil für oberflächliche Identität trat auch hier nicht auf.

Nur der Vollständigkeit halber werden die inferenzstatistischen Ergebnisse im Folgenden berichtet. Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 23) = 45.764$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .666$ (92,08 % für N = 1 vs. 83,64 % für N = 2). Der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT erreichte das Signifikanzniveau nicht, $F(1, 23) = 2.413$, $p = .134$, $\eta_p^2 = .095$ (DIS 87,22 % vs. SIM 88,50 %). Gleiches galt für FONT, $F(1, 23) = 2.227$, $p = .149$, $\eta_p^2 = .088$ (FONT UNI 88,52 % vs. MIXED 87,19 %). CASE verursachte einen marginal signifikanten Haupteffekt, $F(1, 23) = 3.137$, $p = .090$, $\eta_p^2 = .120$ (CASE = 86,96 % vs. ≠ 88,76 %).

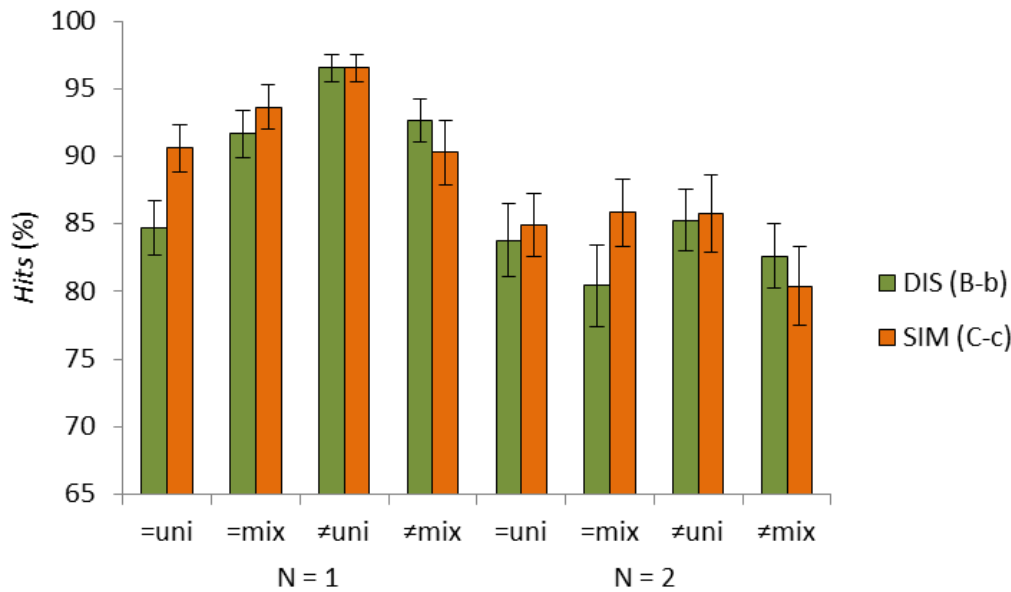


Abbildung 12-21. Anteil korrekter Antworten (*Hits*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe in Exp. III-3a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand *N* zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).

Die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE war marginal signifikant, $F(1, 23) = 3.018$, $p = .097$, $\eta_p^2 = .116$, und wurde nicht durch *N* moderiert, $F < 1$. Geplante Vergleiche belegten, dass nur für DIS-Buchstaben bei einheitlicher Variante weniger *Hits* gelangen als bei wechselnder Variante, $F(1, 23) = 8.496$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .270$ (DIS CASE = 85,16 % vs. \neq 89,27 %). Für SIM-Buchstaben bestand kein Unterschied zwischen Paaren gleicher und unterschiedlicher Varianten, $F < 1$ (SIM CASE = 88,76 % vs. \neq 88,25 %).

Die Interaktion von *N* und FONT war marginal signifikant, $F(1, 23) = 2.990$, $p = .097$, $\eta_p^2 = .115$. Geplante Vergleiche zeigten, dass nur bei *N* = 2 ein Unterschied zwischen schriftartgleichen und -verschiedenen Paaren vorlag, $F(1, 23) = 6.687$, $p = .017$, $\eta_p^2 = .225$ (UNI 84,95 % vs. MIXED 82,33 %), während bei *N* = 1 kein Einfluss von FONT feststellbar war, $F < 1$ (UNI 92,09 % vs. MIXED 92,06 %).

CASE und FONT interagierten, $F(1, 23) = 8.087$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .260$, die weiter durch N moderiert wurde, $F(1, 23) = 4.416$, $p = .047$, $\eta_p^2 = .161$. Keine der Interaktionen, die zusätzlich VARIANTENÄHNLICHKEIT berücksichtigten, war signifikant (beide p -Werte $> .25$, η_p^2 -Werte $< .055$).

Die Interaktion von N und CASE war signifikant, $F(1, 23) = 4.649$, $p = .042$, $\eta_p^2 = .168$, ohne weitere Moderation durch VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F < 1$. Geplante Vergleiche ergaben, dass bei $N = 1$ signifikant weniger korrekte Antworten ergingen, wenn die Varianten gleich waren, als wenn sie sich unterschieden, $F(1, 23) = 13.690$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .373$ (CASE = 90,16 % vs. \neq 93, 99), während kein CASE-Effekt bei $N = 2$ zu verzeichnen war, $F < 1$ (= 83,75 % vs. \neq 83,53 %). Die übrigen Interaktionen waren nicht signifikant, alle p -Werte $> .21$.

Speed. Auch im Antwortgeschwindigkeitsmaß bestand das grundlegende Problem, dass größere Ähnlichkeit tendenziell mit geringerer Geschwindigkeit einherging. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-22 dargestellt.

Die inferenzstatistischen Ergebnisse werden dennoch berichtet. Der Haupteffekt für N war signifikant, $F(1, 23) = 14.782$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .391$ (2,04 für $N = 1$ vs. 1,81 für $N = 2$). Es gab keinen Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT, $F(1, 23) = 2.413$, $p = .134$, $\eta_p^2 = .095$ (DIS 1,92 vs. SIM 1,93). Dies galt ebenso für CASE $F(1, 23) = 2.020$, $p = .169$, $\eta_p^2 = .081$ (= 1,91 vs. \neq 1,95) und FONT, $F(1, 23) = 2.227$, $p = .149$, $\eta_p^2 = .088$ (UNI 1,92 vs. MIXED 1,93).

Die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE war marginal signifikant, $F(1, 23) = 3.104$, $p = .091$, $\eta_p^2 = .119$, und wurde nicht durch N moderiert, $F < 1$. Geplante Vergleiche zeigten, dass es nur für DIS-Buchstaben einen Unterschied ausmachte, ob die Varianten gleich oder verschieden waren, mit langsameren Reaktionen auf variantengleiche Buchstaben, $F(1, 23) =$

18.172, $p < .001$, $\eta_p^2 = .441$ (CASE = 1,88 vs. \neq 1,97), für SIM-Buchstaben gibt es keinen entsprechenden Unterschied, $F < 1$ (CASE = 1,93 vs. \neq 1,93).

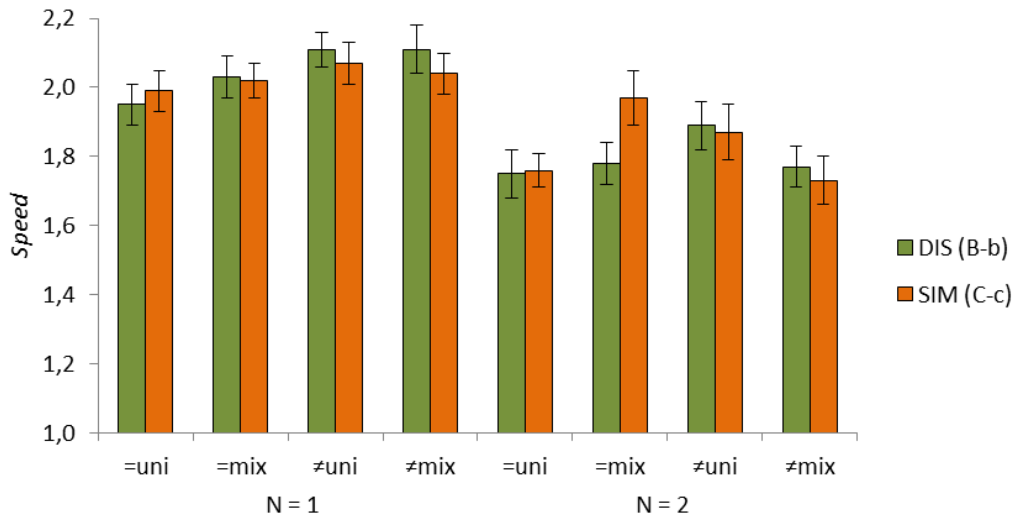


Abbildung 12-22. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3a (ohne Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand *N* zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).

Die Interaktion von *N* und *FONT* war nicht signifikant, $F < 1$. *CASE* und *FONT* interagierten, $F(1, 23) = 6.120$, $p = .021$, $\eta_p^2 = .014$. Bei *CASE* = bedingten hinsichtlich der Schriftart gleiche Paare unbedeutend langsamere Antworten als Paare mit wechselnder Schrift, $F(1, 23) = 2.265$, $p = .146$, $\eta_p^2 = .090$ (UNI 1,86 vs. MIXED 1,95). Bei *CASE* \neq kehrte sich dieses Verhältnis um, $F(1, 23) = 14.981$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .394$ (UNI 1,98 vs. MIXED 1,91). Andere Interaktionen waren nicht signifikant [*N* x *VARIANTENÄHNLICHKEIT*, $F(1, 23) = 1.953$, $p = .176$, $\eta_p^2 = .078$; *N* x *CASE*, $F(1, 23) = 2.799$, $p = .108$, $\eta_p^2 = .108$; *N* x *VARIANTENÄHNLICHKEIT* x *FONT*, $F(1, 23) = 1.717$, $p = .203$, $\eta_p^2 = .069$; *N* x *CASE* x *FONT*, $F(1, 23) = 2.206$, $p = .151$, $\eta_p^2 = .088$; *N* x *VARIANTENÄHNLICHKEIT* x *CASE* x *FONT*, $F(1, 23) = 1.354$, $p = .257$, $\eta_p^2 = .056$; alle anderen F s < 1].

12.8.4 Diskussion

Sowohl die *Hits* als auch die *Speed*-Daten brachten einzelne Effekte hervor, die den Vorhersagen entsprachen: Die Antworten waren häufiger falsch und wurden langsamer abgegeben, wenn der aktuelle mit dem vorletzten statt mit dem letzten Buchstaben verglichen werden musste. Der Einfluss der Buchstabenähnlichkeit jedoch, auf den sich die Hypothesen hauptsächlich bezogen, verursachte in keinem der beiden Maße Effekte in die erwartete Richtung. Die Grundannahme war, dass zwei Buchstaben schneller und genauer als gleich identifiziert würden, wenn sie nicht nur den Namen, sondern auch Merkmale ihrer visuellen Erscheinung gemeinsam haben. Oberflächliche Unterschiede sollten die Identifikation der Namensgleichheit erschweren, weil eine weiterreichende Verarbeitung geleistet werden muss, ehe die Gemeinsamkeit erkennbar ist. Dies entspräche dem Posner-Effekt, dem vielfach replizierten Befund, dass über die Namensgleichheit zweier Buchstaben schneller entschieden wird, wenn diese in der Variante übereinstimmen.

In Experiment III-3a war das Gegenteil zu beobachten: Die Reaktionen auf weniger ähnliche Buchstaben waren fehlerresistenter und schneller als die auf hochgradig ähnliche Buchstaben. Diese Beobachtung war nicht vollkommen konsistent, bzw. ist ihre Konsistenz schwer zu bewerten, da der Grad der Ähnlichkeit selbst hypothetisch ist. Immerhin ist bereits an den Mittelwerten (Tab. 12-4, S. 293) erkennbar, dass die Paare von völlig identischen Buchstaben weder genauer noch schneller als zwei unterschiedliche Darstellungen desselben Buchstabens beurteilt werden. Es scheint, als sei durch die eingesetzte Aufgabe ein völlig anderer kognitiver Prozess angestoßen worden als durch die *Letter Matching*-Aufgabe. Da sich somit eine grundlegende Prämisse des Experiments als unzutreffend erweist, sind die erhobenen Daten nicht interpretierbar. Die

Hypothese, dass die varianten- oder sogar die schriftartbezogenen Merkmale von Buchstaben ohne besondere Aufforderung im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden, kann hier weder bestätigt noch zurückgewiesen werden.

Über die Ursache dafür kann nur spekuliert werden. Ein zentraler Unterschied zum *Letter Matching*-Paradigma lag darin, dass nicht nur auf den zweiten, sondern auch schon auf den ersten Buchstaben jedes Paares geantwortet werden musste. Möglicherweise kann der Befund, dass hohe Ähnlichkeit mit vergleichsweise fehlerhaften und langsamen Antworten einhergeht, mit Bezug auf das Konzept des *Stimulus-Response Binding* erklärt werden - eine Assoziation von Reiz und Reaktion (z.B. Giesen, Frings & Rothermund, 2012; Janczyk & Kunde, 2010; Hommel, Kray & Lindenberger, 2011; Horner & Henson, 2011, 2012; Rothermund, Wentura & De Houwer, 2005). Die Integration eines Reizes und einer kurz darauf abgegebenen Reaktion in eine gemeinsame Repräsentation wird als einer der Prozesse diskutiert, die *Priming*-Effekten zugrunde liegen. Da im *N-Back Name Match* auf den kritischen Vorgänger immer „Nein“ geantwortet werden musste, könnte die Verknüpfung des Buchstabens mit „Nein“ es erschweren, im entscheidenden Moment mit „Ja“ auf ihn zu reagieren.

Das Bild ist jedoch auch unter dieser Prämisse inkonsistent. Die Assoziation des aktuellen Buchstabens mit der Reaktion „Nein“ müsste umso stärker sein, umso ähnlicher er dem Vorgänger ist. Also sollten in der Bedingung, in der sich Schriftart und Variante unterschieden, besonders wenig Fehler auftreten; dem war nicht so. Und um zu erklären, warum die Unterschiede zuungunsten identischer Paare bei $N = 2$ weniger ausgeprägt sind, müsste man behaupten, dass sich die Assoziationen sehr rasch wieder lösen. Vielleicht spiegeln die Ergebnisse auch zufällige Einflüsse wider, die nichts mit den Manipulationen zu tun haben, weil diese ohne entsprechende Instruktion unbedeutend sind.

Experiment III-3a wurde analog dem Experiment III-2a repliziert, ursprünglich mit dem Plan, den Anteil sensorischer Repräsentationen an der Verfügbarkeit der visuellen Buchstabenmerkmale zu untersuchen. Wieder wurde der Einfluss von Nachbildern aufgehoben, indem im Interstimulusintervall ein Pixelbild präsentiert wurde. Nachdem den ersten Ergebnissen schon keine Erkenntnis über die Repräsentationen visueller Merkmale entnommen werden konnte, war dieser Plan obsolet. Experiment III-3b wurde stattdessen durchgeführt um zu prüfen, ob für die *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe regelmäßig mit Einschränkungen der Interpretierbarkeit zu rechnen ist, und wenn ja, ob das Befundmuster repliziert werden kann. Unter diesen Umständen wäre es gerechtfertigt, über die Ursachen der befremdlichen Systematik zu spekulieren.

12.9 Experiment III-3b

Wie schon mit Experiment III-2b die *Physical Match*-Version wird die *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe mit Nachbildmaskierung repliziert.

12.9.1 Design

Das Design war, abgesehen von der Darbietung des Pixelbildes im Interstimulusintervall, dasselbe wie in Experiment III-2c.

12.9.2 Methode

12.9.2.1 Stichprobe

23 Studierende der Universität Erfurt nahmen in Einzelsitzungen von je einer dreiviertel Stunde an dem Experiment teil. Alle waren Muttersprachler des Deutschen und in ihrer Wahrnehmung nicht eingeschränkt bzw. mit Hilfsmitteln ausgestattet. Sie hatten sich auf eine Einladung für ein Experiment zum „Gedächtnis für Buchstaben“ hin angemeldet. Keiner hatte an einem ande-

ren Experiment dieses Dissertationsprojekts teilgenommen. Für die Teilnahme bekamen sie 45 Minuten Versuchspersonenzeit oder 4,50 Euro.

12.9.2.2 Material

Das Material war dasselbe wie in Experiment III-2a, das Pixelbild wie in Experiment III-2b und die Instruktion dieselbe wie in Experiment III-3a.

12.9.2.3 Vorgehen

Das Vorgehen ist dasselbe, wie für Experiment III-3a beschrieben und in Abbildung 12-20b veranschaulicht.

12.9.2.4 Hypothesen

Es wurde die Vermutung angestellt, dass in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe primär nicht die intendierten kognitiven Prozesse die Ergebnisse beeinflussen. Sollte dies nur ausnahmsweise der Fall gewesen sein, gälten dieselben Hypothesen wie für Experiment III-2a (S. 290ff). Wenn die Ergebnisse in Experiment III-3a auf zufälligen Varianzbindungen beruhen, sollten sich die Ergebnisse in diesem Experiment von jenen auf alle Fälle unterscheiden.

12.9.3 Ergebnisse

Die abhängigen Variablen wurden separat in ANOVAs mit den Messwiederholungsfaktoren N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM), CASE ($=$, \neq) und FONT (UNI, MIXED) analysiert. Da die Daten ohnehin nicht interpretierbar waren, wurde keine Speed-Accuracy Tradeoff-Analyse durchgeführt.

12.9.3.1 Datenaufbereitung

Die Daten wurden aufbereitet wie für Experiment III-3a beschrieben. 0,01 % aller Reaktionszeiten lagen unter 200 ms und gingen nicht in die *Hit* Raten ein. 82,37 % aller *Hits* gingen nach Ausschluss der Ausreißer in das

Speed-Maß ein. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Hit*-Raten und die *Speed*-Daten sind Tabelle 12-4 (S. 293) zu entnehmen.

12.9.3.2 Auswertung

Hit-Rate. Das Befundmuster ist in Abbildung 12-23 dargestellt. Erneut war problematisch, dass die Prämisse besserer Leistungen bei größerer oberflächlicher Ähnlichkeit auf die wenigsten Unterschiede zwischen Bedingungen zutraf. Die Bedingung mit völliger Identität der zu vergleichenden Buchstaben etwa hob sich nicht durch höhere *Hit*-Raten von den anderen Bedingungen ab.

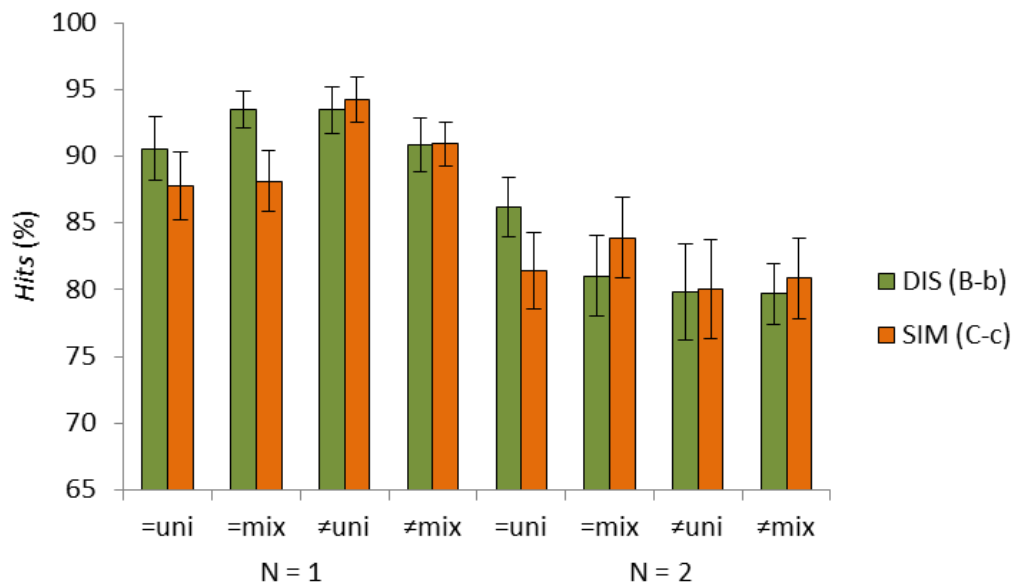


Abbildung 12-23. Anteil korrekter Antworten (*Hits*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand *N* zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).

Der Vollständigkeit halber werden im Folgenden die inferenzstatistischen Ergebnisse vorgestellt. Der Haupteffekt für *N* war mit $F(1, 22) = 49.610$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .693$ (91,18 % für $N = 1$ vs. 81,63 % für $N = 2$) signifikant. Kein anderer Haupteffekt war statistisch bedeutsam, alle F 's < 1 .

Die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE war marginal signifikant, $F(1, 22) = 3.494$, $p = .075$, $\eta_p^2 = .137$. Sie wurde weiter nicht durch N moderiert, $F < 1$. In geplanten Vergleichen war der Unterschied zwischen den Bedingungen mit einheitlichen und wechselnden Varianten für DIS-Buchstaben marginal signifikant, $F(1, 22) = 3.958$, $p = .059$, $\eta_p^2 = .152$ (CASE = 87,81 % vs. \neq 85,97 %), während der Unterschied für SIM-Buchstaben nicht bedeutsam war, $F < 1$ (CASE = 85,31 % vs. \neq 86,52 %).

N und FONT interagierten nicht, $F < 1$. Keine andere Interaktion, die FONT einschließt, war signifikant, alle p -Werte $> .16$ [N x VARIANTENÄHNLICHKEIT x FONT, $F(1, 23) = 2.025$, $p = .169$, $\eta_p^2 = .084$; N x CASE x FONT, $F(1, 23) = 1.313$, $p = .264$, $\eta_p^2 = .056$; N x VARIANTENÄHNLICHKEIT x CASE x FONT, $F(1, 23) = 1.376$, $p = .253$, $\eta_p^2 = .059$; alle anderen F s < 1].

Darüber hinaus war die Interaktion von N und CASE signifikant, $F(1, 22) = 6.066$, $p = .022$, $\eta_p^2 = .216$. Im geplanten Vergleich der Bedingungen mit einheitlichen und wechselnden Varianten wies der Unterschied für jedes N eine andere Richtung auf, für N = 1 mit $F(1, 22) = 3.598$, $p = .071$, $\eta_p^2 = .141$ (CASE = 89,99 % vs. \neq 92,37 %); für N = 2 mit $F(1, 22) = 2.804$, $p = .108$, $\eta_p^2 = .113$ (CASE = 83,13 % vs. \neq 80,12 %).

Speed. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12-24 dargestellt. Erneut war problematisch, dass die Prämisse besserer Leistungen für ähnlichere Buchstaben auf die wenigsten Unterschiede zwischen Bedingungen zutraf. Die Bedingung mit völliger Identität der zu vergleichenden Buchstaben etwa hob sich nicht durch höhere Antwortgeschwindigkeit von den anderen Bedingungen ab.

Die Inferenzstatistik wird dennoch knapp vorgestellt. Der Haupteffekt für N erreichte das Signifikanzniveau nicht, $F(1, 22) = 1.833$, $p = .190$, $\eta_p^2 = .077$

(1,85 für $N = 1$ vs. 1,74 für $N = 2$). Auch der Haupteffekt für VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.613$, $p = .217$, $\eta_p^2 = .068$ (DIS 1,80 vs. SIM 1,79). CASE verursachte einen signifikanten Haupteffekt, $F(1, 22) = 14.231$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .393$ (CASE = 1,77 vs. \neq 1,82). Es gab keinen Haupteffekt für FONT, $F < 1$ (UNI 1,79 vs. MIXED 1,79).

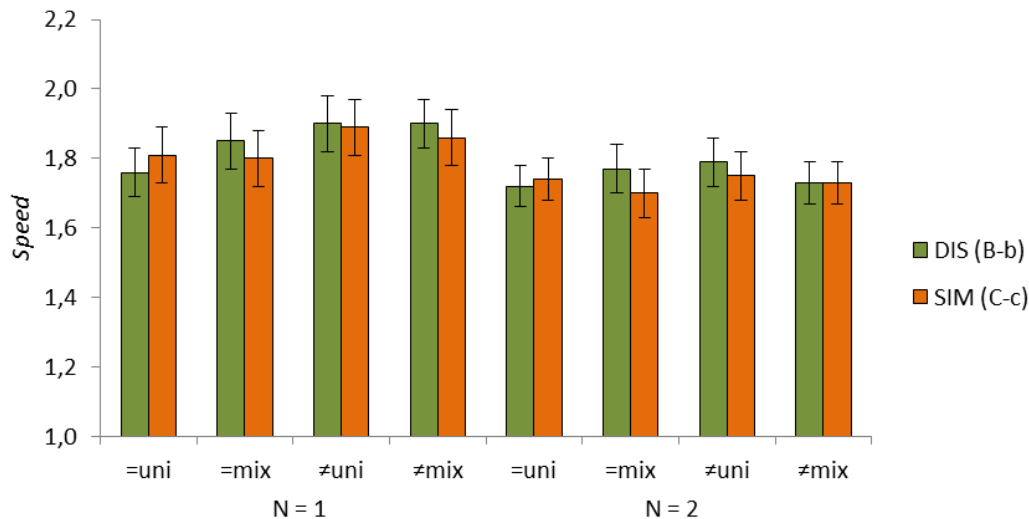


Abbildung 12-24. Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) im Vergleich zweier variantenverschiedener (DIS) bzw. -ähnlicher (SIM) Buchstaben in der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aus Exp. III-3b (mit Nachbildmaskierung), aufgeschlüsselt nach dem Abstand N zwischen den beiden Buchstaben sowie danach, ob sie sich hinsichtlich der Variante gleichen oder nicht ($=/\neq$), und ob sie in der gleichen Schriftart gehalten sind oder nicht (uni/mix).

Die Interaktion von VARIANTENÄHNLICHKEIT und CASE sowie die Dreifach-Interaktion mit N waren nicht signifikant, beide F s < 1 . CASE und N interagierten marginal, $F(1, 22) = 4.053$, $p = .056$, $\eta_p^2 = .156$, was darauf zurückgeht, dass bei $N = 1$ auf Buchstaben mit einheitlichen gegenüber wechselnden Varianten deutlich langsamer reagiert wurde, $F(1, 22) = 12.896$, $p = .002$, $\eta_p^2 = .370$ (CASE = 1,80 vs. \neq 1,89). Der entsprechende Vergleich für $N = 2$ fiel nicht signifikant aus, $F(1, 22) = 1.452$, $p = .241$, $\eta_p^2 = .062$ (CASE = 1,73 vs. \neq 1,75).

12.9.4 Diskussion

Mit Experiment III-3b erhärtete sich der Eindruck, dass die *Name Match*-Variante der *N-Back Letter Matching*-Aufgabe nicht geeignet ist, um Repräsentationen bestimmter Aspekte von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis zu untersuchen. Die Ergebnisse waren nicht nur in sich völlig inkonsistent, sondern auch nicht mit den Ergebnissen aus Experiment III-3a in Einklang zu bringen. Bezüglich der Fragestellung, ob Repräsentationen visueller Buchstabenmerkmale im Arbeitsgedächtnis unwillkürlich verfügbar sind, kann aufgrund dieser Daten keine Aussage getroffen werden.

12.10 Diskussion der Experimente III-2a bis III-3b

Das Ziel dieser Serie von Experimenten bestand darin herauszufinden, ob Repräsentationen von Buchstabenvarianten sich im Arbeitsgedächtnis von sprachlich irrelevanten Merkmalen der Schriftart unterscheiden lassen. Wenn beide Aspekte der Buchstaben im Arbeitsgedächtnis verfügbar wären, könnte dies entweder bedeuten, dass die Buchstabengestalt als Ganzes mit ihren schriftart- und variantenspezifischen Merkmalen repräsentiert ist, oder dass die schriftartspezifischen Merkmale in Arbeitsgedächtnisaufgaben ebenso gut genutzt werden können wie die variantenspezifischen Merkmale, die auch Bestandteil abstrakter Buchstabenrepräsentationen sein könnten. Dies wäre ein Hinweis darauf, dass es bildhafte Buchstabenrepräsentationen gibt; Interferenzen zwischen diesen und Repräsentationen anderer Arten bildhaften Materials im Arbeitsgedächtnis wären nicht unwahrscheinlich. Wenn die Schriftartmanipulation keine Effekte verursachte, könnte man davon ausgehen, dass der Variantenähnlichkeitseffekt allein auf Grundlage nicht-bildhafter Repräsentationen zustande kommt. Die schriftartspezifischen Repräsentationen sollten nicht für Interferenzen mit Bildern im visuellen Arbeitsgedächtnis verfügbar sein.

Sechs Experimente mit dem *N-Back*-Paradigma wurden durchgeführt, wobei drei verschiedene Varianten der Aufgabe realisiert wurden, jede einmal mit und einmal ohne (bzw. ohne ausreichende) Nachbildmaskierung. Zunächst war zu zeigen, dass auch mit der *N-Back*-Aufgabe variantenspezifische Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis nachweisbar sind. In den Experimenten III-1a und III-1b bestand die Aufgabe darin, für jeden Buchstaben anzugeben, ob er in derselben oder in der anderen Variante gezeigt wurde wie sein *n*-ter Vorgänger, sofern es sich um den gleichen Buchstaben handelte. Es wurde ein Variantenähnlichkeitseffekt beobachtet, der mit steigendem *N* zunahm: Die Varianten variantenverschiedener Buchstaben wurden zuverlässiger erinnert als die der variantenähnlichen Buchstaben, und dies war umso mehr der Fall, je anspruchsvoller die Arbeitsgedächtnisanforderung war. Das Ergebnis zeigte sich unabhängig davon, ob das Nachbild mehr oder weniger gut maskiert war, und unabhängig von der Schriftartvariation. In Experiment III-1a trat außerdem überraschend ein Effekt der Schriftartvariation auf, der jedoch, da er in Experiment III-1b ausblieb, als Artefakt der mangelhaften Nachbildmaskierung interpretiert wurde. Die Unabhängigkeit des Variantenähnlichkeitseffekts von der Schriftartvariation mag als erster Hinweis darauf gelten, dass Schriftart und Variante nicht in einer zusammengehörigen Repräsentation kodiert sind, oder dass eine solche nicht im Arbeitsgedächtnis verwendet wird.

In den Experimenten III-2a und III-2b wurden die Teilnehmer instruiert, für jeden Buchstaben zu entscheiden, ob er mit seinem *n*-ten Vorgänger völlig identisch war oder nicht. Hierfür musste man also sowohl Varianten- als auch Schriftartinformation im Gedächtnis zu halten versuchen. In beiden Experimenten war Schriftartinformation deutlich weniger zuverlässig verfügbar als Varianteninformation, wenn ein weiterer Buchstabe zwischen den beiden zu verglei-

chenden verarbeitet werden musste. Zudem zeigte sich, dass die Nachbildmas-
kierung die Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation be-
reits im unmittelbaren Vergleich zweier Buchstaben beeinträchtigte.

Wieder waren Variantenähnlichkeitseffekte bei größerer Arbeitsgedäch-
tisbelastung festzustellen. Der Unterschied zwischen variantenverschiedenen
und –ähnlichen Buchstaben ist ein Beleg dafür, dass die Varianteninformation
anhand von variantenspezifischen Repräsentationen der Buchstaben aufrecht-
erhalten wurde. Wäre er gar nicht vorhanden, wäre es ebenfalls möglich, dass
Repräsentationen der Buchstabennamen durch verbalisierte Varianteninforma-
tion („groß“/„klein“) ergänzt wurden. Es wäre denkbar, dass die Schriftart des-
wegen schneller in Vergessenheit geriet, weil sie in diesem phonologischen Code
nicht mehr untergebracht werden konnte. Verwechslungen phonologisch kodier-
ten Varianteninformationen sollten jedoch von der Variantenähnlichkeit unab-
hängig auftreten. Es spricht daher nichts gegen die Annahme, dass die Ent-
scheidungen über die Unterschiedlichkeit der Buchstabenpaare in der *Physical
Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe aufgrund von nicht-phonologischen Buch-
stabenrepräsentationen gefällt wurden.

Die unterschiedlich starken Einflüsse von Varianten- und Schriftartin-
formation sprechen also dafür, dass die Schriftart nicht in den Buchstabenre-
präsentationen enthalten ist, die dem Variantenähnlichkeitseffekt zugrunde
liegen. Die konkrete visuelle Erscheinung eines Buchstabens kann im Arbeits-
gedächtnis nicht so effizient genutzt werden wie die abstrakten Variantenge-
stalten. Sie wird nicht nur stärker durch andere Buchstaben, sondern auch
durch rein visuelle, nonverbale Pixelbilder stärker gestört. Dies spricht dafür,
dass schriftartspezifische Buchstabenrepräsentationen zum Teil unter Nutzung
solcher Repräsentationen aufrechterhalten werden, die an der Verarbeitung und

Aufrechterhaltung jeglicher visueller Information beteiligt sind. In solchen repräsentationalen Strukturen könnten schriftliche und bildhafte Information interferieren. Es stellt sich zwar so dar, dass die schriftartspezifischen Repräsentationen rasch verblassen, selbst wenn besondere Mühe darauf verwendet wird sie aufrechtzuerhalten. Dies könnte bedeuten, dass diese Repräsentationen ohne solche Anstrengungen augenblicklich verlöschen und deswegen nicht mit nachfolgendem Bildmaterial interferieren würden.

Um dies zu prüfen, wurde mit der *Name Match*-Version der *N-Back*-Aufgabe untersucht, inwieweit die Varianten- und Schriftartmerkmale der Buchstaben im Arbeitsgedächtnis wirksam sind, wenn ihr Behalten nicht instruiert ist. In den Experimenten III-3a und III-3b sollten die Teilnehmer jeden Buchstaben dahingehend kategorisieren, ob er mit seinem n-ten Vorgänger hinsichtlich seines Namens gleich war oder verschieden. Die Ergebnisse dieser beiden Experimente waren nicht interpretierbar, da hohe Ähnlichkeit der Buchstaben diese Entscheidung nicht erleichterte und die Faktoren sich völlig unsystematisch darauf auswirkten. Vielleicht ließen sich mit einer *Speed-Accuracy Trade off*-Version der *N-Back*-Aufgabe (McElree, 2001) potentielle Störfaktoren wie *Stimulus-Response Binding* eliminieren. In dieser Version wird eine Kette von Buchstaben präsentiert, aber nur auf den letzten wird (mittels *Cue*) eine Reaktion verlangt. Dem wird in dieser Arbeit jedoch nicht nachgegangen.

Da also keine interpretierbaren Daten zum Einfluss visueller Merkmale ohne instruierte Fokussierung eben darauf vorliegen, bleibt die Aussage über von Schrift-Bild-Interferenzen spekulativ. Falls die repräsentationalen Strukturen, die für die Verarbeitung jeder Art visuellen Reizes zuständig sind, so flexibel sind, dass jeder Reiz seinen Vorgänger vollständig und reibungslos überschreiben kann, wäre trotz der kurzfristigen Verfügbarkeit der Schriftartinfor-

mation nicht von Interferenzen auszugehen. In Anbetracht der Geschwindigkeit, mit der visuelle Information aufgenommen wird und in Anbetracht dessen, dass dabei das vorherige Bild nicht stört, obwohl das Aufgenommene repräsentiert bleiben kann, ist plausibel, dass solche Flexibilität vorliegt. Vielleicht finden aber Interferenzen statt, die unmerklich sind und trotzdem Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen beim Lernen haben.

13. Abschließende Diskussion

Am Ausgangspunkt dieser Arbeit wurde eine Annahme aufgegriffen, die aus der Kognitiven Theorie Multimedialen Lernens (Mayer, 2001, 2009) abgeleitet werden kann: Schriftlicher Text interferiere im Arbeitsgedächtnis mit den Repräsentationen bildhafter Information. Zunächst wurde diese Interferenzannahme im Rahmen zweier Arbeitsgedächtnismodelle betrachtet. Das Multikomponentenmodell (z.B. Baddeley, 1986, 2000) sieht für die Verarbeitung sowohl gehörter als auch gelesener Sprache eine verbale Arbeitsgedächtniskomponente vor. In diesem Modell beansprucht die Verarbeitung von schriftlichen und Hörtexten also dieselbe Komponente, so dass nahe liegt, die einen interferierten mit Bildern nicht mehr als die anderen. Im Kontext des Multikomponentenmodells wurde allerdings auch formuliert, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis die konkreten Gestalten von Buchstaben abbilden könne, und es wurde experimentell gezeigt, dass die visuelle Ähnlichkeit von Buchstaben hinsichtlich ihrer jeweiligen groß- und kleingeschriebenen Varianten Arbeitsgedächtnisleistungen beeinflusst (Logie et al., 2000, Exp. 3 & 4). Es erwies sich jedoch als schwierig, diesen Befund auf das visuelle Arbeitsgedächtnis zu attribuieren: Dieses zeichnet sich dadurch aus, nur eine sehr geringe Zahl von Einheiten bildhafter, in der Regel neuartiger Information verfügbar halten zu können. Repräsentationen der hoch vertrauten Buchstabengestalten sollten im Langzeitgedächtnis verfügbar sein, so dass ihre Aufrechterhaltung nicht auf denselben Strukturen und Mechanismen beruhen sollte wie die neuartiger Bilder.

Im Rahmen der Vorstellungen eines eher unitären Arbeitsgedächtnismodells (z.B. Cowan, 1999, 2001) konnte die Interferenzannahme widerspruchsfrei begründet werden. In diesem Modell werden Arbeitsgedächtnisrepräsentationen nicht gegen sensorische und Langzeitrepräsentationen abgegrenzt; alles, was

auf den verschiedenen Stufen der Verarbeitung zu einer Repräsentation gehört, kann auch durch Aufmerksamkeit fokussiert und somit im Arbeitsgedächtnis gehandhabt werden. Auch wenn theoretisch keine Grenze zwischen dem Arbeitsgedächtnis nutzbaren und allzu flüchtigen Repräsentationen gezogen wird, kann man dennoch davon ausgehen, dass weniger vertraute Information nicht so umfassend, präzise und lang andauernd im Arbeitsgedächtnis verfügbar ist wie eingehend gelernte Information (z.B. Ricker & Cowan, 2010). Nichtsdestoweniger sind in diesem Modell Interferenzen von Schrift und Bildern aufgrund ihres teilweise gemeinsamen Verarbeitungswegs denkbar.

Nach einer Skizze des Verarbeitungswegs visueller Information auf neuronaler Ebene wurde die Vermutung formuliert, dass es nur während sehr früher Verarbeitungsstadien zu Interferenzen von Schrift und Bild kommen dürfte. Welche Merkmale der Buchstaben allerdings in diesen Stadien repräsentiert sind, ließ sich nicht klar bestimmen. So blieb offen, ob die von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) im Arbeitsgedächtnis nachgewiesene Varianteninformation auf ähnliche Weise – in denselben neuronalen Strukturen – repräsentiert ist wie nichtsprachliche visuelle Information. Darüber hinaus könnten abgesehen von den Variantengestalten weitere visuelle Merkmale von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein. Doch ein entsprechender experimenteller Nachweis etwa der Verfügbarkeit von Schriftartinformation im Arbeitsgedächtnis musste noch geführt werden. Gegebenenfalls wäre dann ebenfalls offen, ob solche Merkmale wiederum in bildhafter Form vorliegen beziehungsweise in denselben neuronalen Strukturen repräsentiert sind wie Bilder.

Immerhin ließ sich feststellen, dass es jenseits der Arbeitsgedächtnisforschung nicht an Evidenz für die Existenz und die Bedeutung von unterschiedlichsten Buchstabenrepräsentationen mangelt. An der Verarbeitung von Buch-

staben sind sowohl solche Repräsentationen beteiligt, welche die visuellen Merkmale von entsprechenden Stimuli reflektieren, als auch solche, die davon abstrahieren. Hinsichtlich einzelner Buchstaben wurden Einflüsse der Variantengestalt (z.B. Posner & Mitchell, 1967) und der Schriftart (z.B. Kirsner & Sang, 1979; Sanocki, z.B. 1988) demonstriert. Klinische Studien berichten von Störungen der Schriftproduktion, die ausschließlich Klein- oder Großbuchstaben (Kartsounis, 1992; Trojano & Chiacchio, 1994) beziehungsweise Schreib- oder Druckschrift (Venneri et al., 2002) betreffen. Aber auch von der Variantengestalt abstrahierte Repräsentationen werden sehr rasch aktiviert und treten in experimentellen Studien (z.B. Bowers, 2000; Petit et al., 2006) und umschriebenen Störungsbildern (z.B. Mycroft et al., 2002) zutage. Es wäre denkbar, dass abstrakten Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis eine vorherrschende Rolle spielen, weil mit ihnen wahrscheinlich mit relativ wenig Aufwand die wichtigsten Informationen aufrechterhalten werden können. Doch theoretisch - wenigstens aus der Perspektive des unitären Arbeitsgedächtnismodells (z.B. Cowan, 1999) – sollten auch die konkreten Buchstabenmerkmale, die bei der Verarbeitung repräsentiert sind, dem Arbeitsgedächtnis zur Verfügung stehen.

Immerhin ein Befund konnte als Hinweis auf Repräsentationen visueller Merkmale von Buchstaben in einer Arbeitsgedächtnisaufgabe gelten, nämlich der Variantenähnlichkeitseffekt von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4). Dieser schien zu belegen, dass die konkreten Buchstabengestalten aufrechterhalten werden können. Es konnte zwar dagegen argumentiert, aber keineswegs ausgeschlossen werden, dass diese wie nicht-sprachliche visuelle Information repräsentiert werden. Eine eingehende Betrachtung der Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) zeigte jedoch, dass deren Variantenähnlichkeitseffekt auch anders erklärt werden kann: einerseits als methodisches Artefakt der Auswertung, an-

dererseits im Sinne eines Wortlängeneffekts, dessen Entstehung (wenn auch nicht immer) im verbalen Arbeitsgedächtnis verortet und auf phonologische Repräsentationen zurückgeführt wird. Vor diesem Hintergrund musste in Betracht gezogen werden, dass bis dahin noch niemals visuelle Merkmale von Buchstaben in Arbeitsgedächtnisaufgaben nachgewiesen worden waren.

Daher wurden vier modifizierte Replikationen der Studie von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) durchgeführt und im ersten empirischen Teil berichtet. Mit deutschsprachigen Probanden zeigte sich, dass die Ähnlichkeit der Varianten eines Buchstabens nur dann einen beobachtbaren Einfluss auf die Arbeitsgedächtnisleistungen ausübt, wenn die innere Artikulation beeinträchtigt ist. Mit englischsprachigen Probanden trat der Variantenähnlichkeitseffekt tendenziell auch bei unbeeinträchtigter Möglichkeit zur phonologischen Rekodierung der Buchstaben auf. Diese Diskrepanz zwischen den Sprachen wurde mit Bezug auf Unterschiede in der orthographischen Transparenz erklärt und bedarf weiterer empirischer Untersuchungen. Aus den verfügbaren Daten folgte dessen ungeachtet, dass Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden können und Interferenzen von Schrift und Bildern darin also möglich sind.

Für solche Interferenzen würde sprechen, wenn die Variantenrepräsentationen durch die zusätzliche Anforderung, bildhafte Stimuli aufrechtzuerhalten stärker gestört würden als durch die zusätzliche Anforderung, sich Tonfolgen zu merken. Im zweiten empirischen Teil wurde ein Experiment vorgestellt, mit dem eben dieses Argument geprüft wurde. Der Variantenähnlichkeitseffekt zeigte sich darin unabhängig von der Art der Störaufgabe: Die Verarbeitung und Aufrechterhaltung eines unbekanntes Zeichens verursachte also keinen größeren Verlust an Varianteninformation als die Verarbeitung und Aufrechterhaltung einer Tonfolge. Demnach sind Variantengestalten nicht wie Bilder reprä-

sentiert; sie beanspruchen nicht dieselben kognitiven Ressourcen oder neuronalen Strukturen.

Doch war immernoch offen, ob auch andere visuelle Buchstabenmerkmale im Arbeitsgedächtnis genutzt werden können, die vielleicht mehr mit nicht-sprachlicher visueller Information gemeinsam haben als Variantengestalten. Für die variantenspezifischen Buchstabengestalten sollten über unzählbare Verarbeitungsereignisse hinweg abstrakte Repräsentationen etabliert worden sein. Variantengestalten beinhalten die Merkmale, die für die Buchstabenidentifikation zentral sind (vgl. Wong & Gauthier, 2007). Der Wahl einer Variante liegt orthographisches Wissen zugrunde; Buchstabenvarianten besitzen also auch sprachliche Bedeutung. Es wurde festgestellt, dass solche Repräsentationen schriftspezifisch, nicht bildhaft sein sollten. Folglich musste weder ihr Nachweis im Arbeitsgedächtnis bedeuten, dass Buchstaben wie Bilder repräsentiert werden, noch musste das Ausbleiben von Störungen durch bildhaftes Material bedeuten, dass Buchstaben nicht wie Bilder repräsentiert sind.

Es wäre möglich, dass bislang noch keine wirklich visuellen Buchstabenmerkmale untersucht worden waren. Visuelle Merkmale, die sich aus einer Schriftart ergeben, sollten nicht in abstrakten Repräsentationen im Langzeitgedächtnis etabliert sein. Wenn solche Repräsentationen ebenfalls nachweisbar wären, würde dies nahelegen, dass regelrechte Abbilder der Buchstaben der willkürlichen Nutzung in Arbeitsgedächtnisaufgaben zugänglich sind.

Um herauszufinden, inwiefern neben eher abstrakten variantenspezifischen auch eher visuell-bildhafte Repräsentationen von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis verfügbar sind, wurde im dritten empirischen Teil untersucht, ob Schriftartinformation ebenso zuverlässig im Arbeitsgedächtnis verfügbar ist wie

Varianteninformation. Am interessantesten sind die beiden Experimente, in denen die Aufrechterhaltung von Schriftart und Variante instruiert war: Zwei Buchstaben sollten nur dann als gleich akzeptiert werden, wenn sie hinsichtlich beider Merkmale (also vollkommen) identisch waren. Während der Vergleich zweier durch einen dritten getrennten Buchstaben überwiegend gelang, sofern die beiden sich in der Variante unterschieden, brachen die Leistungen ein, wenn die beiden sich nur in der Schriftart unterschieden. Auch durch ein bedeutungsfreies Pixelbild wurde die Unterscheidbarkeit von einzig in der Schriftart abweichenden Buchstaben deutlicher reduziert als die Unterscheidbarkeit von Buchstaben, die nur in der Variante voneinander abwichen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Information zur Schriftart viel schneller aus dem Arbeitsgedächtnis verloren geht als Varianteninformation und auch mehr als diese mit bildhafter Information gemeinsam hat.

Zusammenfassend legen die empirischen Befunde nahe, (1) dass schriftspezifische (nicht-phonologische) Information prinzipiell Arbeitsgedächtnisprozessen zur Verfügung steht, (2) dass hinsichtlich der Schriftart spezifizierte Buchstabenrepräsentationen nur flüchtig verfügbar und der willkürlichen Aufrechterhaltung und Manipulation wenig zugänglich sind, und (3) dass die Aufrechterhaltung der länger verfügbaren Variantengestalten nicht auf visuellen Repräsentationen im engeren Sinne beruht, die auch an der Verarbeitung von Bildern beteiligt wären.

13.1 Schlussfolgerungen hinsichtlich der Arbeitsgedächtnismodelle

Aus Sicht des Multikomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley & Logie, 1999) kann man zunächst festhalten, dass zwar nicht die Repräsentationen der Variantengestalten, aber durchaus die schriftartspezifischen Buchstabenrepräsentationen im Arbeitsgedächtnis Eigenschaften aufweisen,

wie sie der visuellen Speicherkomponente zugeschrieben werden. Allerdings werden visuelle Aspekte wie die Schriftart unter gewöhnlicher Verarbeitungszielsetzung eher ignoriert, nicht aufrechterhalten. Eine Frage wäre dann, ob solche Buchstabenrepräsentationen unwillkürlich ins visuelle Arbeitsgedächtnis gelangen sollten, ob dann ungewollt und unwissentlich auch irrelevante Informationsanteile die intendierten Arbeitsgedächtnisprozesse stören. Bildhafte Information, die gerade memoriert und verinnerlicht werden soll, könnte davon betroffen sein. Man könnte aber auch fragen, inwiefern bildhafte Repräsentationen, die nicht gegen so beiläufige Störeinflüsse geschützt werden können, „im Arbeitsgedächtnis“ sind. Es wäre interessant, theoretisch zu diskutieren, welche Attribute das Arbeitsgedächtnis und die entsprechenden Repräsentationen haben sollten, über die empirisch gewachsenen Definitionen hinaus.

Mit Blick auf das unitäre Arbeitsgedächtnismodell (z.B. Cowan, 1999) kann man festhalten, dass sensoriknahe Repräsentationen, auch wenn sie zu fokussierter Information gehören, schnell verloren gehen. Die in Kapitel 5.2 (S. 73ff) zitierte Annahme, Repräsentationen im Aufmerksamkeitsfokus wären besonders umfassend, wobei die verfügbaren Merkmale ebenso sensorisch wie abstrakt sein könnten, muss differenziert werden. Wenn man sich der konkreten Erscheinung eines Buchstabens nicht durch einen Blick in die Außenwelt versichern kann, ist sie trotz Aufmerksamkeitszuwendung nicht zu halten. Das ändert sicher nichts daran, dass Langzeitrepräsentationen Aspekte des sensorischen Signals beinhalten. Die Auswahl ist jedoch zumindest im Fall von Buchstaben nicht arbiträr, sondern betrifft sensorische Aspekte, die von zentraler Bedeutung für deren Identifikation sind. Vielleicht könnte die Verarbeitungsrelevanz der Reizmerkmale ein Kriterium für die Definition von Informationsklassen darstellen, die sich in ihrer Fokussierbarkeit unterscheiden.

13.2 Schlussfolgerungen mit Blick auf Repräsentationsarten

Hinsichtlich der Forschung zu allographischen Repräsentationen ist zu sagen, dass die Unterscheidung verschiedener allographischer Aspekte nicht nur deswegen sinnvoll erscheint, weil sie unabhängig voneinander geschädigt sein können, sondern auch wegen der unterschiedlichen Eigenschaften der Aspekte in kognitionspsychologischen Experimenten. Zumindest für die Schriftrezeption (und wenn man den Anspruch hat, Modelle zur Schriftproduktion auch auf rezeptive Prozesse anzuwenden; z.B. Rapp & Caramazza, 1989), kann man die Verarbeitung von Buchstabenvarianten und von ihrer konkreten Gestaltung nicht zusammenfassen. Diese Arbeit legt nahe, zwischen Graphemen und Allographen eine Ebene variantenspezifischer Grapheme zu ergänzen. Der Begriff ist allerdings eventuell irreführend, da keine Aussage darüber getroffen werden kann, ob die gemeinten Repräsentationen wie Allographen nur in der visuell-schriftlichen Modalität relevant sind, oder ob sie wie Grapheme zentral auch beim mündlichen Buchstabieren aktiviert werden.

Was die kognitionspsychologische Debatte über konkrete und abstrakte Repräsentationen angeht, verkompliziert diese Arbeit die Diskussion noch. Akzeptiert man abstrakte variantenspezifische Repräsentationen, so gibt es eine Informationsart weniger, anhand derer man konkrete Repräsentationen (Abbilder) belegen könnte. Die hier berichteten Befunde widersprechen nicht der Aussage, die Passung oberflächlicher Merkmale erleichtere die Enkodierung mehrerer Buchstaben (z.B. Sanocki, 1988). Auch die Feststellung, dass man eher einen visuellen und einen auditiven Reiz gleichzeitig aufnehmen kann als zwei auditive oder zwei visuelle (vgl. Mousavi et al., 1995) bleibt unbestritten. Allerdings ist zu ergänzen, dass derartige Vorzüge auf den Vorgang der sensorischen Informationsaufnahme beschränkt sind und nicht im Arbeitsgedächtnis entstehen.

13.3 Schlussfolgerungen mit Blick auf die Interferenzannahme

Was bedeuten diese Ergebnisse nun in Hinblick auf die Ausgangsfragestellung: Ist beim Lernen mit Texten und Bildern mit Interferenzen im Arbeitsgedächtnis zu rechnen? Es kann festgestellt werden, dass derartige Interferenzen unter gewöhnlichen Umständen zumindest keine schwerwiegende Beeinträchtigung darstellen: Wenn weder die Aufmerksamkeit besonders auf die visuelle Oberfläche der Schrift gelenkt noch ihre Rekodierung in ein phonologisches Format unterbunden wird, scheinen visuelle Repräsentationen nicht genutzt zu werden. Das deutet darauf hin, dass sie nicht erforderlich sind, um die sprachliche Information zu verarbeiten und aufrechtzuerhalten. Entsprechende Repräsentationen sollten also die Verarbeitung von Bildern nicht über Probleme bei der Informationsaufnahme hinaus stören.

Nun bezieht sich die Fragestellung auf Texte oder wenigstens Sätze, während es in den Experimenten dieser Arbeit ausschließlich um Buchstaben ging. Dies ermöglichte die gezielte Manipulation der oberflächlichen Ähnlichkeit bei geringstmöglicher Beeinflussung durch andere, beispielsweise semantische Beziehungen zwischen den Stimuli. Da es bei der alltäglichen Sprachverarbeitung vor allem darauf ankommt, den Inhalt aufzunehmen, wäre sonst zu befürchten, dass Einflüsse oberflächlicher Information hinter denen der bedeutsamen Information verschwinden. Es ist nicht klar, ob bei der Aufnahme beider Arten von Information dieselben Repräsentationen beteiligt sind (s. hierzu Caplan & Waters, 1999). Viele Autoren gehen allerdings davon aus, dass Buchstaben die Elemente der Wortverarbeitung sind (z.B. Paap, Newsome, & Noel, 1984; Perea & Rosa, 2002; Legge, Mansfield & Chung, 2001; Pelli, Farell & Moore, 2003; Pelli, Burns, Farell & Moore-Page, 2006; Grainger, 2008; vgl. auch Finkbeiner & Coltheart, 2009). Dies vorausgesetzt kann man vermuten, die rein

visuelle Oberfläche auch bei der Verarbeitung von Wörtern eine randständige Rolle spielt: Wenn bereits die kleinsten an der Worterkennung beteiligten Einheiten nicht mit ihren visuellen Eigenschaften repräsentiert sind, dann sollten die Repräsentationen, die sich aus diesen zusammensetzen, das auch nicht tun.

13.4 Einschränkungen dieser Studie

Einschränkungen der Aussagekraft dieser Arbeit – abgesehen von den Einschränkungen der Aussagekraft der einzelnen Experimente, die jeweils in den empirischen Teilen dieser Arbeit diskutiert wurden – ergeben sich aus der Vielzahl der möglichen Ursachen für Text-Bild-Interferenzen. In dieser Arbeit wurden nur die Möglichkeiten in Augenschein genommen, die sich aus der Aussage ergeben, Schrift werde wie Bilder im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert. Es wurde nach Repräsentationen visueller Merkmale von Schrift sowie nach Verlusten derselben infolge der Verarbeitung von bildhafter Information gesucht. Doch was ist, wenn die Interferenzen nicht die Schrift im Arbeitsgedächtnis, sondern das visuelle Arbeitsgedächtnis im Sinne des wahrnehmungsnahen Speichers für bildhafte Information betreffen?

Es wäre denkbar, dass Schrift bei der Aufnahme, ehe sie im Arbeitsgedächtnis repräsentiert ist, Bildrepräsentationen stört, da diese in den Strukturen aufrechterhalten werden, die auch benötigt werden, um die Schrift aufzunehmen. Ein solcher Fall könnte eintreten, wenn ein Bild behalten werden soll, während ein Text zu lesen ist. Denkbar sind dann einerseits Interferenzen der Blickbewegungen beim Lesen mit den räumlichen Aspekten eines präsentierten oder imaginierten Bildes (z.B. Eddy & Glass, 1981; Rummer et al., 2009), andererseits Interferenzen der wahrnehmungsnahen Schriftrepräsentationen mit den repräsentierten Bildelementen.

13.5 Fazit

Wenn an dieser Stelle auch nicht ausgeschlossen werden kann, dass Schrift und Bild sich bei der Verarbeitung mehr stören als gehörte Sprache und Bilder, soll doch nicht davon abgeraten werden, Lehr-/Lernmaterialien mit Bildern durch schriftliche statt auditive Texte zu ergänzen. Schriftliche Texte bieten einen Vorteil gegenüber Hörtexten, der etwaigen kognitiven Zusatzaufwand in der Regel rechtfertigen wird: Sie sind nicht flüchtig; man kann sich die Informationen so suchen, wie man sie im Prozess der inhaltlichen Verarbeitung benötigt. Dieser Vorteil ist so nützlich, dass sich der Modalitätseffekt, also die besseren Lernergebnisse für Bilder mit auditiven verglichen mit visuellen Texten, verkehrt in bessere Lernleistungen bei visueller Textpräsentation, sobald längere Texte eingesetzt werden (z.B. Baggett & Ehrenfeucht, 1983; Tiene, 2000). Auch was das längerfristige Behalten der Lerninhalte anbelangt, ist man besser beraten zu lesen (z.B. Schweppe & Rummer, 2012, unter Begutachtung).

Zusammenfassung

Verbale Information ist im Arbeitsgedächtnis primär in einem phonologischen Repräsentationsformat gespeichert, auch wenn sie visuell (d.h. schriftlich) präsentiert wird (z.B. Conrad & Hull, 1964). Repräsentationen der visuellen Merkmale von Schrift (bzw. Buchstaben) lassen sich dagegen in der Regel nicht nachweisen (z.B. Levy, 1971). Das Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (z.B. Baddeley, 1992) nimmt in Einklang mit diesem Befundmuster an, dass Sprache unabhängig von der Modalität in einem verbalen Subsystem, der phonologischen Schleife aufrechterhalten und manipuliert wird. Dieses Subsystem wird gegen ein zweites, das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis (z.B. Logie, 1995) abgegrenzt. Logie, Della Sala, Wynn und Baddeley (2000, Exp. 3 & 4) jedoch zeigten, dass die variantenspezifischen Buchstabengestalten (z.B. A a B b C c D d...) im Arbeitsgedächtnis verfügbar gehalten werden können, wenn dies instruiert ist. Da es sich dabei um visuell vermittelte Information handelt, interpretierten die Autoren dies als Hinweis auf eine Beteiligung des visuellen Arbeitsgedächtnisses am verbalen Behalten. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Schlussfolgerung theoretisch hinterfragt, methodologisch kritisiert und empirisch weitergehend geprüft.

Zunächst wurden methodisch begründete Zweifel daran ausgeräumt, dass Buchstabengestalten überhaupt im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden können. In enger Anlehnung an das Vorgehen von Logie et al. (2000, Exp. 3 & 4) wurden variantenspezifische Buchstabengestalten im Arbeitsgedächtnis mit einem seriellen Wiedergabe-Paradigma nachgewiesen. Der Nachweis gelang mit deutschsprachigen Probanden nur mit artikulatorischer Unterdrückung (Exp. I-1, I-2 und I-4), mit englischsprachigen Probanden tendenziell auch ohne artikulatorische Unterdrückung (Exp. I-3). Über alle Experimente hinweg kann gefolgert werden, dass Repräsentationen visuell vermittelter Eigenschaften von Buchstaben im Arbeitsgedächtnis wirksam sein können. Von diesem Befund ausgehend wurde untersucht, ob (bei artikulatorischer Unterdrückung) die Ver-

fügbarekeit der Variantengestalten durch eine zusätzliche visuell-nonverbale Behaltensanforderung deutlicher als durch eine zusätzliche auditiv-nonverbale beeinträchtigt wird (Exp. II). Das Ergebnis sprach dagegen, was nahelegt, dass die Variantengestalten nicht wie visuell-nonverbale Stimuli repräsentiert sind. Da durchaus noch oberflächlichere visuelle Buchstabenmerkmale als die der Variantengestalten im Arbeitsgedächtnis repräsentiert sein könnten, wie etwa die Schriftart, schied die Möglichkeit bildhafter Buchstabenrepräsentationen im Arbeitsgedächtnis dadurch nicht aus.

Im letzten empirischen Teil wurde das *N-Back*-Paradigma eingesetzt, um die Verfügbarkeit von Varianteninformation mit der Verfügbarkeit von Schriftartinformation im Arbeitsgedächtnis zu vergleichen. War nur das Behalten der Varianteninformation instruiert (Exp. III-1a und III-1b), hatte Schriftartinformation keinen zuverlässigen Einfluss auf die Leistungen. Unter der Instruktion, beide Informationsarten zu behalten (Exp. III-2a und III-2b), schienen Aspekte der Schriftart schneller aus dem Arbeitsgedächtnis verloren zu gehen als die Variantengestalten: Nur in der Schriftart voneinander abweichende Buchstaben wurden häufiger fälschlich für identisch gehalten als nur in der Variante voneinander abweichende Buchstaben, insbesondere wenn ein weiterer Buchstabe zwischen den zu vergleichenden Buchstaben lag, aber auch wenn sie durch ein Pixelbild getrennt waren. War weder das Behalten der Varianteninformation noch das der Schriftartinformation instruiert (Exp. III-3a und III-3b) konnten keine interpretierbaren Daten gewonnen werden. Zusammenfassend sprechen die Ergebnisse dafür, dass die visuell vermittelten Buchstabenmerkmale, die im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden können, mit Repräsentationen visuell-bildhafter Information wenig gemeinsam haben.

Visueller Ähnlichkeitseffekt, Variantenähnlichkeit, Arbeitsgedächtnis, Buchstaben, Schrift, orthographische, graphemische Information

Abstract

Verbal material is stored and manipulated in a primarily phonological representation format, even if it is presented in written form (e.g., Conrad & Hull, 1964). The letters' visual attributes, on the contrary, have rarely been demonstrated to influence working memory performance (e.g., Levy, 1971). In accordance with this, the multicomponent model of working memory (e.g., Baddeley, 1992) postulates a subsystem (the phonological loop) which deals with all verbal information irrespective of presentation modality. It is distinguished from another subsystem (the visuo-spatial working memory; e.g., Logie, 1995), which is responsible for visuo-spatial information. However, a study reported by Logie, Della Sala, Wynn, and Baddeley (2000, Exps. 3 & 4) shows that case-specific letter forms (e.g., A a B b C c D d...) are potentially available to support immediate recall of letter lists. As letter case is perceived visually, the authors concluded that visual working memory contributes to verbal working memory tasks.

This conclusion is challenged with both theoretical and methodological concerns, and it is further tested empirically. The first empirical part contains four modified replications of the serial recall paradigm employed by Logie et al. (2000, Exps. 3 & 4). In three of these, with native speakers of German, case-specific representations of letters are detected under articulatory suppression only (Exps. I-1, I-2, & I-4). In the fourth experiment of this series (Exp. I-3), with native speakers of English, case-specific letter representations were available by trend even without articulatory suppression. These experiments taken together provide evidence that representations of visually coded letter features may impact on working memory performance. Based on this finding it was examined whether (under articulatory suppression) the availability of letter case representations decreased more with an additional visual nonverbal retention task than with an additional auditory nonverbal retention task (Exp. II). The results indicated that this was not the case, suggesting that in working memory, letter case representations are

unlike nonverbal pictorial representations. Still it was possible that more superficial aspects of letters than their case-related features are represented in working memory, such as features related to font style. Consequently, the hypothesis that there are picture-like letter representations could not as yet be rejected.

The third empirical part used an n-back-paradigm in order to contrast the availability of case information with that of font style information. When the participants were instructed to retain the letters' cases only (Exps. III-1a & III-1b), font style information turned out not to impact on the performance measures reliably. When the retention of both case and font style information was instructed (Exps. III-2a & III 2b), the letters' cases were far better maintained in working memory than their font styles: Letters that differed only in font style were more often falsely recognized as identical than letters that differed in case only, especially when the letter pair was separated by another letter, but also when a visual pattern mask was presented in the inter-stimulus interval. When neither the retention of letter case nor that of font style was instructed (Exps. III-3a & III-3b), the data collected could not be interpreted. Altogether, the results suggest that those letter features available in working memory which are conveyed visually have little in common with representations of visual-pictorial information.

Visual similarity effect, case similarity, letters, font, working memory, orthographic, graphemic information

Literaturverzeichnis

Acheson, D. J., Hamidi, M., Binder, J. R., & Postle, B. R. (2011). A common neural substrate for language production and verbal working memory. *Journal Of Cognitive Neuroscience*, *23* (6), 1358-1367.

Allport, D., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *24* (2), 225-235.

Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. P. (2004). The capacity of visual short term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological Science*, *15* (2), 106-111.

Arguin, M., & Bub, D. (1995). Priming and response selection processes in letter classification and identification tasks. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, *21* (5), 1199-1219.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In: K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The Psychology Of Learning And Motivation II* (S. 90-197), Oxford England: Academic Press.

Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic, and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18* (4), 362-365.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, *255* (5044), 556-559.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4* (11), 417-423.

Baddeley, A., Chincotta, D., Stafford, L., & Turk, D. (2002). Is the word length effect in STM entirely attributable to output delay? Evidence from serial recognition. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *55A* (2), 353-369.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (8, S. 47-90). San Diego, CA: Academic Press.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.

Baddeley, A. D., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 36A(2), 233-252.

Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake, P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28-61). New York, NY US: Cambridge University Press.

Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M., (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 14, 575-589.

Baggett, P., & Ehrenfeucht, A. (1983). Encoding and retaining information in the visuals and verbals of an educational movie. *Educational Communication & Technology Journal*, 31(1), 23-32.

Banks, W. P. (1970). Signal detection theory and human memory. *Psychological Bulletin*, 74(2), 81-99.

Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal Of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83-100.

Ben-David, B. M., & Algom, D. (2009). Species of redundancy in visual target detection. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 35(4), 958-976.

Besner, D., Coltheart, M., & Davelaar, E. (1984). Basic processes in reading: Computation of abstract letter identities. *Canadian Journal Of Psychology/Revue Canadienne De Psychologie*, 38(1), 126-134.

Besner, D., & Davelaar, E. (1982). Basic processes in reading: Two phonological codes. *Canadian Journal Of Psychology/Revue Canadienne De Psychologie*, 36 (4), 701-711.

Beutelspacher, A. (2005). *Kryptologie* [Cryptology] (Rev. ed.). Wiesbaden: Vieweg.

Black, S. E., Behrmann, M., Bass, K., & Hacker, P. (1989). Selective writing impairment: beyond the allographic code. *Aphasiology*, 3 (3), 265-277.

Blanken, G., Schäfer, C., Tucha, O., & Lange, K. W. (1999). Serial processing in graphemic encoding: Evidence from letter exchange errors in a multilingual patient. *Journal Of Neurolinguistics*, 12 (1), 13-39.

Boles, D. B., & Eveland, D. C. (1983). Visual and phonetic codes and the process of generation in letter matching. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 9 (5), 657-674.

Bouma, H. H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13 (4), 767-782.

Bowers, J. S. (1996). Different perceptual codes support priming for words and pseudowords: Was Morton right all along?. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 22 (6), 1336-1353.

Bowers, J. S. (2000). In defense of abstractionist theories of repetition priming and word identification. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7 (1), 83-99.

Bowers, J. S., Vigliocco, G., & Haan, R. (1998). Orthographic, phonological, and articulatory contributions to masked letter and word priming. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 24 (6), 1705-1719.

Brady, T. F., Konkle, T., & Alvarez, G. A. (2011). A review of visual memory capacity: Beyond individual items and toward structured representations. *Journal Of Vision*, 11 (5), 1-34.

Bradimonte, M. A., Hitch, G. J., & Bishop, D. V. (1992). Influence of short-term memory codes on visual image processing: Evidence from image transformation tasks. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 18 (1), 157-165.

- Braver, T.S., Cohen, J.D., Nystrom, L.E., Jonides, J., Smith, E.E., & Noll, D.C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage*, *5*, 49-62.
- Broadbent, D. E., & Broadbent, M. H. (1981). Recency effects in visual memory. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *33A* (1), 1-15.
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *19* (4), 289-299.
- Brunsdon, R., Coltheart, M., & Nickels, L. (2006). Severe developmental letter-processing impairment: A treatment case study. *Cognitive Neuropsychology*, *23* (6), 795-821.
- Buchwald, A., & Rapp, B. (2006). Consonants and vowels in orthographic representations. *Cognitive Neuropsychology*, *23* (2), 308-337.
- Buchwald, A., & Rapp, B. (2009). Distinctions between orthographic long-term memory and working memory. *Cognitive Neuropsychology*, *26* (8), 724-751.
- Cameron, A. A., Cubelli, R. R., & Della Sala, S. S. (2002). Letter assembling and handwriting share a common allographic code. *Journal Of Neurolinguistics*, *15* (2), 91-97.
- Campoy, G. (2008). The effect of word length in short-term memory: Is rehearsal necessary?. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *61* (5), 724-734.
- Caplan, D., Rochon, E., & Waters, G. S. (1992). Articulatory and phonological determinants of word length effects in span tasks. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *45A* (2), 177-192.
- Caplan, D., & Waters, G. S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral And Brain Sciences*, *22* (1), 77-126.
- Caramazza, A., Capasso, R., & Miceli, G. (1996). The role of the graphemic buffer in reading. *Cognitive Neuropsychology*, *13* (5), 673-698.

Caramazza, A., & Miceli, G. (1990). The structure of graphemic representations. *Cognition*, *37*(3), 243-297.

Caramazza, A., Miceli, G., & Villa, G. (1986). The role of the (output) phonological buffer in reading, writing, and repetition. *Cognitive Neuropsychology*, *3*(1), 37-76.

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition And Instruction*, *8*(4), 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*(2), 233-246.

Chandler, P., & Sweller, J. (1996). Cognitive load while learning to use a computer program. *Applied Cognitive Psychology*, *10*(2), 151-170.

Chauncey, K., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2008). Effects of stimulus font and size on masked repetition priming: An event-related potentials (ERP) investigation. *Language And Cognitive Processes*, *23*(1), 183-200.

Chialant, D., & Caramazza, A. (1998). Perceptual and lexical factors in a case of letter-by-letter reading. *Cognitive Neuropsychology*, *15*(1-2), 167-201.

Cierniak, G., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?. *Computers In Human Behavior*, *25*(2), 315-324.

Cocchini, G., Logie, R. H., Della Sala, S., MacPherson, S. E., & Baddeley, A. D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks: Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory & Cognition*, *30*, 1086-1095.

Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain: A Journal Of Neurology*, *123*(2), 291-307.

Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of the visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, *125*, 1054-1069.

Coltheart, V. (1999). Comparing short-term memory and memory for rapidly presented visual stimuli. *International Journal Of Psychology, 34* (5-6), 293-300.

Coltheart, M., & Coltheart, V. (1997). Reading comprehension is not exclusively reliant upon phonological representation. *Cognitive Neuropsychology, 14* (1), 167-175.

Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review, 100* (4), 589-608.

Coltheart, V., Laxon, V., Rickard, M., & Elton, C. (1988). Phonological recoding in reading for meaning by adults and children. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 14* (3), 387-397.

Coltheart, V., Mondy, S., Dux, P. E., & Stephenson, L. (2004). Effects of Orthographic and Phonological Word Length on Memory for Lists Shown at RSVP and STM Rates. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 30* (4), 815-826.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review, 108* (1), 204-256.

Connor, J. M., & Hoyer, R. G. (1976). Auditory and visual similarity effects in recognition and recall. *Memory & Cognition, 4* (3), 261-264.

Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal Of Psychology, 55*, 75-84.

Conrad, R. R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal Of Psychology, 55* (4), 429-432.

Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., & Gugliotta, M. M. (1995). Visual and phonological determinants of misreadings in a transparent orthography. *Reading And Writing, 7* (3), 237-256.

Costa, V., Fischer-Baum, S., Capasso, R., Miceli, G., & Rapp, B. (2011). Temporal stability and representational distinctiveness: Key functions of orthographic working memory. *Cognitive Neuropsychology, 28* (5), 338-362.

Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of working memory. In A. Miyake, P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). New York, NY US: Cambridge University Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral And Brain Sciences*, *24* (1), 87-185 (inkl. Kommentare).

Cowan, N., Day, L., Saults, J., Keller, T. A., Johnson, T. & Flores, L. (1992). The role of verbal output time in the effects of word length on immediate memory. *Journal Of Memory And Language*, *31* (1), 1-17.

Cowan, N., & Morey, C. C. (2007). How can dual-task working memory retention limits be investigated?. *Psychological Science*, *18* (8), 686-688.

Cowan, N., Wood, N. L., & Borne, D. N. (1994). Reconfirmation of the short-term storage concept. *Psychological Science*, *5* (2), 103-106.

Cowan, N., Wood, N. L., Nugent, L. D., & Treisman, M. (1997). There are two word-length effects in verbal short-term memory: Opposed effects of duration and complexity. *Psychological Science*, *8* (4), 290-295.

Craik, F. I., & Kirsner, K. (1974). The effect of speaker's voice on word recognition. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *26* (2), 274-284.

Crist, W. B. (1981). Matching performance and the similarity structure of the stimulus set. *Journal Of Experimental Psychology: General*, *110* (3), 269-296.

Crowder, R. G. (1978). Memory for phonologically uniform lists. *Journal Of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *17* (1), 73-89.

Crowder, R. G., & Morton, J. (1969). Precategorical acoustic storage (PAS). *Perception & Psychophysics*, *5* (6), 365-373.

Davis, C. J., & Bowers, J. S. (2004). What Do Letter Migration Errors Reveal About Letter Position Coding in Visual Word Recognition?. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, *30* (5), 923-941.

De Bastiani, P., & Barry, C. (1989). A cognitive analysis of an acquired dysgraphic patient with an 'allographic' writing disorder. *Cognitive Neuropsychology*, 6(1), 25-41.

De Renzi, E., & Nichelli, P. (1975). Verbal and non-verbal short-term memory impairment following hemispheric damage. *Cortex*, 11, 341-354.

Dehaene, S. (2010). *Lesen: Die größte Erfindung der Menschheit und was dabei in unseren Köpfen passiert*. München: Knaus.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends In Cognitive Sciences*, 15(6), 254-262.

Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J.-B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter Binding and Invariant Recognition of Masked Words: Behavioral and Neuroimaging Evidence. *Psychological Science*, 15(5), 307-313.

Del Grosso Destreri, N., Farina, E., Alberoni, M., Pomati, S., Nichelli, P., & Mariani, C. (2000). Selective uppercase dysgraphia with loss of visual imagery of letter forms: A window on the organization of graphomotor patterns. *Brain And Language*, 71(3), 353-372.

Dobelle, W. H., Turkel, J., Henderson, D. C., & Evans, J. R. (1979). Mapping the representation of the visual field by electrical stimulation of human visual cortex. *American Journal Of Ophthalmology*, 88(4), 727-735.

Eddy, J. K., & Glass, A. L. (1981). Reading and listening to high and low imagery sentences. *Journal Of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 20(3), 333-345.

Eiter, B. M., & Inhoff, A. W. (2008). Visual word recognition is accompanied by covert articulation: Evidence for a speech-like phonological representation. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 72(6), 666-674.

Eiter, B. M., & Inhoff, A. W. (2010). Visual word recognition during reading is followed by subvocal articulation. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 36(2), 457-470.

Ellis, A. W. (1979). Slips of the pen. *Visible Language*, 13(3), 265-282.

Ellis, A. W. (1988). Normal writing processes and peripheral acquired dysgraphias. *Language And Cognitive Processes*, 3(2), 99-127.

Ellis, A. W., & Young, A. W. (1998). *Human cognitive neuropsychology: A textbook with readings*. Hove: Psychology Press.

Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1994). *The Human Memory: A Multi-Modal Approach*. Seattle [u.a.]: Hogrefe & Huber.

Evett, L. J., & Humphreys, G. W. (1981). The use of abstract graphemic information in lexical access. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 33A(4), 325-350.

Feldman, L. B., & Siok, W. W. T. (1999). Semantic radicals contribute to the visual identification of Chinese characters. *Journal Of Memory And Language*, 40, 559-576.

Fiebach, C. J., Rissman, J., & D'Esposito, M. (2006). Modulation of inferotemporal cortex activation during verbal working memory maintenance. *Neuron*, 51, 251-261.

Finkbeiner, M., & Coltheart, M. (2009). Letter recognition: From perception to representation. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1), 1-6.

Fiset, D., Blais, C., Arguin, M., Tadros, K., Éthier-Majcher, C., Bub, D., & Gosselin, F. (2009). The spatio-temporal dynamics of visual letter recognition. *Cognitive Neuropsychology*, 26(1), 23-35.

Fiset, D., Blais, C., Éthier-Majcher, C., Arguin, M., Bub, D., & Gosselin, F. (2008). Features for identification of uppercase and lowercase letters. *Psychological Science*, 19(11), 1161-1168.

Flowers, D. L., Jones, K., Noble, K., VanMeter, J., Zeffiro, T. A., Wood, F. B., & Eden, G. F. (2004). Attention to single letters activates left extrastriate cortex. *NeuroImage*, 21, 829-839.

Forster, K. I., Davis, C. C., Schoknecht, C. C., & Carter, R. R. (1987). Masked priming with graphemically related forms: Repetition or partial activation?. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 39A(2), 211-251.

Forster, K. I., & Forster, J. C. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *35* (1), 116-124.

Fougnie, D., & Marois, R. (2006). Distinct Capacity Limits for Attention and Working Memory: Evidence From Attentive Tracking and Visual Working Memory Paradigms. *Psychological Science*, *17*(6), 526-534.

Fox, P. T., Miezin, F. M., Allman, J. M., van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (1987). Retinotopic organization of human visual cortex mapped with position-emission tomography. *The Journal Of Neuroscience*, *7*(3), 913-922.

Frick, R. W. (1984). Using both an auditory and a visual short-term store to increase digit span. *Memory & Cognition*, *12*(5), 507-514.

Frick, R. W. (1985). Testing visual short-term memory: Simultaneous versus sequential presentations. *Memory & Cognition*, *13* (4), 346-356.

Frick, R. W. (1988). Issues of representation and limited capacity in the visuospatial sketchpad. *British Journal Of Psychology*, *79*, 289-308.

Friedman, R. B. (1980). Identity without form: Abstract representations of letters. *Perception & Psychophysics*, *28*(1), 53-60.

Frost, R. (1998). Toward a strong phonological theory of visual word recognition: True issues and false trails. *Psychological Bulletin*, *123* (1), 71-99.

Gauthier, I., Wong, A. C.-N., Hayward, W. G., & Cheung, O. S. (2006). Font tuning associated with expertise in letter perception. *Perception*, *35*, 541-559.

Giesen, C., Frings, C., & Rothermund, K. (2012). Differences in the strength of distractor inhibition do not affect distractor-response bindings. *Memory & Cognition*, *40* (3), 373-387.

Gilbert, C. D. & Wiesel, T. N. (1990). The influence of contextual stimuli on the orientation selectivity of cells in primary visual cortex of the cat. *Vision Research*, *30* (11), 1689-1701.

Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

Goodman, R. A. & Caramazza, A. (1986). Dissociation of spelling errors in written and oral spelling: The role of allographic conversion in writing. *Cognitive Neuropsychology*, 3(2), 179-206.

Grainger, J. (2008). Cracking the orthographic code: An introduction. *Language And Cognitive Processes*, 23(1), 1-35.

Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1994). A dual read-out model of word context effects in letter perception: Further investigations of the word superiority effect. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 20(6), 1158-1176.

Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1996). Orthographic processing in visual word recognition: A multiple read-out model. *Psychological Review*, 103(3), 518-565.

Grainger, J., Muneaux, M., Farioli, F., & Ziegler, J. C. (2005). Effects of phonological and orthographic neighbourhood density interact in visual word recognition. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 58A(6), 981-998.

Grinvald, A., Lieke, E., Frostig, R. D., & Gilbert, C. D. (1986). Functional architecture of cortex revealed by optical imaging of intrinsic signals. *Nature*, 324(6095), 361-364.

Gupta, P., Lipinski, J., & Aktunc, E. (2005). Reexamining the phonological similarity effect in immediate serial recall: The roles of type of similarity, category cuing, and item recall. *Memory & Cognition*, 33(6), 1001-1016.

Hanley, J., & Kay, J. (1998). Notes: Does the graphemic buffer play a role in reading?. *Cognitive Neuropsychology*, 15(3), 313-318.

Hanley, J., & Peters, S. (2001). Allograph errors and impaired access to graphic motor codes in a case of unilateral agraphia of the dominant left hand. *Cognitive Neuropsychology*, 18(4), 307-321.

- Harris, C. L., & Morris, A. L. (2001). Illusory words created by repetition blindness: A technique for probing sublexical representations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(1), 118-126.
- Hartshorne, J. K. (2008). Visual Working Memory Capacity and Proactive Interference. *PLoS ONE* 3(7): e2716. doi:10.1371/journal.pone.0002716.
- Hassin, R. R., Bargh, J. A., Engell, A. D., & McCulloch, K. C. (2009). Implicit working memory. *Consciousness And Cognition: An International Journal*, 18 (3), 665-678.
- Hautzel, H., Mottaghy, F. M., Specht, K., Müller, H., & Krause, B. J. (2009). Evidence of a modality-dependent role of the cerebellum in working memory? An fMRI study comparing verbal and abstract n-back tasks. *Neuroimage*, 47(4), 2073-2082.
- Healy, A. F. (1975). Coding of temporal-spatial patterns in short-term memory. *Journal Of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 14(5), 480-495.
- Hillis, A. E., & Caramazza, A. (1995). Spatially specific deficits in processing graphic representations in reading and writing. *Brain And Language*, 48(3), 263-308.
- Hintzman, D. L., & Summers, J. J. (1973). Long-term visual traces of visually presented words. *Bulletin Of The Psychonomic Society*, 1(5-A), 325-327.
- Hitch, G. J., Halliday, S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. (1988). Visual working memory in young children. *Memory & Cognition*, 16(2), 120-132.
- Hitch, G. J., Woodin, M. E., & Baker, S. (1989). Visual and phonological components of working memory in children. *Memory & Cognition*, 17(2), 175-185.
- Hommel, B., Kray, J., & Lindenberger, U. (2011). Feature integration across lifespan: stickier stimulus-response bindings in children and older adults. *Frontiers In Psychology*, 2: 268.
- Horner, A. J., & Henson, R. N. (2011). Stimulus-response bindings code both abstract and specific representations of stimuli: Evidence from a classification priming design that reverses multiple levels of response representation. *Memory & Cognition*, 39(8), 1457-1471.

- Horner, A. J., & Henson, R. N. (2012). Incongruent abstract stimulus–response bindings result in response interference: fMRI and EEG evidence from visual object classification priming. *Journal Of Cognitive Neuroscience*, *24* (3), 760-773.
- Hu, C., & Catts, H. W. (1993). Phonological recoding as a universal process? Evidence from beginning readers of Chinese. *Reading And Writing*, *5* (3), 325-337.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *The Journal Of Physiology*, *148*, 574-591.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal Of Physiology (London)*, *160* (1), 106-154.
- Hue, C., & Erickson, J. R. (1988). Short-term memory for Chinese characters and radicals. *Memory & Cognition*, *16* (3), 196-205.
- Huff, M., Bauhoff, V., & Schwan, S. (2012). Effects of split attention revisited: A new display technology for troubleshooting tasks. *Computers In Human Behavior*, *28* (4), 1254-1261.
- Hughes, J. C., Graham, N., Patterson, K., & Hodges, J. R. (1997). Dysgraphia in mild dementia of Alzheimer's type. *Neuropsychologia*, *35* (4), 533-545.
- Hull, A. J. (1973). A letter-digit matrix of auditory confusions. *British Journal Of Psychology*, *64* (4), 579-585.
- Humphreys, G. W., Evett, L. J., & Quinlan, P. T. (1990). Orthographic processing in visual word identification. *Cognitive Psychology*, *22* (4), 517-560.
- IPA Chart, <http://www.langsci.ucl.ac.uk/ipa/ipachart.html>, available under a Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 Unported License. Copyright © 2005 International Phonetic Association.
- Inhoff, A. W., Connine, C., Eiter, B., Radach, R., & Heller, D. (2004). Phonological representation of words in working memory during sentence reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11* (2), 320-305.

Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1991). Automatic letter priming in an alphabetic decision task. *Perception & Psychophysics*, *49*(1), 43-52.

Jacobs, A. M., Grainger, J., & Ferrand, L. (1995). The incremental priming technique: A method for determining within-condition priming effects. *Perception & Psychophysics*, *57*(8), 1101-1110.

Jaeggi, S. M. (2005). Capacity limitations of human cognition: Behavioral and biological contributions. Dissertation, Bern: Selbstverlag.
http://www.zb.unibe.ch/download/eldiss/05jaeggi_s.pdf.

Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(19), 6829-6833.

Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, *18*(4), 394-412.

Jalbert, A., Neath, I., Bireta, T. J., & Surprenant, A. M. (2011). When does length cause the word length effect?. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, *37*(2), 338-353.

Jalbert, A., Neath, I., & Surprenant, A. M. (2011). Does length or neighborhood size cause the word length effect?. *Memory & Cognition*, *39*(7), 1198-1210.

James, K. H., & Gauthier, I. (2006). Letter processing automatically recruits a sensory-motor brain network. *Neuropsychologia*, *44*(14), 2937-2949.

James, K. H., James, T. W., Jobard, G., Wong, A., & Gauthier, I. (2005). Letter processing in the visual system: Different activation patterns for single letters and strings. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *5*(4), 452-466.

Janczyk, M., & Kunde, W. (2010). Stimulus-response bindings contribute to item switch costs in working memory. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, *74*(4), 370-377.

Jarrold, C. C., Baddeley, A. D., & Hewes, A. K. (1999). Genetically dissociated components of working memory: Evidence from Down's and Williams syndrome. *Neuropsychologia*, *37*(6), 637-651.

- Jensen, A. R., & Rohwer, W. R. (1966). The Stroop Color-Word Test: A review. *Acta Psychologica*, 25(1), 36-93.
- Jones, A. C., Folk, J. R., & Rapp, B. (2009). All letters are not equal: Subgraphemic texture in orthographic working memory. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 35(6), 1389-1402.
- Kalyuga, S. (2012). Instructional benefits of spoken words: A review of cognitive load factors. *Educational Research Review*, 7, 145-159.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351-371.
- Kane, M. J., Conway, A. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. H. (2007). Working memory, attention control, and the n-back task: A question of construct validity. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 33(3), 615-622.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 189-217.
- Kartsounis, L. D. (1992). Selective lower-case letter ideational dysgraphia. *Cortex: A Journal Devoted To The Study Of The Nervous System And Behavior*, 28(1), 145-150.
- Katz, R. B. (1991). Limited retention of information in the graphemic buffer. *Cortex: A Journal Devoted To The Study Of The Nervous System And Behavior*, 27(1), 111-119.
- Kellicutt, M. H., Parks, T. E., Kroll, N. E., & Salzberg, P. M. (1973). Visual memory as indicated by latency of recognition for normal and reversed letters. *Journal Of Experimental Psychology*, 97(3), 387-390.
- Kennedy, A., Brooks, R., Flynn, L.-A., & Prophet, C. (2003). The reader's spatial code. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (S. 193-212). Amsterdam: Elsevier.

Kinoshita, S., & Kaplan, L. (2008). Priming of abstract letter identities in the letter match task. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *61* (12), 1873-1885.

Kirsner, K., & Sang, D. L. (1979). Visual persistence and code selection in short-term memory for letters. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, *5* (2), 260-276.

Kosslyn, S. M. (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology*, *7* (3), 341-370.

Kozma, R. B. (1991). Learning with media. *Review Of Educational Research*, *61* (2), 179-211.

Kroll, N. E., & Parks, T. E. (1978). Interference with short-term visual memory produced by concurrent central processing. *Journal Of Experimental Psychology: Human Learning And Memory*, *4* (2), 111-120.

Lai, C.-Y. (2007). *Phonological and orthographic similarity affects verbal short-term memory for Chinese characters*. Master's thesis published online. http://thesis.lib.ncu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=952207008.

Lambert, J., Giffard, B., Nore, F., de la Sayette, V., Pasquier, F., & Eustache, F. (2007). Central and peripheral agraphia in Alzheimer's disease: From the case of Auguste D. to a cognitive neuropsychology approach. *Cortex: A Journal Devoted To The Study Of The Nervous System And Behavior*, *43* (7), 935-951.

Lambert, J. J., Viader, F. F., Eustache, F., & Morin, P. P. (1994). Contribution to peripheral agraphia: A case of post-allographic impairment?. *Cognitive Neuropsychology*, *11* (1), 35-55.

Leahy, W., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, *17* (4), 401-418.

Lee, H., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1999). The time course of phonological, semantic, and orthographic coding in reading: Evidence from the fast-priming technique. *Psychonomic Bulletin & Review*, *6* (4), 624-634.

- Legge, G. E., Mansfield, J., & Chung, S. L. (2001). Psychophysics of reading XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research*, 41 (6), 725-743.
- Levy, B. A. (1971). Role of articulation in auditory and visual short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 10, 123-132.
- Light, L. L., & Berger, D. E. (1974). Memory for modality: Within-modality discrimination is not automatic. *Journal Of Experimental Psychology*, 103 (5), 854-860.
- Light, L. L., Berger, D. E., & Bardales, M. (1975). Trade-off between memory for verbal items and their visual attributes. *Journal Of Experimental Psychology: Human Learning And Memory*, 1 (2), 188-193.
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240(4853), 740-749.
- Löw, A., Bentin, S., Rockstroh, B., Silberman, Y., Gomolla, A., Cohen, R., & Elbert, T. (2003). Semantic categorization in the human brain: Spatiotemporal dynamics revealed by magnetoencephalography. *Psychological Science*, 14(4), 367-372.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Logie, R. H. (2003). Spatial and visual working memory: A mental workspace. In D. Irwin & B. Ross (Eds.), *Psychology Of Learning And Motivation: Advances In Research And Theory: Cognitive Vision*, 42 (S. 37-78). San Diego, CA: Academic Press.
- Logie, R. H. (2011). The functional organization and capacity limits of working memory. *Current Directions In Psychological Science*, 20(4), 240-245.
- Logie, R. H., Della Sala, S., Wynn, V., & Baddeley, A. D. (2000). Visual similarity effects in immediate verbal serial recall. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 53A (3), 626-646.
- Logie, R. H., & van der Meulen, M. (2009). Fragmenting and integrating visuospatial working memory. In J. R. Brockmole (Eds.), *The Visual World In Memory* (S. 1-32). New York, NY US: Psychology Press.

Logie, R. H., Zucco, G. M., & Baddeley, A. D. (1990). Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, *75*(1), 55-74.

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*(6657), 279-281.

Lombardi, L., & Potter, M. C. (1992). The regeneration of syntax in short term memory. *Journal Of Memory And Language*, *31*(6), 713-733.

Longoni, A. M., & Scalisi, T. G. (1994). Developmental aspects of phonemic and visual similarity effects: Further evidence in Italian children. *International Journal Of Behavioral Development*, *17*(1), 57-71.

Lukatela, G., & Turvey, M. T. (1994a). Visual lexical access is initially phonological: I. Evidence from associative priming by words, homophones, and pseudohomophones. *Journal Of Experimental Psychology: General*, *123*(2), 107-128.

Lukatela, G., & Turvey, M. T. (1994b). Visual lexical access is initially phonological: 2. Evidence from phonological priming by homophones and pseudohomophones. *Journal Of Experimental Psychology: General*, *123*(4), 331-353.

Mackworth, J. F. (1963). The duration of the visual image. *Canadian Journal Of Psychology/Revue Canadienne De Psychologie*, *17*(1), 62-81.

Margolin, D. I. (1984). The neuropsychology of writing and spelling: Semantic, phonological, motor, and perceptual processes. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *36A*(3), 459-489.

Mate, J., & Baqués, J. (2009). Visual similarity at encoding and retrieval in an item recognition task. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *62*(7), 1277-1284.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York, NY US: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal Of Educational Psychology, 90* (2), 312-320.
- McClelland, J. L., & Mozer, M. C. (1986). Perceptual interactions in two-word displays: Familiarity and similarity effects. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance, 12* (1), 18-35.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review, 88* (5), 375-407.
- McElree, B. (2001). Working memory and focal attention. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 27* (3), 817-835.
- Miles, C., Morgan, M. J., Milne, A. B., & Morris, E. M. (1996). Developmental and individual differences in visual memory span. *Current Psychology: A Journal For Diverse Perspectives On Diverse Psychological Issues, 15* (1), 53-67.
- Miozzo, M., & Caramazza, A. (1998). Varieties of pure alexia: The case of failure to access graphemic representations. *Cognitive Neuropsychology, 15* (1-2), 203-238.
- Miozzo, M., & De Bastiani, P. (2002). The organization of letter-form representations in written spelling: Evidence from acquired dysgraphia. *Brain And Language, 80* (3), 366-392.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41* (1), 49-100.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal Of Educational Psychology, 91* (2), 358-368.
- Morey, C. C., & Cowan, N. (2005). When Do Visual and Verbal Memories Conflict? The Importance of Working-Memory Load and Retrieval. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 31* (4), 703-713.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal Of Psychology, 81* (2), 111-121.

Mou, L., & Anderson, N. S. (1981). Graphemic and phonemic codings of Chinese characters in short-term retention. *Bulletin Of The Psychonomic Society*, 17(6), 255-258.

Mousavi, S., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal Of Educational Psychology*, 87 (2), 319-334.

Murray, D. J. (1965). Vocalization-at-presentation and immediate recall, with varying presentation-rates. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 17 (1), 47-56.

Murray, D. J. (1967). The role of speech responses in short-term memory. *Canadian Journal Of Psychology/Revue Canadienne De Psychologie*, 21 (3), 263-276.

Murray, D. J. (1968). Articulation and acoustic confusability in short-term memory. *Journal Of Experimental Psychology*, 78 (4), 679-684.

Mycroft, R. R., Hanley, J. R., & Kay, J. J. (2002). Preserved access to abstract letter identities despite abolished letter naming in a case of pure alexia. *Journal Of Neuro-linguistics*, 15 (2), 99-108.

Nairne, J. S., Neath, I., & Serra, M. (1997). Proactive interference plays a role in the word-length effect. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4 (4), 541-545.

Neath, I., & Nairne, J. S. (1995). Word-length effects in immediate memory: Overwriting trace decay theory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2 (4), 429-441.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. East Norwalk, CT US: Appleton-Century-Crofts.

Nerdel, C. (2002). *Die Wirkung von Animation und Simulation auf das Verständnis von stoffwechselphysiologischen Prozessen*. Online veröffentlichte Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel. http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00000727/d727.pdf?host=&o.

Nickerson, R. S. (1976). Short-term retention of visually presented stimuli: Some evidence of visual encoding. *Acta Psychologica*, 40 (2), 153-162.

Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 28(3), 411-421.

Oberauer, K. (2006). Is the focus of attention in working memory expanded through practice?. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, 32(2), 197-214.

Oberauer, K., & Bialkova, S. (2009). Accessing information in working memory: Can the focus of attention grasp two elements at the same time?. *Journal Of Experimental Psychology: General*, 138(1), 64-87.

Olsson, H. & Poom, L. (2005). Visual memory needs categories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(24), 8776-8780.

Op de Beeck, H., Haushofer, J., & Kanwisher, N. G. (2008). Interpreting fMRI data: Maps, modules, and dimensions. *Nature Reviews*, 9, 123-135.

Paap, K. R., Newsome, S. L., & Noel, R. W. (1984). Word shape's in poor shape for the race to the lexicon. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, 10(3), 413-428.

Paas, F. C., & Van Merriënboer, J. G. (1994). Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 6(4), 351-371.

Parks, T. E., & Kroll, N. E. (1975). Enduring visual memory despite forced verbal rehearsal. *Journal Of Experimental Psychology: Human Learning And Memory*, 1(5), 648-654.

Parks, T. E., Kroll, N. E., Salzberg, P. M., & Parkinson, S. R. (1972). Persistence of visual memory as indicated by decision time in a matching task. *Journal Of Experimental Psychology*, 92(3), 437-438.

Pattamadilok, C., Lafontaine, H., Morais, J., & Kolinsky, R. (2010). Auditory word serial recall benefits from orthographic dissimilarity. *Language And Speech*, 53(3), 321-341.

- Patterson, K. E., & Wing, A. M. (1989). Processes in handwriting: A case for case. *Cognitive Neuropsychology*, *6*(1), 1-23.
- Pelli, D. G., Burns, C. W., Farell, B., & Moore-Page, D. C. (2006). Feature detection and letter identification. *Vision Research*, *46*(28), 4646-4674.
- Pelli, D. G., Farell, B., & Moore, D. C. (2003). The remarkable inefficiency of word recognition. *Nature*, *423*(6941), 752-756.
- Penney, C. G. (1989). Modality effects and the structure of short-term verbal memory. *Memory & Cognition*, *17*(4), 398-422.
- Perea, M., & Rosa, E. (2002). Does 'whole-word shape' play a role in visual word recognition?. *Perception & Psychophysics*, *64*(5), 785-794.
- Peterson, L. R. (1966). Short-term verbal memory and learning. *Psychological Review*, *73*(3), 193-207.
- Peterson, L. R., & Johnson, S. T. (1971). Some effects of minimizing articulation on short-term retention. *Journal Of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *10*, 346-354.
- Petit, J., Midgley, K. J., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time course of letter perception: A masked priming ERP investigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(4), 674-681.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception & Psychophysics*, *16*(2), 283-290.
- Phillips, W. A., & Baddeley, A. D. (1971). Reaction time and short-term visual memory. *Psychonomic Science*, *22*(2), 73-74.
- Phillips, W. A., & Christie, D. F. (1977a). Components of visual memory. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *29*(1), 117-133.
- Phillips, W. A., & Christie, D. F. (1977b). Interference with visualization. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, *29*(4), 637-650.
- Pinel, J. P. J. (1997). *Biopsychologie: Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Poirier, M., Saint-Aubin, J., Musselwhite, K., Mohanadas, T., & Mahammed, G. (2007). Visual similarity effects on short-term memory for order: The case of verbally labeled pictorial stimuli. *Memory & Cognition*, *35* (4), 711-723.

PONS - *Wörterbuch für Schule und Studium, Teil 1: Englisch-Deutsch* (2001). Ernst Klett Verlag, Stuttgart.

Posner, M. I., Boies, S. J., Eichelman, W. H., & Taylor, R. L. (1969). Retention of visual and name codes of single letters. *Journal Of Experimental Psychology*, *79* (1, Pt.2), 1-16.

Posner, M. I., & Keele, S. W. (1967). Decay of visual information from a single letter. *Science*, *158*(3797), 137-139.

Posner, M. I., & Mitchell, R. F. (1967). Chronometric analysis of classification. *Psychological Review*, *74* (5), 392-409.

Postle, B. R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, *139* (1), 23–38.

Potter, M. C., & Lombardi, L. (1990). Regeneration in the short-term recall of sentences. *Journal Of Memory And Language*, *29* (6), 633-654.

Potter, M. C., & Lombardi, L. (1998). Syntactic priming in immediate recall of sentences. *Journal Of Memory And Language*, *38* (3), 265-282.

Potter, M. C., Stiefbold, D., & Moryadas, A. (1998). Word selection in reading sentences: Preceding versus following contexts. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, *24* (1), 68-100.

Price, C. J. & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *NeuroImage*, *19*, 473-481.

Proctor, R. W. (1981). A unified theory for matching-task phenomena. *Psychological Review*, *88* (4), 291-326.

Rapp, B. C., & Caramazza, A. (1989). Letter processing in reading and spelling: Some dissociations. *Reading And Writing*, *1* (1), 3-23.

- Rapp, B., & Caramazza, A. (1997). From graphemes to abstract letter shapes: Levels of representation in written spelling. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception And Performance*, *23*(4), 1130-1152.
- Rapp, B., & Kong, D. (2002). Revealing the component functions of the graphemic buffer. *Brain and Language*, *83*, 112–114.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological Bulletin*, *114*(3), 510-532.
- Rauschecker, A. M., Bowen, R. F., Parvizi, J., & Wandell, B. A. (2012). Position sensitivity in the visual word form area. *PNAS Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, *109*(24), E1568-E1577.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372-422.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, *206*(4417), 468-469.
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception & Psychophysics*, *27*(6), 537-544.
- Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal Of Experimental Psychology*, *81*(2), 275-280.
- Research Centre for the Humanities Computing, University of Hong-Kong (since 2003). *A Chinese Character Database: With Word-formations phonologically disambiguated according to the Cantonese Dialect*. Online in Internet: URL: <http://humanum.arts.cuhk.edu.hk/Lexis/lexi-can/> (Stand 31.10.2012).
- Rey, A., & Schiller, N. O. (2005). Graphemic complexity and multiple print-to-sound associations in visual word recognition. *Memory & Cognition*, *33*(1), 76-85.
- Rey, A., Ziegler, J. C., & Jacobs, A. M. (2000). Graphemes are perceptual reading units. *Cognition*, *75*(1), B1-B12.

- Ricker, T. J., & Cowan, N. (2010). Loss of visual working memory within seconds: The combined use of refreshable and non-refreshable features. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, *36*(6), 1355-1368.
- Roe, A. W., Chelazzi, L., Connor, C. E., Conway, B. R., Fujita, I., Gallant, J. L., Lu, H., & Vanduffel, W. (2012). Toward a unified theory of visual area V4. *Neuron*, *74*, 12-29.
- Romani, C., McAlpine, S., Olson, A., Tsouknida, E., & Martin, R. (2005). Length, lexicality, and articulatory suppression in immediate recall: Evidence against the articulatory loop. *Journal Of Memory And Language*, *52*(3), 398-415.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, *8*(3), 382-439.
- Rothermund, K., Wentura, D., & De Houwer, J. (2005). Retrieval of Incidental Stimulus-Response Associations as a Source of Negative Priming. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition*, *31*(3), 482-495.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: II. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review*, *89*(1), 60-94.
- Rumiati, R. I., & Humphreys, G. W. (1997). Visual object agnosia without alexia or prosopagnosia: Arguments for separate knowledge stores. *Visual Cognition*, *4*(2), 207-217.
- Rumiati, R. I., Humphreys, G. W., Riddoch, J. M., & Bateman, A. (1994). Visual object agnosia without prosopagnosia or alexia: Evidence for hierarchical theories of visual recognition. *Visual Cognition*, *1*(2/3), 181-225.
- Rummer, R., & Engelkamp, J. (2001). Phonological information contributes to short-term recall of auditorily presented sentences. *Journal Of Memory And Language*, *45*(3), 451-467.
- Rummer, R., Mohr, G., & Zimmer, H. (1998). Leistungsbegrenzungen im verbalen Arbeitsgedächtnis: Argumente gegen energetische Ressourcenkonzepte. *Kognitionswissenschaft*, *7*, 134-140.

Rummer, R., Schweppe, J., Fürstenberg, A., Scheiter, K., & Zindler, A. (2011). The perceptual basis of the modality effect in multimedia learning. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *17*, 159-173.

Rummer, R., Schweppe, J., Fürstenberg, A., Seufert, T., & Brünken, R. (2010). Working memory interference during processing texts and pictures: Implications for the explanation of the modality effect. *Applied Cognitive Psychology*, *24*(2), 164-176.

Rummer, R., Schweppe, J., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2008). Lernen mit Multimedia: Die kognitiven Grundlagen des Modalitätseffekts. *Psychologische Rundschau*, *59*(2), 98-107.

Saito, S., Logie, R.H., Morita, A. & Law, A. (2008). Visual and phonological similarity effects in verbal immediate serial recall: A test with kanji materials. *Journal of Memory and Language*, *59*, 1-17.

Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1986). Phonological factors in STM: Similarity and the unattended speech effect. *Bulletin Of The Psychonomic Society*, *24*(4), 263-265.

Sanocki, T. (1987). Visual knowledge underlying letter perception: Font-specific, schematic tuning. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *13*, 267-278.

Sanocki, T. (1988). Font regularity constraints on letter recognition. *Journal Of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 472-480.

Sanocki, T. (1991). Intra- and interpattern relations in letter recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 924-941.

Sanocki, T., & Dyson, M. C. (2012). Letter processing and font information during reading: Beyond distinctiveness, where vision meets design. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*, 132-145.

Schiano, D. J., & Watkins, M. J. (1981). Speech-like coding of pictures in short-term memory. *Memory & Cognition*, *9*(1), 110-114.

Schmidt-Weigand, F. (2011). Wird der Modalitätseffekt durch Animation größer—oder gibt es ihn gar nicht?. *Zeitschrift Für Pädagogische Psychologie/ German Journal Of Educational Psychology*, *25*(4), 245-256.

Schmidt-Weigand, F., Kohnert, A., & Glowalla, U. (2010). A closer look at split visual attention in system- and self-paced instruction in multimedia learning. *Learning And Instruction, 20*(2), 100-110.

Schüler, A., Scheiter, K., & van Genuchten, E. (2011). The role of working memory in multimedia instruction: Is working memory working during learning from text and pictures? *Educational Psychology Review, 23*, 389-411.

Schweppe, J. & Rummer, R. (subm.). Written text presentation as a desirable difficulty in long-term multimedia learning. Manuscript submitted for publication.

Schweppe, J. & Rummer, R. (2012). Long-term multimedia learning. In E. de Vries & K. Scheiter (Eds.), *Proceedings EARLI Special Interest Group Text and Graphics: Staging knowledge and experience: How to take advantage of representational technologies in education and training?* (pp. 196-198). Grenoble, France: Université Pierre-Mendès-France.

Seidenberg, M. S., Petersen, A., MacDonald, M. C., & Plaut, D. C. (1996). Pseudohomophone effects and models of word recognition. *Journal Of Experimental Psychology: Learning, Memory, And Cognition, 22*(1), 48-62.

Service, E. (1998). The effect of word length on immediate serial recall depends on phonological complexity, not articulatory duration. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 51A*(2), 283-304.

Smith, E. E. & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology, 33*, 5-42.

Smith, E. E. & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95*, 12061-12068.

Smith, E. E., Jonides, J., Koeppe, R. A., Awh, E., Schumacher, E. H., & Minoshima, S. (1995). Spatial versus object working memory: PET investigations. *Journal Of Cognitive Neuroscience, 7*(3), 337-356.

Solso, R. L., & King, J. F. (1976). Frequency and versatility of letters in the English language. *Behavior Research Methods And Instrumentation, 8*(3), 283-286.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General And Applied*, 74(11), 1-29.

Sperling, G. (1963). A model for visual memory tasks. *Human Factors*, 5, 19-31.

Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning And Instruction*, 4(4), 295-312.

Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition And Instruction*, 12(3), 185-233.

Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P., & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal Of Experimental Psychology: General*, 119(2), 176-192.

Szwed, M., Dehaene, S., Kleinschmidt, A., Eger, E., Valabrègue, R., Amadon, A., & Cohen, L. (2011). Specialization for written words over objects in the visual cortex. *Neuroimage*, 56(1), 330-344.

Tan, L., & Perfetti, C. A. (1998). Phonological codes as early sources of constraint in Chinese word identification: A review of current discoveries and theoretical accounts. *Reading And Writing*, 10(3-5), 165-200.

Tatler, B. W., Gilchrist, I. D., & Rusted, J. (2003). The time course of abstract visual representation. *Perception*, 32(5), 579-592.

Terepocki, M., Kruk, R. S., & Willows, D. M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal Of Learning Disabilities*, 35(3), 214-233.

Tiene, D. (2000). Sensory load and information load: Examining the effects of timing on multisensory processing. *International Journal of Instructional Media*, 27, 183-199.

Tindall-Ford, S. & Sweller, J. (2006). Altering the modality of instructions to facilitate imagination: Interactions between the modality and imagination effects. *Instructional Science*, 34, 343-365.

Todd, J., & Marois, R. (2004). Capacity limit of visual short-term memory in human posterior parietal cortex. *Nature*, *428*(6984), 751-754.

Tree, J. J., Longmore, C., & Besner, D. (2011). Orthography, phonology, short-term memory and the effects of concurrent articulation on rhyme and homophony judgements. *Acta Psychologica*, *136*(1), 11-19.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*(1), 97-136.

Trojano, L., & Chiacchio, L. (1994). Pure dysgraphia with relative sparing of lower-case writing. *Cortex: A Journal Devoted To The Study Of The Nervous System And Behavior*, *30*(3), 499-507.

Van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, *43*(2), 271-282.

Venneri, A., Pestell, S. J., & Caffarra, P. (2002). Independent representations for cursive and print style: Evidence from dysgraphia in Alzheimer's disease. *Cognitive Neuropsychology*, *19*(5), 387-400.

Vergauwe, E., Dewaele, N., Langerock, N., & Barrouillet, P. (2012). Evidence for a central pool of general resources in working memory. *Journal Of Cognitive Psychology*, *24*(3), 359-366.

Walker, P., Hitch, G. J., Dewhurst, S. A., Whiteley, H. E., & Brandimonte, M. A. (1997). The representation of nonstructural information in visual memory: Evidence from image combination. *Memory & Cognition*, *25*(4), 484-491.

Walker, P., Hitch, G. J., & Duroe, S. (1993). The effect of visual similarity on short-term memory for spatial location: Implications for the capacity of visual short-term memory. *Acta Psychologica*, *83*(3), 203-224.

Walker, P., Hitch, G. J., Doyle, A., & Porter, T. (1994). The development of short-term visual memory in young children. *International Journal Of Behavioral Development*, *17*(1), 73-89.

Wang, P. P., & Bellugi, U. (1994). Evidence from two genetic syndromes for a dissociation between verbal and visual-spatial short-term memory. *Journal Of Clinical And Experimental Neuropsychology*, *16*(2), 317-322.

Warrington, E. K. (1982). Neuropsychological studies of object recognition. *Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London. Section B: Biological Sciences*, *298*(1089), 15-33.

Warrington, E. K., & James, M. (1967). Disorders of visual perception in patients with localized cerebral lesions. *Neuropsychologia*, *5*(3), 253-266.

Waugh, N. C., & Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, *72*(2), 89-104.

Wickelgren, W. A. (1965). Acoustic similarity and intrusion errors in short-term memory. *Journal Of Experimental Psychology*, *70*(1), 102-108.

Wickelgren, W. A. (1969). Auditory or articulatory coding in verbal short-term memory. *Psychological Review*, *76*(2), 232-235.

Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. S. Nickerson (Eds.), *Attention And Performance VIII* (S. 239 - 258). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Wheeler, D. D. (1970). Processes in word recognition. *Cognitive Psychology*, *1*(1), 59-85.

Whelan, R. (2008). Effective analysis of reaction time data. *The Psychological Record*, *58*(3), 475-482.

Wolford, G., & Hollingsworth, S. (1974). Evidence that short-term memory is not the limiting factor in the tachistoscopic full-report procedure. *Memory & Cognition*, *2*(4), 796-800.

Wong, A. N., & Gauthier, I. (2007). An analysis of letter expertise in a levels-of-categorization framework. *Visual Cognition*, *15*(7), 854-879.

Wong, A., Leahy, W., Marcus, N., & Sweller, J. (2012). Cognitive load theory, the transient information effect and e-learning. *Learning And Instruction*, *22*(6), 449-457.

Yik, W. F. (1978). The effect of visual and acoustic similarity on short-term memory for Chinese words. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 30 (3), 487-494.

Ziegler, J. C., Ferrand, L., Jacobs, A. M., Rey, A., & Grainger, J. (2000). Visual and phonological codes in letter and word recognition: Evidence from incremental priming. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 53A (3), 671-692.

Ziegler, J. C., & Muneaux, M. (2007). Orthographic facilitation and phonological inhibition in spoken word recognition: A developmental study. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14 (1), 75-80.

Zimmer, H. D. (2008). Visual and spatial working memory: From boxes to networks. *Neuroscience And Biobehavioral Reviews*, 32 (8), 1373-1395.

Zimmer, H. D. (2010). Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis: Eine emergente Eigenschaft der Repräsentation von Reizen im Netzwerk visueller Informationsverarbeitung. *Psychologische Rundschau*, 61 (1), 25-32.

Anhang A Variantenähnlichkeits-Ratings

A1 Rating-Bogen für die in Erfurt durchgeführten Experimente.

LiebeR TeilnehmerIn,

dieser Vortest dient dazu herauszufinden, wie ähnlich sich groß und klein geschriebene Buchstaben sehen. In den Zellen der folgenden Tabelle steht jeweils ein Buchstabe, einmal groß, einmal klein. Auf der Linie dahinter sollst Du abtragen, wie ähnlich deren Formen einander sind. Haben sie optisch nichts gemeinsam, setze ein Kreuz ganz rechts außen auf die Linie; sehen sie genau gleich aus, mache Dein Kreuz äußerst links. Bitte triff Deine Entscheidung schnell, ohne lange darüber nachzudenken.

Sehr ähnlich ————— Sehr unähnlich

Bsp.: A a -----x----

O o ---x-----

g G -----	H h -----
C c -----	K k -----
b B -----	F f -----
M m -----	Z z -----
X x -----	Y y -----
J j -----	W w -----
Q q -----	P p -----
V v -----	N n -----
R r -----	S s -----

A2 Rating-Bogen für das in Glasgow durchgeführte Experiment.

Dear participant,

this post test is meant to determine the similarity of upper and lower case letter variants. In each cell of the table below, there is a letter written in both variants. You are requested to indicate with a cross on the line behind each pair how similar you perceive their shapes. If they have got little in common visually, place your cross at the right end of the line; place it at the left end if both look almost identical to you. Please decide quick and spontaneously.

Very similar ----- very dissimilar

e.g., A a -----x-----

O o --x-----

g G -----	D d -----
C c -----	K k -----
b B -----	F f -----
M m -----	Z z -----
X x -----	Y y -----
J j -----	W w -----
Q q -----	P p -----
V v -----	L l -----
R r -----	S s -----

Anhang B *Experimentalitems*

Die Buchstaben wurden ausnahmslos in eckigen Klammern präsentiert, deren obere Enden durch Großbuchstaben und manche Oberlängen überragt wurden (vgl. z.B. Abb. 4-4, 12-2 oder 12-11).

B1 Die Buchstabenlisten aus Experiment I-2, die mit Experiment I-1 abgesehen davon übereinstimmen, dass letztere W bzw. w anstelle von Y bzw. y enthielten.

Übung 1

K	s	y	Z
p	V	Z	Y
S	z	P	k
v	Y	k	p
b	Q	J	f
F	r	m	b
j	F	r	M
M	B	q	R

Übung 2

k	S	Y	v
P	v	z	s
s	Z	p	Y
V	y	K	Z
B	q	j	M
F	r	m	Q
J	f	R	b
m	B	Q	j

Block 1

K	P	v	Z
k	S	p	v
K	V	y	s
P	k	Y	S
p	s	z	V
P	v	K	z
s	Z	p	y
S	k	Z	P
s	Y	V	k
v	y	P	K
V	Z	y	s
v	S	y	P
y	V	z	S
Y	z	P	k
y	v	z	K
Z	K	Y	s
z	p	S	V
Z	v	P	k
B	q	J	R
b	R	F	M

Block 2

k	y	S	Z
K	z	v	P
k	P	Z	y
p	Y	V	K
P	z	s	Y
p	Z	K	v
S	p	Y	z
s	V	p	y
S	y	k	V
V	K	S	z
v	P	k	Y
V	s	Z	p
Y	k	s	v
y	p	K	Z
Y	s	V	p
z	S	k	p
Z	Y	v	S
z	K	s	Y
b	F	M	q
B	j	q	F

B	f	M	j	b	m	R	J
F	q	R	m	f	B	m	Q
f	R	J	B	F	J	b	m
F	J	q	R	f	M	q	J
j	f	Q	b	J	Q	B	r
J	m	R	f	j	r	f	M
j	B	m	Q	J	b	F	q
m	b	j	F	M	j	r	B
M	Q	f	j	m	R	b	Q
m	F	Q	r	M	r	J	b
q	M	B	R	Q	f	M	b
Q	r	j	M	q	M	r	f
q	J	F	r	Q	b	r	j
R	j	Q	m	r	F	m	q
r	B	j	F	R	m	B	f
R	q	b	J	r	Q	f	B

B2 Die Buchstabenlisten aus Experiment I-3. Knapp der Hälfte der Probanden wurde Z bzw. z anstelle von W bzw. w präsentiert.

Übung 1

K	s	w	C
p	V	C	W
S	c	P	k
v	W	k	p
b	Q	G	d
D	r	l	b
g	D	r	L
L	B	q	R

Übung 2

k	S	W	v
P	v	c	s
s	C	p	W
V	w	K	C
B	q	g	L
D	r	l	Q
G	d	R	b
l	B	Q	g

Block 1

K	P	v	C
k	S	p	v
K	V	w	s
P	k	W	S
p	s	c	V
P	v	K	c
s	C	p	w
S	k	C	P
s	W	V	k
v	w	P	K
V	C	w	s
v	S	w	P
w	V	c	S
W	c	P	k
w	v	c	K
C	K	W	s
c	p	S	V
C	v	P	k
B	q	G	R
b	R	D	L
B	d	L	g
D	q	R	l
d	R	G	B
D	G	q	R
g	d	Q	b
G	l	R	d
g	B	l	Q
l	b	g	D
L	Q	d	g

Block 2

k	w	S	C
K	c	v	P
k	P	C	w
p	W	V	K
P	c	s	W
p	C	K	v
S	p	W	c
s	V	p	w
S	w	k	V
V	K	S	c
v	P	k	W
V	s	C	p
W	k	s	v
w	p	K	C
W	s	V	p
c	S	k	p
C	W	v	S
c	K	s	W
b	D	L	q
B	g	q	D
b	l	R	G
d	B	l	Q
D	G	b	l
d	L	q	G
G	Q	B	r
g	r	d	L
G	b	D	q
L	g	r	B
l	R	b	Q

l	D	Q	r	L	r	G	b
q	L	B	R	Q	d	L	b
Q	r	g	L	q	L	r	d
q	G	D	r	Q	b	r	g
R	g	Q	l	r	D	l	q
r	B	g	D	R	l	B	d
R	q	b	G	r	Q	d	B

B3 Die Buchstabenlisten aus Experiment I-4.

Übung 1

K	s	w	Z	P	v
p	V	Z	W	k	S
S	z	P	k	V	W
v	W	k	p	s	z
b	Q	J	f	M	R
F	r	m	b	j	q
j	F	r	M	Q	B
M	B	q	R	F	j

Übung 2

k	S	W	v	Z	p
P	v	z	s	w	K
s	Z	p	W	k	v
V	w	K	Z	p	s
B	q	j	M	R	f
F	r	m	Q	b	J
J	f	R	b	Q	m
m	B	Q	j	r	f

Block 1

K	P	v	Z	S	w
k	S	p	v	W	z
K	V	w	s	z	P
P	k	W	S	z	v
p	s	z	V	K	W
P	v	K	z	w	S
s	Z	p	w	V	k
S	k	Z	P	W	v
s	W	V	k	Z	P
v	w	P	K	Z	s
V	Z	w	s	k	p
v	S	w	P	k	z
w	V	z	S	K	P
W	z	P	k	s	V
w	v	z	K	s	p
Z	K	W	s	p	V
z	p	S	V	W	k
Z	v	P	k	w	S
B	q	J	R	m	F
b	R	F	M	Q	j
B	f	M	j	R	Q
F	q	R	m	J	b
f	R	J	B	q	m
F	J	q	R	M	b
j	f	Q	b	R	m
J	m	R	f	b	Q
j	B	m	Q	F	R
m	b	j	F	Q	r
M	Q	f	j	r	B
m	F	Q	r	b	J

Block 2

k	w	S	Z	p	v
K	z	v	P	w	s
k	P	Z	w	v	s
p	W	V	K	s	Z
P	z	s	W	v	K
p	Z	K	v	S	w
S	p	W	z	K	V
s	V	p	w	Z	K
S	w	k	V	P	z
V	K	S	z	p	w
v	P	k	W	S	Z
V	s	Z	p	k	W
W	k	s	v	P	Z
w	p	K	Z	V	S
W	s	V	p	z	K
z	S	k	p	V	W
Z	W	v	S	P	k
z	K	s	W	v	p
b	F	M	q	J	R
B	j	q	F	r	M
b	m	R	J	F	q
f	B	m	Q	j	r
F	J	b	m	r	Q
f	M	q	J	B	r
J	Q	B	r	M	f
j	r	f	M	q	B
J	b	F	q	R	M
M	j	r	B	f	q
m	R	b	Q	J	f
M	r	J	b	q	F

q	M	B	R	f	j	Q	f	M	b	j	R
Q	r	j	M	B	f	q	M	r	f	B	J
q	J	F	r	M	b	Q	b	r	j	f	m
R	j	Q	m	b	F	r	F	m	q	j	B
r	B	j	F	m	q	R	m	B	f	Q	J
R	q	b	J	F	M	r	Q	f	B	m	j

B4 Die Buchstabenlisten aus Experiment II.

Übung 2

B	q	J	R
m	F	Q	r
q	M	B	R
f	Q	R	m
j	f	m	Q
P	z	s	W
k	V	p	w
s	Z	K	v
Z	W	v	p
w	s	V	p

Übung 3

F	J	q	R
j	m	Q	b
R	q	b	J
b	R	F	M
m	b	j	F
W	K	s	v
z	S	k	p
V	P	Z	w
S	p	W	z
k	S	p	v

Block 1

B	f	M	j
f	R	J	B
Q	r	j	M
q	J	F	r
R	j	Q	m
r	B	j	F
J	m	R	f
b	f	M	q
r	B	q	F
M	q	r	B
V	k	S	z
K	V	w	s
P	k	W	S
P	s	z	V
S	k	Z	P
s	W	V	k
v	w	P	K
w	V	z	S
z	p	S	V
k	w	S	Z

Block 2

M	Q	f	j
J	M	B	f
Q	j	f	B
Q	r	M	b
r	F	m	q
J	b	F	q
m	R	b	Q
b	M	r	J
f	B	r	j
F	J	b	m
K	P	v	Z
P	v	K	z
s	Z	p	w
V	Z	w	s
v	S	k	P
W	z	P	k
w	v	z	K
Z	K	W	s
Z	p	K	W
p	W	v	K

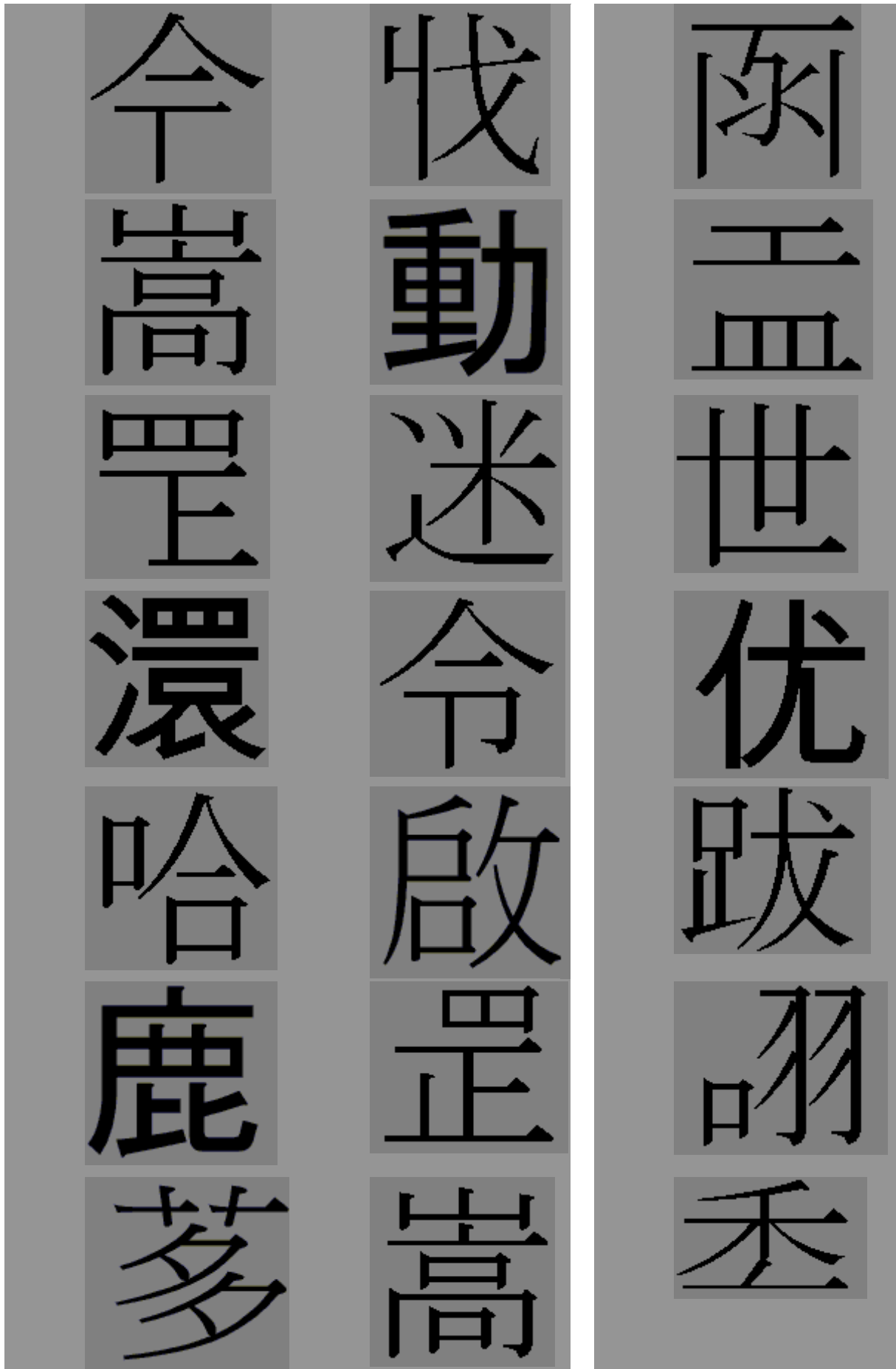
B5 Die zu vergleichender Schriftzeichen aus Experiment II.

Negative Durchgänge (NEIN) – zwei unterschiedliche Zeichen werden zum Vergleich präsentiert

Positive Durchgänge (JA) – das Zeichen wird zweimal gezeigt



壯	滾	齋
疆	高	般
心	記	振
提	軋	色
迷	莊	吃
吹	琅	明
車	亦	拈



B6 Die Paare miteinander zu vergleichender Tonfolgen aus Experiment II.

Die Pfeile zeigen an, dass und in welche Richtung ein Oktavensprung vom ersten Ton der Folge aus betrachtet stattfand, wobei eine „Oktave“ hier der Eindeutigkeit halber von C bis zum nächsten H hinauf reicht.

Negative Durchgänge (NEIN) – zwei unterschiedliche Tonfolgen werden zum Vergleich präsentiert		Positive Durchgänge (JA) – die Tonfolge ist zweimal zu hören
C – Fis – H	C – D↑ – H	F – A – Dis
A – E↑ – D↑	F – Ais↓ – Fis	Ais – C↑ – G
Dis – H – Ais↓	G – Fis – Dis	E – H – Dis↑
Dis – Cis – Fis↓	Dis – Cis↑ – A	D – Fis – G
Fis – D↑ – Ais	H – Gis – G	Fis – D↑ – Dis↑
Fis – Dis – H↓	C – E – D	Ais – D↑ – C↑
Cis – G – Ais	Dis – G – C	E – Gis – H
H – Gis – F	H – C – F	A – E – H
Ais – A – E	G – A – Gis	C – D – A↓
Cis – H – A	Cis – F↓ – A↓	Gis – C – E↑
D – H – C	D – A – Gis	A – E – G↑
Ais – F – A	D – Dis – Gis↓	A – E↑ – Cis↑
D – Fis – G↓	D – H – G	0F – Dis – G↓
C – E – D	Fis – E – Cis	H – E↑ – C↑
Fis – D – F	C – Dis – F	Ais – C↑ – H
C – Fis – A	C – Cis – A	F – Ais↓ – Dis
C – E – A	Dis – Ais – H	D – H – C
Fis – H – A	Dis – Gis – A	Cis – H↓ – Ais↓
Dis – Ais↓ – C	Fis – Gis – H	G – H – Ais
Ais – H – Fis	F – Dis – Ais	Dis – Ais↓↓ – Fis↓

B7 Die Buchstabenfolgen der Experimente III-1a und III-1b. Die Buchstaben sind wie im Experiment über die Zeilen verteilt. Die Schriftartvariation kann hier nur exemplarisch dargestellt werden: In der ersten Zeile von Übungsblock 1 variiert die Schriftart zwischen, in der zweiten Zeile innerhalb der Buchstabenpaare gleichen Namens.

N = 1, Übungsblock

W W B r m M p K K Q r r v v c P p s S w J B B c C V m q q F F J j k S f
m m v V s b j J C C f f Q q w K M k K w w P P S S R r j b B F P R v q C

N = 1, Block 1

c C q q b k k R S s F F m m J j p P M m s j j p c c V v B B r r w W K k
v v C c Q Q f f w b b r R M M J J Q v V k K s s b B W w P p V j C C Q q
K K w w F f j J p p R R m M B b V V s S F R r f F C W W q Q M P P k S S

N = 1, Block 2

j j B b k K W W f b b C C P p v s S q q R R v V M M K W w F f k k S J j
r R m Q q s s P P K k b B m m p P W M m J J q v v F F w W B j J f f K K
C c m M J S s Q Q c f F c C V V p p r V v c c R r w w S S q Q P r r B B

N = 2, Übungsblock

k Q K q w C w m V m V J v J F S B s B s c q C R f r F R F K M s b p W p
c P r Q j Q w v W B M b M b m K W K w S j S J C P c q c Q f k f P w P J

N = 2, Block 3

W v w k R k r s M S M P J P b W B C b C q F Q f V f V j v J p B p R s R
s m k m K M Q f Q F P r p v q v q f J c j C m K B K B k w F w F W c S c
J K J W Q W q S j S j s p C M c m p r P r b R b Q v c V

N = 2, Block 4

R w r w j p s p s P J M j B J B v r v R c f C f c Q b Q M P m P k F K S
k S P s q b q b Q V R w R W F c f c J R J V C v C k B k b q P W p W m j
M j M V r V r k f s F S F w m v m V b s B K Q K q W c w

N = 3, Übungsblock

b V m b v P r w P R w Q f W j f M S F M s p V J q S j q K j c K R C k B
f Q W m Q w M q k m s R b s r W S v k C V k j V r J W r P W s c J M c J

N = 3, Block 5

s w M S w m B J K B F k V F k V J p Q j p r w c R W C R q p S q m S Q b
F c b f J r F J k P v K P W m p W M v R B v r f V S f M s B M s b Q V K
q V K S C j W c j w c K m b f m B r p Q r P Q j C W J C

N = 3, Block 6

F j q F J S m j S M b V k B V w B P W Q M w Q m r c m R c V s k P s k p
b J w b J f Q R f q R j q r S p M s p M f C k F V K j v p j c P R C F s
v f S v K w M K w P k v P b V C s W C r W c r B q F b Q

B8 Die Buchstabenfolgen der Experimente III-2a bis III-3b. Die Buchstaben, die hier zeilenweise aufgeführt sind, wurden in den Experimenten seriell in der Bildschirmmitte auf immer derselben Grundlinie (anders als es sich hier darstellt) präsentiert.

N = 1

Übung 1

C C c V P p b B B J j m m g G Z S S
M m m q Q B B j G g g v V c c q s S
S z Z p p P

Übung 2

B b P P P j J m m v S S s b B B Z Z
c c c q P P Z s s J G G g c C V v M
M M Q q g G

Block 1

P P G g g P p C c B b s m m C C v V
B b s S C c C m M P p S S B B B G G
M M J c c P B B m M q S S g G z Z p
P m g g S s

Block 2

g G c s S S C C g g j J b B p p S s
b c C G g b b m M M B b q Q p p m m
S S p P v C c m M G s S P p p b b Z
g g m m C C

Block 3

s s C c B b P P s M m m b B g g Z z
G G P P g c C S s v V M M p j B B c
c c p P M m s s g G B B b G g s S Q
P p c c M M

Block 4

M m P p z s s G G b b C P P c C g G
g m m B S s c c b b Q b B G G p P P

j b B M m C C q M M S s p p q g V M
J c C s s s

N = 2

Übung 1

P m p M p S V s g B q B g J C m C m
b m B Z B z q s q S Q s q p z p j C
j c v c V q

Übung 2

q M G M c s C s C B P b p v z v m C
M C m q s b S b s b g z g Z g P j P
J P V Q J q

Block 1

B p B p c s C s c B M v M q s G S p
j p m P m B g B G C V C P s p s z G
m g M s m B Z b c q c q P Q p b s B
S m C M c G

Block 2

C M c m q g p g p g C B C b m b m S
J S g s q P C P c z S b s b p M P g
B g b C s m S M Q C P C j m V m p S
P S B q B g

Block 3

s c S c b C B v g M g M P b p b Z S
q S P M p M c g c g J B s b s P G P
g p z M B m B c P C P s m q M g M q
S c s C V B

Block 4

m s m s p b c b V G v G C M c M z p
Z P S g S G b q B M G m q c g c P b
P b m S J s p c p C S M s m s p q P
g b C B C b

Anhang C Experimentalinstruktionen

C1 Instruktion zu den Experimenten I-1, I-2 und I-4 (abweichend für letzteres nur die Angaben zu Listenlänge und Wiedergabezeit). Die Instruktion, laut zu zählen, wurde in einer anderen Version erst zum zweiten Experimentalblock gegeben (vgl. C2).

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank, dass Du Dich für meine Untersuchung als Proband zur Verfügung stellst!

In diesem Experiment geht es um das Behalten von Buchstaben.

Jeder Experimentaldurchgang beginnt mit einem Signalton. Anschließend werden Dir, einer nach dem anderen, vier Buchstaben auf dem Bildschirm präsentiert. Danach erscheint das Wort WIEDERGABE. Wenn der Bildschirm wieder leer ist, hast Du acht Sekunden Zeit, die Buchstaben in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben. Dabei ist es wichtig, dass Du jeden Buchstaben auch groß oder klein schreibst, je nachdem, wie er präsentiert wurde.

Damit Du sicher zu unterscheiden weißt, welcher Buchstabe groß und welcher klein ist, zeige ich Dir erst einmal alle Buchstaben, die vorkommen werden.

Bitte sieh sie Dir an und sage mir, um welchen Buchstaben es sich handelt, und ob er groß oder klein ist. Die eingezeichnete Klammer soll Dir die Unterscheidung erleichtern.

Diese Buchstabenparade beginnt, sobald Du die Leertaste drückst.

[...]

Auf dem Wiedergabebogen ist über jeder Zeile eine gestrichelte Linie eingezeichnet. Die sollst Du nutzen, um zu verdeutlichen, ob ein Buchstabe groß oder klein ist.

Trage die Listen der Reihe nach in die leeren Zeilen des Antwortbogens ein. Achte dabei darauf, jede Liste erst aufzuschreiben, nachdem das Wort WIEDERGABE erschienen ist.

Unmittelbar nach Ablauf der acht Sekunden Wiedergabe-Zeit kündigt der Signalton den nächsten Durchgang an.

Sowohl während der Präsentations- als auch während der Wiedergabephase sollst Du permanent laut von eins bis fünf zählen, ohne Unterbrechung.

Bevor das eigentliche Experiment startet, durchläufst Du acht Übungsdurchgänge.

Wenn Du noch Fragen hast, so stelle diese bitte jetzt. Ansonsten starte nun die Übungsdurchgänge, indem Du die Leertaste drückst.

[...]

Lieber Teilnehmer, liebe Teilnehmerin,

Glückwunsch - Du hast den ersten Block geschafft!

Es folgt der zweite Block. Du sollst nun nicht mehr zählen.

Zunächst bekommst Du wieder acht Probedurchgänge, um Dich daran zu gewöhnen.

Bitte wende den Wiedergabebogen und schreibe auf der Rückseite weiter.

Es geht los, sobald Du die Leertaste drückst.

C2 Instruktion zu Experiment I-3. Die Instruktion, laut zu zählen, wurde in einer anderen Version bereits zum ersten Experimentalblock gegeben (vgl. C1).

Experiment instruction.

Thank you for agreeing to participate in this experiment.

You are about to take part in a memory experiment on letter retention.

Each experimental trial starts with an acoustic signal, subsequent to which four letters are presented one by one in the centre of the screen. After that, the word RECALL appears. From the moment the screen is clear again, you are given eight seconds to write down the letters in the order of presentation.

In doing so, please take care to write each letter in its upper or lower case according to the case it was presented in.

In order to make sure that you correctly recognize each letter as to its case, I will first show you all relevant letters. Please tell me the name and the case of each. Parentheses will facilitate differentiation.

Please press the space bar in order to start this introduction. [...]

Please use the vertical line in each field on the recall sheet to indicate each letter's case.

Fill in the fields in the order they are numbered.

Be sure to start writing only after the RECALL cue appeared.

Immediately after the recall phase, the sound signals the start of the next trial.

Before the experiment starts, you are given eight practice trials.

If you have got any questions please ask now, or else start the practice trials by pressing the space bar.

[...]

Very well – you accomplished the first block.

With the second (and last) block, you are asked to count aloud from one to five non-stop, both during presentation and during recall.

In order to get used to this, you are again given eight practice trials first.

Please turn the page now. Press the space bar if you are ready to go on.

C3 Instruktion zu Experiment II. Anstelle des Behaltens von Zeichen wurde in der anderen Bedingung das Behalten von Tonfolgen instruiert. Es wurde jeweils mündlich ergänzt, dass die Unterschiede zwischen den Zeichen- bzw. Tonfolgenpaaren deutlich seien, und es wurde gefragt, ob Erfahrungen mit asiatischen Schriftzeichen bzw. eine besondere Musikalität vorlägen.

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank, dass Du Dich für meine Untersuchung als Proband zur Verfügung stellst!",

In diesem Experiment geht es um das Behalten von Buchstaben.

Jeder Experimentaldurchgang beginnt mit einem Signalton. Anschließend werden Dir einer nach dem anderen vier Buchstaben auf dem Bildschirm präsentiert.

Danach wird ein Zeichen eingeblendet, anschließend ein Pixelbild, dann erneut ein Zeichen. Mittels der SHIFT-Tasten (links NEIN, rechts JA) sollst Du angeben, ob es zwei Mal dasselbe Zeichen war oder ob sich die beiden unterschieden.

Anschließend erscheint das Wort WIEDERGABE. Wenn der Bildschirm wieder leer ist, hast Du acht Sekunden Zeit, die Buchstaben in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben.

Dabei ist es wichtig, dass Du jeden Buchstaben auch groß oder klein schreibst, je nachdem, wie er präsentiert wurde.

Damit Du sicher zu unterscheiden weißt, welcher Buchstabe groß und welcher klein ist, zeige ich Dir erst einmal alle Buchstaben, die vorkommen werden. Bitte sieh sie Dir an und sage mir, um welchen Buchstaben es sich handelt, und ob er groß oder klein ist. Die eingezeichnete Klammer soll Dir die Unterscheidung erleichtern.

Diese Buchstabenparade beginnt, sobald Du die Leertaste drückst.

[...]

Auf dem Wiedergabebogen ist über jeder Zeile eine gestrichelte Linie eingezeichnet. Die sollst Du nutzen, um zu verdeutlichen, ob ein Buchstabe groß oder klein ist.

Trage die Listen der Reihe nach in die leeren Zeilen des Antwortbogens ein. Achte dabei darauf, jede Liste erst aufzuschreiben, nachdem das Wort WIEDERGABE erschienen ist. Unmittelbar nach Ablauf der acht Sekunden Wiedergabe-Zeit kündigt der Sig-

nalton den nächsten Durchgang an.

Sowohl während der Präsentations- als auch während der Wiedergabephase sollst Du permanent leise aber hörbar VITA-COLA sagen, ohne Unterbrechung.

Bevor das eigentliche Experiment startet, durchläufst Du einige Übungsdurchgänge.

Wenn Du noch Fragen hast, so stelle diese bitte jetzt. Ansonsten starte nun die Übungsdurchgänge, indem Du die Leertaste drückst.

Übungsdurchgänge 1: Mache Dich zunächst mit der Bild-Behaltensaufgabe vertraut.

Du siehst kurz eine Reihe Prozentzeichen, anschließend das erste Zeichen, dann das Pixelbild, schließlich das zweite Zeichen.

Bitte gib mittels der SHIFT-Tasten an, ob es das gleiche oder ein anderes Zeichen ist.

Bitte denke daran, leise VITA-COLA zu sagen.

[...]

Übungsdurchgänge 2: Mache Dich nun mit der Buchstaben-Behaltensaufgabe vertraut.

Du hörst einen Signalton, anschließend erscheinen der Reihe nach vier Buchstaben. Wenn das Wort WIEDERGABE erscheint, schreibe bitte die Buchstaben in der richtigen Reihenfolge und Groß-Kleinschreibung auf.

Bitte denke daran, leise VITA-COLA zu sagen.

[...]

Übungsdurchgänge 3: Jetzt ist es an der Zeit, beide Aufgaben zu kombinieren.

Du hörst einen Signalton, anschließend erscheinen die Buchstaben. Danach werden Dir die Bilder gezeigt und Du sollst Deine Entscheidung eingeben. Daraufhin erscheint WIEDERGABE, das Signal, dass Du nun die Buchstaben in der richtigen Reihenfolge und Groß-Kleinschreibung aufschreiben sollst.

Bitte denke daran, leise VITA-COLA zu sagen.

C4 Instruktion zu den Experimenten III-1a und III-1b.

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank, dass Du Dich für meine Untersuchung als Proband zur Verfügung stellst!

In diesem Experiment geht es um das fortlaufende Behalten von Buchstabenketten.

Dir werden im Folgenden auf dem Bildschirm Buchstaben präsentiert, einer nach dem anderen, von links nach rechts über drei Zeilen hinweg. Du siehst immer nur einen Buchstaben der Kette, die übrigen sind durch Platzhalter verdeckt. Du sollst jeweils angeben, ob der Buchstabe, den Du gerade siehst, derselbe ist wie der, der zuvor zu sehen war.

Dabei werden allmählich mehr Buchstaben zwischen dem aktuellen und dem fraglichen Vorgänger liegen. So sollst Du in den ersten zwei Durchgängen den aktuellen Buchstaben mit dem unmittelbar vorangehenden vergleichen, in den folgenden zwei Durchgängen dann mit dem vorletzten Buchstaben, und so weiter.

Du sollst zunächst berücksichtigen, ob es sich überhaupt um den gleichen Buchstaben handelt. Wenn nicht, drücke bitte keine Taste.

Wenn es aber der gleiche Buchstabe ist, unterscheide bitte außerdem, ob die Groß-/Kleinschreibung übereinstimmt. Antworte NEIN (links), wenn es zwar der richtige Buchstabe, aber die falsche Variante ist. Antworte JA (rechts), wenn sowohl der Buchstabe als auch die Variante übereinstimmen.

*Beim Vergleich von **D** und **E** ist also keine Antwort richtig, für **D** und **d** lautet die Antwort NEIN, für **D** und **D** oder **d** und **d** JA.*

Insgesamt werden Dir sechs Buchstabenketten präsentiert. Dazwischen kannst Du jeweils pausieren und gerne auch Schokolade essen, um Deine Konzentration und Deine Laune aufrecht zu erhalten.

Vor jeder Distanzerhöhung wird es eine Übungsphase mit akustischem Feedback geben. Damit Du das Feedback deuten kannst, zunächst eine kurze Einführung.

Bitte drücke dazu die Leertaste.

[...]

Im Experiment wird manchmal die Schrift wechseln. Lass Dich davon nicht irri-

tieren. Ich möchte herauszufinden, ob sich das auf Deine Behaltensleistung auswirkt.

Damit Du sicher zu unterscheiden weißt, welcher Buchstabe groß und welcher klein ist, zeige ich Dir erst einmal alle Buchstaben, die vorkommen werden, in beiden Schriftarten. Bitte sieh sie Dir an und sage mir, um welchen Buchstaben es sich handelt, und ob er GROSS oder klein ist. Die eingezeichnete Klammer soll Dir die Unterscheidung erleichtern.

Diese Buchstabenparade beginnt, sobald Du die Leertaste drückst.

[...]

Sobald Du die Leertaste drückst, beginnt das eigentliche Experiment.

Von da an bekommst Du kein Feedback mehr.

Bitte triff Deine Entscheidungen mit Bedacht und zugleich so schnell wie möglich: Ist der Buchstabe, den Du siehst, derselbe wie der davor? Wenn ja, hat er dieselbe Größe?

[...]

Bitte drücke die Leertaste, um weiterzumachen. Dann beginnt die Übung für die nächsten beiden Blöcke (Abstand 1).

Ist der Buchstabe, den Du siehst, derselbe wie der vorletzte? Wenn ja, hat er dieselbe Größe?

z.B. T h T - ja. T h t - nein.

Du bekommst nun wieder Feedback.

[...]

Bitte drücke die Leertaste, um weiterzumachen. Dann beginnt die Übung für die nächsten beiden Blöcke (Abstand 2).

Ist der Buchstabe, den Du siehst, derselbe wie der vor-vorletzte? Wenn ja, hat er dieselbe Größe?

z.B. T h g T - ja. T h g t - nein.

Du bekommst nun wieder Feedback.

C5 Instruktion zu den Experimenten III-2a und III-2b

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank, dass Du Dich für meine Untersuchung als Proband zur Verfügung stellst!

In diesem Experiment geht es um das fortlaufende Behalten von Buchstabenketten.

Dir werden im Folgenden Buchstaben präsentiert, einer nach dem anderen, in der Bildschirmmitte. Du sollst jeweils angeben, ob der Buchstabe, den Du gerade siehst, exakt der gleiche ist wie der, der zuvor zu sehen war - d.h. sowohl was Groß-/Kleinschreibung als auch was die Schriftart anbelangt.

In den ersten vier Blöcken sollst Du den aktuellen Buchstaben mit seinem unmittelbaren Vorgänger vergleichen. In vier weiteren Blöcken bezieht sich der Vergleich immer auf den vorletzten Buchstaben. Du bekommst jeweils Übungsdurchgänge, um Dich mit der Aufgabe vertraut zu machen.

Zunächst soll ein Beispiel sie Dir veranschaulichen.

Bitte drücke die Leertaste.

Zunächst der unmittelbare Vergleich. Stell Dir vor, Du siehst der Reihe nach

V - *H* - **H** - *B* - *B* - **b** - *f* - **F** - *v* ... ,

*...dann wäre die Reaktion auf **V** NEIN (linke SHIFT-Taste), die Reaktion auf *H* wäre ebenfalls NEIN, da in beiden Fällen nicht der gleiche Buchstabe voranging.*

*Dann aber kommt erneut ein **H** - da es anders als der Vorgänger aussieht, ist die Antwort trotzdem wieder NEIN. Das erste *B* hat einen anderen Buchstaben zum Vorgänger, also NEIN. Da das folgende *B* ebenfalls groß und kursiv geschrieben ist, ist JA (SHIFT rechts) richtig. Bitte setze die Reihe fort und sage mir, wie die richtige Antwort lautet.*

Nun zum Vergleich mit dem vorletzten Buchstaben. Die Reihe könnte so beginnen:

V - *b* - **v** - *B* - **F** - *B* - *F* - *b* - **H**...

Da Du den aktuellen Buchstaben nun immer mit dem vorletzten vergleichen sollst, wäre die Antwort auf v und b jeweils NEIN, da v zwar wie sein vor-Vorgänger fett, aber im Unterschied dazu kleingeschrieben ist, ebenso.

Bitte setze die Reihe fort... und drücke anschließend die Leertaste.

Um sicherzustellen, dass Du jeden Buchstaben in jeder Schriftart mühelos erkennst, zeige ich Dir erst einmal alle Buchstaben, die vorkommen werden.

Diese Buchstabenparade beginnt, sobald Du die Leertaste drückst. Bitte sage jeweils rasch an, um welchen Buchstaben es sich handelt.

[...]

Nun kannst Du gleich mit Übungsdurchgängen beginnen. Es geht mit dem Vergleich des aktuellen Buchstaben mit seinem unmittelbaren Vorgänger los. Während der ersten Übung bekommst Du akustisches Feedback, damit Du weißt, ob Deine Antwort richtig war oder ob Du zu langsam reagiert hast.

*Damit Du dieses Feedback zu deuten weißt, stelle ich es Dir erst mal vor -
bitte drücke die Leertaste.*

[...]

Hast Du soweit Fragen?

Dann drücke nun die Leertaste, um den ersten Übungsblock zu starten.

[...]

Wenn Du die Leertaste drückst, startet das richtige Experiment.

Bist Du bereit?

Bitte achte darauf, möglichst genau und möglichst schnell zu antworten.

C6 Instruktion zu den Experimenten III-3a und III-3b

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

zunächst einmal vielen Dank, dass Du Dich für meine Untersuchung als Proband zur Verfügung stellst!

In diesem Experiment geht es um das fortlaufende Behalten von Buchstabenketten.

Dir werden im Folgenden Buchstaben präsentiert, einer nach dem anderen, in der Bildschirmmitte. Du sollst jeweils angeben, ob der Buchstabe, den Du gerade siehst, der gleiche ist wie der, der zuvor zu sehen war.

In den ersten vier Blöcken sollst Du den aktuellen Buchstaben mit seinem unmittelbaren Vorgänger vergleichen. In vier weiteren Blöcken bezieht sich der Vergleich immer auf den vorletzten Buchstaben. Du bekommst jeweils Übungsdurchgänge, um Dich mit der Aufgabe vertraut zu machen.

Zunächst soll ein Beispiel sie Dir veranschaulichen.

Bitte drücke die Leertaste.

Zunächst der unmittelbare Vergleich. Stell Dir vor, Du siehst der Reihe nach

V - h - H - v - B - B · b - f - F ...

...dann wäre die Reaktion auf V NEIN (linke SHIFT-Taste), die Reaktion auf h wäre ebenfalls NEIN, da in beiden Fällen nicht der gleiche Buchstabe voranging. Dann aber kommt erneut ein H - dass es anders als der Vorgänger großgeschrieben ist, macht nichts ;, die richtige Antwort wäre JA (rechte SHIFT-Taste). Das folgende v hat nicht den gleichen Buchstaben zum Vorgänger, also NEIN, gleiches gilt für das erste B.

Bitte setze die Reihe fort und sage mir, wie die richtige Antwort lautet.

Nun zum Vergleich mit dem vorletzten Buchstaben. Die Reihe könnte so beginnen:

V - h - v - B - f - B - F - b - H ...

Da Du den aktuellen Buchstaben nun immer mit dem vorletzten vergleichen sollst, wäre die Antwort auf V und h jeweils NEIN, auf v dann aber JA. Bitte setze die Reihe fort... und drücke anschließend die Leertaste.

Im Experiment wird die Schrift wechseln. Lass Dich davon nicht irritieren, versuche, sie wie auch die Groß-/Kleinschreibung zu ignorieren.

Um sicherzustellen, dass Du jeden Buchstaben in jeder Schriftart mühelos erkennst, zeige ich Dir erst einmal alle Buchstaben, die vorkommen werden. Diese Buchstabenparade beginnt, sobald Du die Leertaste drückst.

Bitte sage jeweils rasch an, um welchen Buchstaben es sich handelt.

[...]

Nun kannst Du gleich mit Übungsdurchgängen beginnen. Es geht mit dem Vergleich des aktuellen Buchstaben mit seinem unmittelbaren Vorgänger los. Während der ersten Übung bekommst Du akustisches Feedback, damit Du weißt, ob Deine Antwort richtig war oder ob Du zu langsam reagiert hast.

Damit Du dieses Feedback zu deuten weißt, stelle ich es Dir erst mal vor - bitte drücke die Leertaste.

[...]

Hast Du soweit Fragen?

Dann drücke nun die Leertaste, um den ersten Übungsblock zu starten.

[...]

Wenn Du die Leertaste drückst, startet das richtige Experiment.

Bist Du bereit?

Bitte achte darauf, möglichst genau und möglichst schnell zu antworten.

Anhang D Wiedergabebogen

Erste Seite des Wiedergabebogens, der in den Experimenten I-1 bis I-4 sowie in an den Ablauf angepasster Form auch in Experiment II verwendet wurde.

Wiedergabe YW

VP-Nr. _____

Datum _____

Übungsdurchgänge

1.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									2.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									3.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									4.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
5.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									6.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									7.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									8.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								

Experiment

1.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									2.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									3.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									4.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
5.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									6.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									7.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									8.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
9.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									10.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									11.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									12.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
13.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									14.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									15.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									16.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
17.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									18.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									19.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									20.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
21.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									22.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									23.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									24.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
25.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									26.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									27.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									28.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
29.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									30.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									31.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									32.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								
33.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									34.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									35.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									36.	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>								

Anhang E Zusätzliche Analysen zum Empirischen Teil III

Die Folgenden Analysen beinhalteten die jeweils durch z-Transformationen standardisierten und daher vergleichbaren Mittelwerte der Antwortgeschwindigkeit und der Antwortgenauigkeit je Proband und Bedingung. Sie dienten der statistischen Überprüfung der Ergebnisse auf *Speed-Accuracy Tradeoffs*. Insgesamt bestätigte sich der Eindruck aufgrund der nicht-standardisierten Daten, dass kein Unterschied im einen Maß mit einem umgekehrten Unterschied im anderen Maß einherging.

Experiment III-1a. Bei der Analyse handelte sich um eine ANOVA mit Messwiederholung mit den Faktoren AV (abhängige Variable; *Speed* und *Hits - False Alarms*), N (Abstand zwischen zwei zu vergleichenden Buchstaben; 1 – 3), FONT (Schriftartähnlichkeit; UNI vs. MIXED FONT) und VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B-b vs. SIM, z.B. C-c). Berichtet werden alle Interaktionen, an denen der Faktor AV beteiligt ist, es sei denn der F-Wert war kleiner als 1. Die Daten sind in Abbildung E-1 dargestellt.

Die Unterschiede zwischen den drei Stufen von N variierten in Abhängigkeit vom betrachteten Maß; während der stärkste Abfall in der Antwortgeschwindigkeit von N = 1 nach N = 2 auftrat, verringerte sich die Antwortgenauigkeit am stärksten zwischen N = 2 und N = 3. Bezüglich der Schriftartähnlichkeit zeigte sich, dass MIXED gegenüber UNI FONT ausschließlich in den *Speed*-Daten höhere Werte ergab, und auch dort nur bei N = 3. Im Antwortgenauigkeitsmaß unterschieden sich diese Datenpunkte nicht. Bezüglich der Variantenähnlichkeit fand sich ein überproportional stark ausgeprägter Variantenähnlichkeitseffekt nur in der Antwortgenauigkeit bei N = 3. Dies bedingte einen insgesamt größeren Vorteil für variantenverschiedenen gegenüber variantenähnlichen Buchstaben in der Antwortgenauigkeit als in der –Geschwindigkeit. Der deutlich kleinere Unterschied im Speed-Maß wies jedoch über alle Stufen von N in dieselbe Richtung:

Variantenverschiedene Buchstaben wurden genauer und schneller klassifiziert als variantenähnliche Buchstaben.

Der Interaktionseffekt von AV und N erwies sich als signifikant, $F(2, 58) = 25.662$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .469$. Die Zweifachinteraktion von AV und VARIANTENÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 29) = 3.146$, $p = .087$, $\eta_p^2 = .100$. Die Dreifachinteraktion von AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und N war ebenfalls marginal, $F(2, 58) = 2.524$, $p = .089$, $\eta_p^2 = .080$. Die Dreifachinteraktion von AV, FONT und N war signifikant, $F(2, 58) = 3.760$, $p = .029$, $\eta_p^2 = .115$.

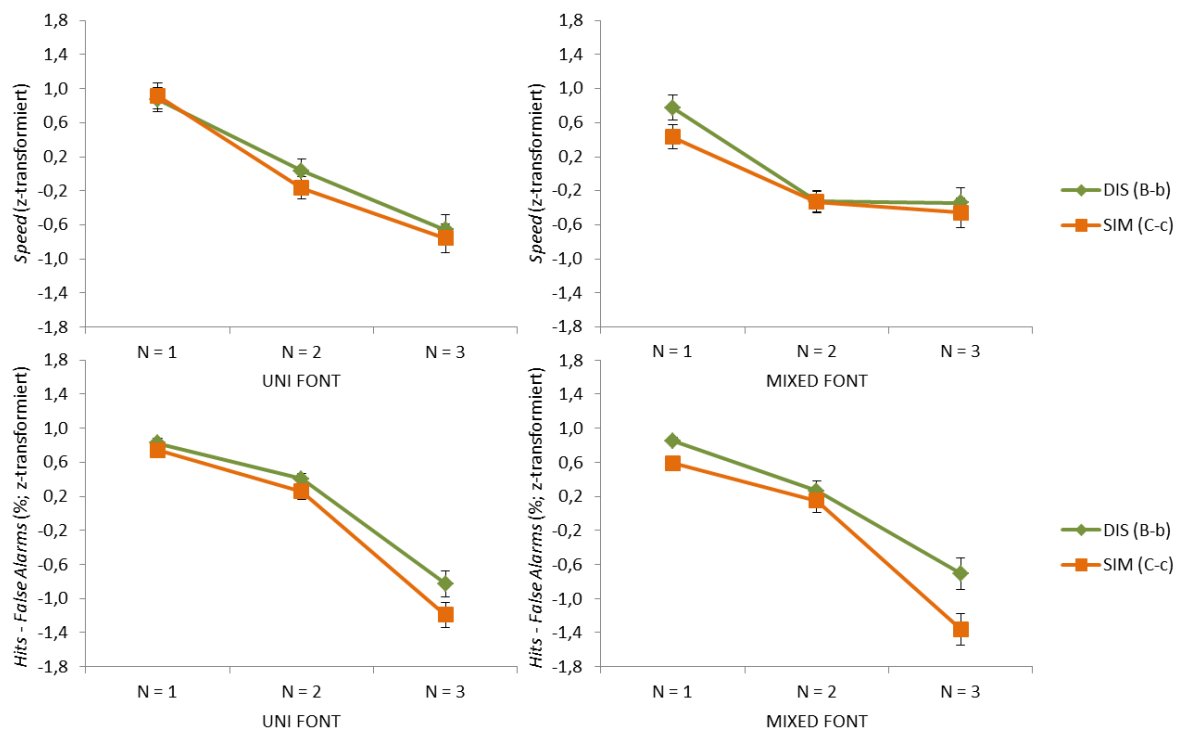


Abbildung E-1. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit und -Geschwindigkeit aus Exp. III-1a. In den oberen Diagrammen findet sich jeweils die Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) für die Bedingung mit einheitlicher Schriftart links und mit wechselnder Schriftart rechts, aufgeschlüsselt nach Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und dem Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben ($N = 1 - 3$). In den unteren Diagrammen finden sich die jeweils entsprechenden Daten zur Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms*-Raten).

Experiment III-1b. Die Analyse entspricht der zu Experiment III-1a, auch der Bericht erfolgt entsprechend. Das Gesamtmuster ist in Abbildung E-2 dargestellt.

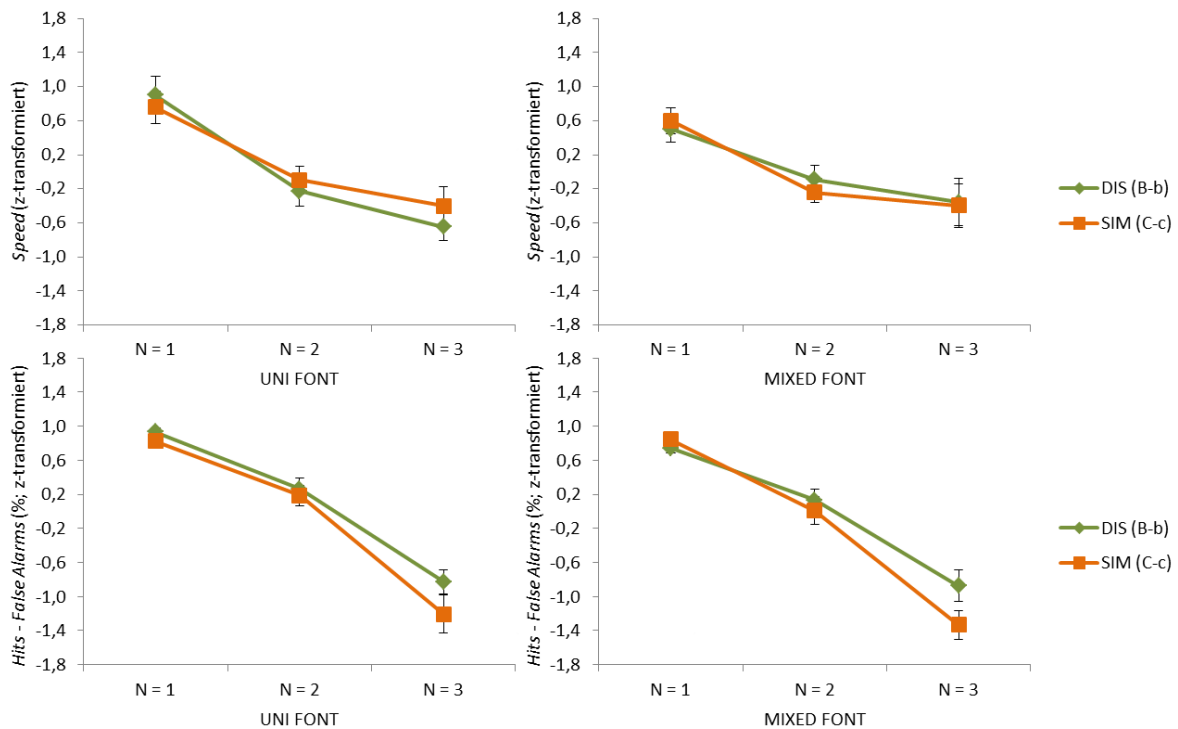


Abbildung E-2. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit und -Geschwindigkeit aus Exp. III-1b. In den oberen Diagrammen findet sich jeweils die Antwortgeschwindigkeit (*Speed*) für die Bedingung mit einheitlicher Schriftart links und mit wechselnder Schriftart rechts, aufgeschlüsselt nach Variantenähnlichkeit (DIS, SIM) und dem Abstand zwischen den zu vergleichenden Buchstaben ($N = 1 - 3$). In den unteren Diagrammen finden sich die jeweils entsprechenden Daten zur Antwortgenauigkeit (*Hits-minus-False Alarms-Raten*).

Wie bereits in Experiment III-1a variierten die Unterschiede zwischen den drei Stufen von N in Abhängigkeit vom betrachteten Maß; während der stärkste Abfall in der Antwortgeschwindigkeit von $N = 1$ nach $N = 2$ auftrat, verringerte sich die Antwortgenauigkeit am stärksten zwischen $N = 2$ und $N = 3$. Auch bezüglich der Variantenähnlichkeit ergab sich ein ähnliches Muster wie in Experiment II-1a, mit einem relativ stärkeren Unterschied zwischen variantenverschiedenen und variantenähnlichen Buchstaben unter $N = 3$ im Antwortgenauigkeitsmaß gegenüber dem Geschwindigkeitsmaß.

Dieses Mal allerdings entsprach der starke Vorteil für variantenverschiedene Buchstaben hinsichtlich der Antwortgenauigkeit einem leichten Nachteil hinsichtlich der Antwortgeschwindigkeit. Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass dies nur für die Bedingung mit einheitlicher Schriftart der Fall war.

Die Interaktion von AV und N erwies sich als signifikant, $F(2, 42) = 12.584$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .469$. Die Zweifachinteraktion von AV und VARIANTENÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 21) = 3.341$, $p = .082$, $\eta_p^2 = .137$. Die Dreifachinteraktion von AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und N war nicht signifikant, $F(2, 42) = 2.240$, $p = .119$, $\eta_p^2 = .096$. Der Trend zum *Speed-Accuracy Tradeoff* stellt ein weiteres Problem für die Interpretation des Variantenähnlichkeitseffekts aus der *Go/No Go*-Version der *N-Back Letter Matching*-Aufgabe dar. Die Reaktionen auf variantenähnliche Buchstaben waren nicht nur häufiger als bei variantenverschiedenen Buchstaben falsch; sie waren außerdem tendenziell schneller.

Experiment III-2a. Bei der Analyse handelte sich um eine ANOVA mit Messwiederholung mit den Faktoren AV (für abhängige Variable; *Speed* und *Correct Rejections*), N (Abstand zwischen zwei zu vergleichenden Buchstaben; 1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, z.B. B-b vs. SIM, z.B. C-c) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (SCHRIFT: nur die Schriftart wechselt; VARIANTE: nur die Variante wechselt; SCHRIFT+VARIANTE: beide Aspekte wechseln). Berichtet werden alle Interaktionen, an denen der Faktor AV beteiligt ist, es sei denn der F-Wert ist kleiner als 1. Das Gesamtmuster ist in Abbildung E-3 dargestellt.

Es ist besonders beachtenswert, dass unter $N = 2$ sowohl die Variantenähnlichkeit als auch die visuelle Ähnlichkeit in ihren Einflüssen auf die Leistungen über beide Maße deutlich divergierten. Was die Einflüsse der Variantenähnlichkeit unter $N = 2$ anbelangt, so waren die besseren Leistungen für variantenverschiedene gegenüber vari-

antenähnlichen Buchstaben in den *Correct Rejections* konstanter vorzufinden. In den Bedingungen VARIANTE sowie SCHRIFT+VARIANTE unterscheiden sich die zu vergleichenden Buchstaben hinsichtlich der Variante, so dass in diesen Bedingungen der Vorteil leicht unterscheidbarer Varianten auftreten sollte. Mit Blick auf die Bedingung VARIANTE zeigte sich Entsprechendes in den *Speed*-Daten nicht, allerdings fand sich hier auch kein umgekehrter Variantenähnlichkeitseffekt. Was die Einflüsse der visuellen Ähnlichkeit unter $N = 2$ anbelangt, so waren die Leistungen in den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE hinsichtlich des Anteils richtiger Antworten viel besser als hinsichtlich der Antwortgeschwindigkeit. Anders ausgedrückt waren die Einbußen in den Leistungen unter $N = 2$ verglichen mit $N = 1$ in den *Correct Rejections* viel geringer als in den *Speed*-Daten. Für die Bedingung SCHRIFT verhielt es sich gerade anders herum.

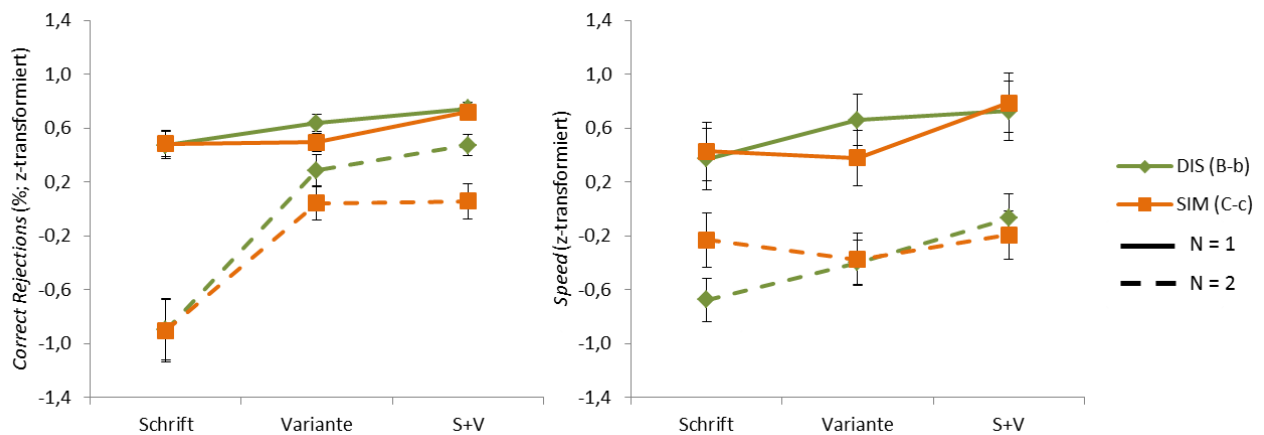


Abbildung E-3. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit (links) und -Geschwindigkeit (rechts) aus Exp. III-2a in Abhängigkeit von Variantenähnlichkeit (DIS, SIM), dem Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (1, 2) und den Aspekten, in denen diese sich unterschieden (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE [S+V]).

Es zeigte sich kein Interaktionseffekt für AV und N , $F < 1$. Die Interaktion von AV und VARIANTENÄHNLICHKEIT war marginal signifikant, $F(1, 23) = 3.599$, $p = .070$, $\eta_p^2 = .135$. Auch die Dreifachinteraktion von AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und

N war marginal, $F(1, 23) = 3.351$, $p = .080$, $\eta_p^2 = .127$. Die Interaktion von AV und VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 46) = 12.648$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .355$. Diese Interaktion wurde durch N moderiert, $F(2, 46) = 19.461$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .458$.

Aufgrund des Musters an Signifikanzen könnte man mutmaßen, dass ein *Speed-Accuracy Tradeoff* die zentralen Befunde in den *Correct Rejections*-Raten infrage stellt. Dabei handelt es sich einerseits um den tendenziellen Vorteil für variantenverschiedene gegenüber variantenähnlichen Buchstaben unter $N = 2$ bei wechselnder Variante, andererseits um den Befund schlechterer Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation unter $N = 2$. Dem ist entgegenzuhalten, dass im Geschwindigkeitsmaß vor allem ein Datenpunkt aus dem erwarteten Muster ausscherte, nämlich die Bedingung mit hoher Variantenähnlichkeit und ausschließlich wechselnder Schriftart. Dieser Datenpunkt war der einzige, in dem sich der Einfluss der Variantenähnlichkeit in der den Erwartungen entgegengesetzten Richtung zeigte. In den anderen Bedingungen liegen die Leistungen bei variantenähnlichen Buchstaben zumindest nicht über denen für variantenverschiedene Buchstaben, und von diesem Datenpunkt abgesehen ist auch der Einfluss visueller Ähnlichkeit über beide Maße einheitlich.

Gerade die Bedingung mit ausschließlich wechselnder Schriftart ist hinsichtlich des Einflusses der Variantenähnlichkeit irrelevant, da sich die Varianten hier überhaupt nicht unterscheiden. Der Zusammenhang von abhängiger Variable und Variantenähnlichkeit wurde erneut in einer ANOVA mit Messwiederholung analysiert, dieses Mal jedoch unter Ausschluss der Bedingung SCHRIFT. In diese ANOVA gingen die Faktoren AV (*Speed* und *Correct Rejections*), N (1, 2), VARIANTENÄHNLICHKEIT (DIS, SIM) und VISUELLE ÄHNLICHKEIT (VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE) ein. Die Interaktion von AV und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F(1, 23) = 2.116$, $p = .159$, $\eta_p^2 = .084$. Die Dreifachinteraktion von AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und N war ebenfalls nicht signifikant, $F(1, 23) = 2.605$, $p = .120$, $\eta_p^2 = .102$. Diese Ergeb-

nisse unterstreichen, dass der Einfluss der Variantenähnlichkeit nicht das Produkt eines *Speed-Accuracy Tradeoffs* war.

Die These, dass der Einfluss visueller Ähnlichkeit auf die *Correct Rejections*-Raten zurückgeht, müsste angenommen werden, wenn die Antwortgeschwindigkeit in den Bedingungen mit innerhalb der Buchstabenpaare wechselnden Varianten geringer wäre als in der Bedingung mit ausschließlich wechselnder Schriftart. Dies traf am ehesten (wie aus Abb. E-3 ersichtlich) auf den Vergleich der Bedingung VARIANTE mit der Bedingung SCHRIFT für SIM-Buchstaben zu. In einem geplanten Vergleich wurden die beiden Bedingungen mit hoher Variantenähnlichkeit und ausschließlich wechselnder Schriftart einerseits und ausschließlich wechselnder Variante andererseits für $N = 2$ kontrastiert. Selbst dieser Unterschied war nicht signifikant, $F < 1$. Somit ist nicht davon auszugehen, dass die höhere Fehlerzahl in der Bedingung SCHRIFT gegenüber den Bedingungen VARIANTE und SCHRIFT+VARIANTE mit der teilweise höheren Geschwindigkeit der Antworten in der ersteren Bedingung zusammenhängt.

Experiment III-2b. Die Analyse entspricht der zu Experiment III-2a, auch der Bericht erfolgt entsprechend. Das Gesamtmuster ist in Abbildung E-4 dargestellt.

Die Zusatzanalyse verwies dieses Mal auf deutliche Abweichungen in den Auswirkungen der visuellen Ähnlichkeit auf die Antwortgenauigkeit einerseits und die Antwortgeschwindigkeit andererseits. Zwar gilt für beide Stufen von N , dass die Bedingung mit ausschließlich wechselnder Schriftart hinter den beiden Bedingungen mit wechselnder Variante zurückblieb. Doch war dieser Rückstand für beide N in den *Correct Rejections*-Raten deutlich stärker ausgeprägt als in den *Speed*-Daten. Insbesondere scheint in den *Speed*-Daten bezüglich variantenähnlicher Buchstaben (SIM) bei $N = 1$ der Vorteil für ausschließlich in der Variante abweichende Buchstaben gegenüber ausschließlich an der Schrift unterscheidbaren Buchstaben nicht nur aufgehoben, sondern

sogar umgekehrt. Für alle außer diesem Datenpunkt wurden unabhängig von der Variantenähnlichkeit ausschließlich schriftartbezogene Unterschiede zwischen den Buchstaben weniger zuverlässig und langsamer angezeigt als (auch) variantenbezogene Unterschiede. Allein bei variantenähnlichen Buchstaben mit ausschließlich wechselnder Variante waren unter $N = 1$ die Antworten langsamer als in der entsprechenden Bedingung mit ausschließlich wechselnder Schriftart.

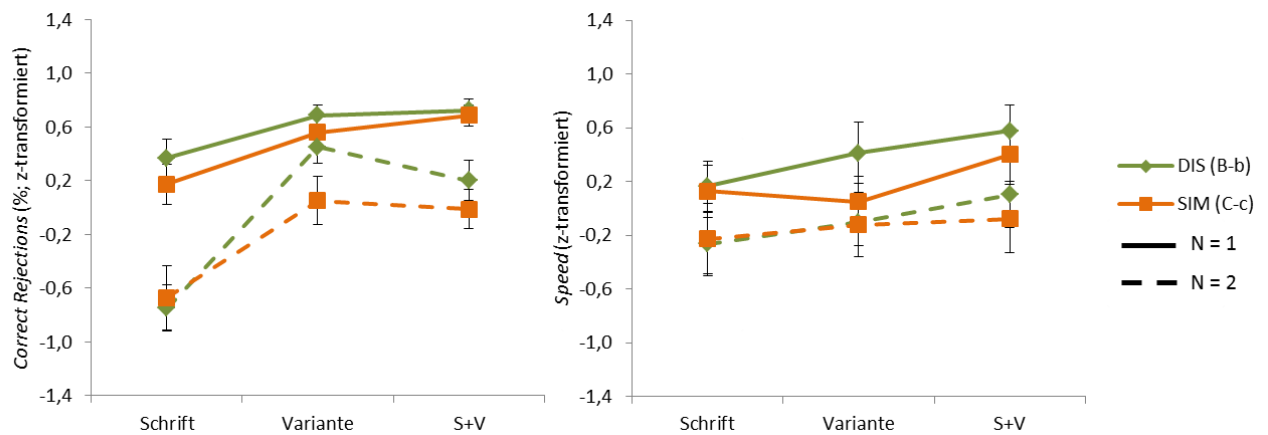


Abbildung E-4. Graphische Darstellung des Befundmusters aus der gemeinsamen Analyse von Antwortgenauigkeit (links) und -Geschwindigkeit (rechts) aus Exp. III-2b in Abhängigkeit von Variantenähnlichkeit (DIS, SIM), dem Abstand N zwischen den zu vergleichenden Buchstaben (1, 2) und den Aspekten, in denen diese sich unterschieden (SCHRIFT, VARIANTE, SCHRIFT+VARIANTE [S+V]).

Die Interaktion von AV und N war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.532$, $p = .229$, $\eta_p^2 = .065$. Die Interaktion von AV und VARIANTENÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F < 1$. Auch die Dreifachinteraktion von AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und N war nicht signifikant, $F(1, 22) = 1.117$, $p = .302$, $\eta_p^2 = .048$. Die Interaktion von AV und VISUELLE ÄHNLICHKEIT war signifikant, $F(2, 44) = 6.785$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .236$. Sie wurde weiter durch N moderiert, $F(2, 44) = 3.276$, $p = .047$, $\eta_p^2 = .130$. Die Interaktion von AV, VARIANTEN- und VISUELLE ÄHNLICHKEIT war nicht signifikant, $F < 1$. Auch die Vierfachinteraktion war nicht signifikant, $F(2, 44) = 1.684$, $p = .197$, $\eta_p^2 = .071$.

Die Interaktion von AV, N und VISUELLE ÄHNLICHKEIT könnte prinzipiell auf einen *Speed-Accuracy Tradeoff* zurückgehen, der die Interpretierbarkeit des Befundes zur Verfügbarkeit von Schriftart- gegenüber Varianteninformation beeinträchtigt. Dies wäre der Fall, wenn die Antworten auf ausschließlich bezüglich der Schriftart unterschiedliche Buchstaben zwar seltener korrekt, dafür aber schneller als an der Variante unterscheidbare Buchstaben gewesen wären. Dass dem unter $N = 2$ definitiv nicht so war, ist aus Abbildung E-4 ersichtlich und durch den nicht-signifikanten geplanten Vergleich der Antwortgeschwindigkeiten in den Bedingungen SCHRIFT und VARIANTE (vgl. Kap. 12.7.3, S. 276) belegt. Unter $N = 1$ sah es wie bereits konstatiert so aus, als läge in der Bedingung VARIANTE ein *Speed-Accuracy Tradeoff* vor. Dies wurde überprüft, indem eine ANOVA nur für $N = 1$ mit den Messwiederholungsfaktoren AV, VARIANTENÄHNLICHKEIT und VISUELLE ÄHNLICHKEIT durchgeführt wurde. Es zeigte sich, dass die Interaktion von AV und VISUELLE ÄHNLICHKEIT nicht signifikant war, $F(2, 44) = 1.328$, $p = .276$, $\eta_p^2 = .057$. Auch die Dreifachinteraktion war nicht signifikant, $F(2, 44) = 2.037$, $p = .143$, $\eta_p^2 = .085$. Einen Hinweis auf eine größere Verbesserung der Antwortgenauigkeit auf Kosten der Geschwindigkeit für Buchstaben mit Varianten- gegenüber Schriftartwechsel könnte der Vergleich dieser beiden Bedingungen erbringen. Im geplanten Vergleich wurde die Antwortgeschwindigkeit von SCHRIFT und VARIANTE für variantenähnliche Buchstaben unter $N = 1$ gegeneinander getestet. Selbst dieser Vergleich war nicht signifikant, $F < 1$. Es ist also nicht davon auszugehen, dass der interessierende Einfluss der VISUELLEN ÄHNLICHKEIT auf die Antwortgenauigkeit unter $N = 1$ auf einen *Speed-Accuracy Tradeoff* zurückzuführen ist.

Abkürzungsverzeichnis

ϵ_p^2	<i>Partial Eta Squared</i> (Maß für die Effektstärke)
Abb.	Abbildung
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> (Varianzanalyse)
AS	<i>Articulatory Suppression</i> (artikulatorische Unterdrückung)
AV	abhängige Variable
Bst.	Buchstaben
bzgl.	Bezüglich
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
DIS	<i>Dissimilar</i> (Bezeichnung für die Buchstaben, deren Varianten einander wenig ähneln)
d.h.	das heißt
EEG	Elektroencephalogramm (Aufzeichnung der an der Kopfhaut feststellbaren elektrischen Spannung)
et al.	<i>Et Alii</i> (lat. und Kollegen)
etc.	<i>et cetera</i> (lat. und so weiter)
evtl.	eventuell
Exp.	Experiment
f(f)	folgende Seite(n)
IPA	<i>International Phonetic Association</i>
Kap.	Kapitel
ms	Millisekunden

N	Anzahl der analysierten Datensätze oder die nicht spezifizierte Anzahl an Positionen in einer Buchstabenkette, die ein zu vergleichender Buchstabe vor dem aktuellen liegt
n	spezifizierte Anzahl an Positionen in einer Buchstabenkette, die der Buchstabe, der in einer <i>N-Back</i> -Aufgabe mit dem aktuellen Buchstaben verglichen werden soll, vor diesem aktuellen Buchstaben liegt
Pos.	Position eines <i>Item</i> in der Liste
pt.	<i>Points</i> (Angabe zum Schriftgrad; Maß der Schriftgröße)
s	Sekunde(n)
s.	Siehe
S.	Seite(n)
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannt
s.u.	siehe unten
SIM	<i>Similar</i> (Bezeichnung für die Buchstaben, deren Varianten einander sehr ähneln)
Tab.	Tabelle
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche!
vs.	<i>versus</i>
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit oder Teile davon wurden bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde als Dissertation vorgelegt. Ferner erkläre ich, dass ich nicht bereits eine gleichartige Doktorprüfung an einer Hochschule endgültig nicht bestanden habe.

Erfurt, 20.02.2013

Anne Fürstenberg